



**FORUM GURU BESAR**  
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG



# **Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung**



## **PENGELOLAAN SAMPAH DALAM PERSPEKTIF EKONOMI SIRKULER DAN UPAYA PENGURANGAN KEBOCORAN SAMPAH KE LAUT**

**Profesor Emenda Sembiring**

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung

**Aula Barat ITB  
22 Juni 2024**



Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

**PENGELOLAAN SAMPAH DALAM  
PERSPEKTIF EKONOMI SIRKULER DAN  
UPAYA PENGURANGAN KEBOCORAN  
SAMPAH KE LAUT**



Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

**PENGELOLAAN SAMPAH DALAM  
PERSPEKTIF EKONOMI SIRKULER DAN  
UPAYA PENGURANGAN KEBOCORAN  
SAMPAH KE LAUT**

**Prof. Emenda Sembiring**

22 Juni 2024  
Aula Barat ITB



Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin dari penerbit

*Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung:*  
***Pengelolaan Sampah dalam Perspektif Ekonomi Sirkuler dan Upaya  
Pengurangan Kebocoran Sampah ke Laut***

Penulis : Prof. Emenda Sembiring

Reviewer : Prof. Tjandra Setiadi

Editor Bahasa : Rina Lestari

Cetakan I : 2024

ISBN : 978-623-297-471-5

e-ISBN : 978-623-297-472-2 (PDF)



📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,  
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132  
☎ +62 22 20469057  
🌐 www.itbpress.id  
✉ office@itbpress.id  
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92  
APPTI No. 005.062.1.10.2018

# PRAKATA

Buku ini merupakan buah pemikiran penulis terkait pengelolaan sampah di Indonesia dalam perspektif ekonomi sirkuler dan upaya mengurangi kebocoran sampah plastik ke laut. Tema ini erat berkaitan dengan 3 krisis yang melanda planet (*triple planetary crisis*) yang sedang menjadi tantangan dunia, yakni polutan dan sampah, perubahan iklim, dan kerusakan biodiversitas.

Pengelolaan sampah dalam perspektif ekonomi sirkuler pada akhirnya ikut berperan dalam menangani 3 krisis yang melanda planet. Upaya menuju ekonomi sirkuler yang merubah rantai nilai/rantai pasok material, produk dan jasa. Material, produk dan jasa akan dipertahankan selama mungkin berada di sistem produksi dan konsumsi dan pada saat yang bersamaan mempertimbangkan dampak pada perubahan iklim, pengurangan polutan dan sampah dan tidak menyebabkan kerusakan/kehilangan biodiversitas.

Kebocoran sampah ke lingkungan, baik itu ke tanah, air dan udara menimbulkan pencemaran dan pengurangan/kemusnahan biodiversitas. Upaya-upaya dalam mengurangi kebocoran sampah ke lingkungan ini, di antaranya meningkatkan akses pelayanan pengelolaan sampah dan penerapan prinsip ekonomi sirkuler.

Upaya perbaikan di kelima aspek pengelolaan sampah seperti aspek regulasi dan kebijakan, kelembagaan/entitas, teknis operasional, keuangan/pendanaan dan peran serta masyarakat dan pemangku kepentingan harus tetap diupayakan.

Penulis sangat berterima kasih pada Prof. Dr. Ir. Enri Damanhuri (almarhum) dan Dr. Ir. Tri Padmi, dan Pak Masduki, yang menjadi panutan penulis dalam mengembangkan bidang pengelolaan sampah dan limbah padat di Indonesia; anggota Kelompok Keahlian Pengelolaan Udara dan Limbah yang selama ini menjadi tempat penulis mengembangkan keahlian di bidang sirkularitas limbah padat dan persampahan. Penulis juga mengucapkan terima kasih pada mahasiswa yang selama ini membantu penulis melaksanakan penelitian dan pengabdian masyarakat. Penulis sangat

berterima kasih pada Prof. Dr. Ir. Tjandra Setiadi yang sudah me-*review* draf buku ini.

Peran keluarga juga sangat membantu dalam penyelesaian buku ini, tanpa dukungan suami, Muhammad Safri Lubis; ibunda tercinta, Diana Tarigan dan keluarga besar pembangunan, serta keluarga besar dr. Hamzah, tanpa peran mereka, penulis tidak akan bisa menjadi seperti saat ini.

Bandung, 22 Juni 2024

Emenda Sembiring



# SINOPSIS

Akses terhadap layanan pengelolaan sampah di Indonesia rata-rata masih terbatas hanya 39,1%. Peningkatan akses pengelolaan sampah masih diperlukan seiring dengan tantangan baru dalam pengelolaan sampah yang mengharuskan lebih banyak sampah yang nantinya akan masuk ke dalam sistem produksi dan konsumsi. Peningkatan akses pengelolaan sampah ini memang terlihat seperti konsep ekonomi linier. Namun sebenarnya sejalan dengan prinsip ekonomi sirkuler yang mengedepankan material selama mungkin di proses produksi dan konsumsi. Bagaimanakah meningkatkan akses pelayanan jasa kebersihan/ pelayanan pengelolaan sampah ini?

Ekonomi sirkuler mengharapkan perubahan tidak hanya bagaimana mengumpulkan sampah/ limbah dan mengembalikan ke dalam sistem produksi dan konsumsi, namun perlu dipertimbangan perencanaan dari awal sebelum produk terbentuk, produk tersebut sudah didesain agar nantinya lebih mudah untuk kembali ke sistem produksi dan konsumsi dan bisa bertahan lama. Wujud ekonomi sirkuler yang paling dekat pada sistem pengelolaan sampah di Indonesia adalah pelaksanaan *extended producer responsibility* (EPR) yang membagi peran antara produsen dan pelaku usaha dengan konsumen. Perwujudan dari EPR pada saat ini masih bertumpu pada upaya produsen/pelaku usaha dalam mengumpulkan sampah yang dihasilkan produk paska konsumsi. Jadi bagaimanakah upaya yang bisa dilakukan agar bisa mempercepat upaya menuju ekonomi sirkuler ?

Belum selesai dalam upaya peningkatan pengelolaan sampah, negara Indonesia sudah dikenal sebagai negara yang menyumbangkan sampah plastik ke laut. Temuan temuan tentang keberadaan mikroplastik/nanoplastik yang berdampak pada kerusakan biota dan diversivitas semakin meningkat. Apalagi, penelitian terkini juga menyebutkan kemungkinan asosiasi mikroplastik pada kesehatan manusia. Bagaimanakah cara mengurangi kebocoran sampah, terutama sampah plastik/mikroplastik ke laut?

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut, pembahasan akan dimulai dari 5 aspek pengelolaan sampah, yakni aspek peraturan dan kebijakan, kelembagaan, pendanaan, teknis operasional, juga peran serta masyarakat dan pemangku kepentingan.

Jawaban pertanyaan tersebut ternyata saling terkait, dan upaya peningkatan layanan pengelolaan sampah, sangat erat kaitannya dengan upaya peningkatan keterkumpulan material sampah yang nantinya akan didaur ulang dan masuk ke dalam sistem produksi dan konsumsi. Semakin tinggi tingkat pelayanan pengelolaan sampah, diharapkan makin sedikit sampah yang akan bocor ke lingkungan.

Upaya pengurangan sampah yang bocor ke lingkungan, sekaligus penelitian-penelitian apa saja yang sudah dilakukan Penulis di ITB untuk mendapat fakta sains yang sah dalam mendukung pengambil keputusan dan upayamemberdayakan pemerintah juga di bahas di sesi terakhir buku ini.

# DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
SINOPSIS .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
1 Tantangan Pengelolaan Sampah Indonesia .....	1
1.1 Tonggak Awal Pengelolaan Sampah di Indonesia .....	1
1.2 Kondisi Eksisting Pengelolaan Sampah di Indonesia .....	2
1.3 Pandangan Ekonomi Sirkuler.....	6
1.4 Sampah Plastik dan Mikroplastik di Lingkungan .....	8
1.5 Aspek Pengelolaan Sampah .....	11
2 Pengelolaan Sampah Indonesia Dalam Perspektif Ekonomi Sirkuler.....	25
3 Pengelolaan Sampah Indonesia Dalam Upaya Pencegahan Kebocoran Sampah Plastik Ke Laut .....	29
4 Penutup .....	49
5 Ucapan Terima Kasih.....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	55
CURRICULUM VITAE .....	63



# DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b>	Jumlah sampah yang dihasilkan kabupaten/kota per tahun .....	3
<b>Gambar 2</b>	Peta layanan Pengelolaan Sampah di Indonesia .....	4
<b>Gambar 3</b>	Kota/kabupaten dengan tingkat pelayanan minimum .....	5
<b>Gambar 4</b>	Kebocoran sampah ke lingkungan mulai dari sumber sampai ke tempat pemrosesan akhir. Sumber: Heranita dan Sembiring (2023).....	6
<b>Gambar 5</b>	Skema ekonomi linier dan ekonomi sirkuler .....	7
<b>Gambar 6</b>	Pengaruh fragmentasi dan penyerapan senyawa organik beracun ke dalam fragmen plastik pada organisme laut. Sumber: Sembiring. E (2023) dalam Gail Krantzberg, Savitri Jetoo, Velma I Grover, Sandhya Babel.....	9
<b>Gambar 5</b>	<i>Fate</i> dan perjalanan sampah plastik dan partikel mikroplastik. Sumber: Sembiring. E (2023) dalam Gail Krantzberg, Savitri Jetoo, Velma I Grover, Sandhya Babel.....	11
<b>Gambar 6</b>	Aspek teknis dan operasional pengelolaan sampah.....	17
<b>Gambar 7</b>	Komposisi sampah nasional (Sumber SIPSN, 2021) .....	18
<b>Gambar 8</b>	Tipe tempat sampah sesuai tujuan pengolahan.....	20
<b>Gambar 9</b>	Sistem pengumpulan dan pengangkutan sampah .....	21
<b>Gambar 10</b>	Pengumpulan sampah dari sumber.....	22
<b>Gambar 11</b>	Proses produksi dan konsumsi sederhana .....	26
<b>Gambar 12</b>	Peta kebiasaan membuang sampah ke halaman/langsung di timbun di tanah .....	31
<b>Gambar 13</b>	Peta kebiasaan masyarakat membakar sampah secara terbuka.....	32
<b>Gambar 14</b>	Peta kebiasaan masyarakat membuang sampah ke badan air, sungai, dan saluran drainase. ....	33
<b>Gambar 15</b>	Sumber Kebocoran Sampah Plastik/Mikroplastik di Indonesia .....	36
<b>Gambar 16</b>	Pemantauan sampah plastik di perairan dengan menggunakan bantuan kecerdasan buatan.....	38

<b>Gambar 17</b>	Hasil pemantauan komponen sampah .....	39
<b>Gambar 18</b>	Hasil pemantauan sampah menggunakan image <i>drone</i> dan bantuan AI ( Wolf, dkk, 2023). .....	41
<b>Gambar 19</b>	Pengambilan sampel mikroplastik di laut.....	45

# DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b>	Tingkat Pelayanan Pengelolaan Sampah di Indonesia.....	2
<b>Tabel 2</b>	Tipe wadah sampah.....	19
<b>Tabel 3</b>	Tingkat Daur Ulang Indonesia.....	28
<b>Tabel 4</b>	Perlakuan masyarakat terhadap sampah.....	30
<b>Tabel 5</b>	Estimasi kebocoran sampah plastik di Indonesia.....	33
<b>Tabel 6</b>	Pemantauan Sampah Plastik di Sungai.....	39
<b>Tabel 7</b>	Perbandingan konsentrasi DEP di berbagai TPA.....	42
<b>Tabel 8.</b>	Jenis operasional TPA.....	43
<b>Tabel 9</b>	Konsentrasi mikroplastik di laut (KLHK, 2023) .....	45





# 1 TANTANGAN PENGELOLAAN SAMPAH INDONESIA

## 1.1 Tonggak Awal Pengelolaan Sampah di Indonesia

Setiap tanggal 21 Februari, kita mengenang tragedi kegagalan pengelolaan sampah pada tahun 2005 silam, saat terjadi longsor sampah di TPA Leuwigajah. Ada lebih dari 100 korban jiwa. Hari peringatan itu disebut hari peduli sampah nasional (HPSN). Tahun 2023, tag HPSN adalah *Zero waste, Zero emission* dan juga menekankan pada ekonomi sirkular; di tahun 2024, tag HPSN adalah atasi sampah plastik dengan cara produktif. Plastik menjadi sorotan utama di tahun ini, mungkin karena beberapa studi menunjukkan Negara Indonesia sebagai negara yang masuk ke dalam negara penyumbang sampah plastik ke laut terbesar kedua setelah Negara Cina (Jambeck, dkk. 2015). Alur buku ini pun akan dimulai dari pembahasan sampah secara umum, lalu pada bagian akhir akan lebih banyak fokus pada upaya pengelolaan sampah plastik.

Saat ini banyak masyarakat yang tertarik membicarakan pencemaran sampah plastik di lingkungan, mulai dari ibu-ibu rumah tangga sampai akademisi dan peneliti. Sampah plastik digambarkan sebagai material yang mencemari dan membahayakan lingkungan. Puluhan video tersebar di media sosial dan media *online* menggambarkan pencemaran sampah plastik di laut. Tak ketinggalan peneliti di seluruh dunia menghasilkan karya ilmiah yang membuktikan pencemaran sampah plastik dan dampak sampah plastik di lingkungan. Beberapa contoh video yang tersebar antara lain: ‘*A Plastics Ocean*’ yang diproduksi oleh yayasan plastik laut di tahun 2015; ‘*Paradise lost in a Sea of Plastics*’ yang dibuat oleh seorang turis di Bali di tahun 2018; atau tayangan menyentuh hati seekor kura-kura dan sedotan plastik yang dibuat oleh seorang ahli biologi dari Universitas Texas di tahun 2015.

Muller dkk. (2012) menemukan sampai tahun 2012 sudah diidentifikasi terdapat 177 spesies laut yang terdata terpapar sampah plastik. Fossi dkk. (2017) menggambarkan pencemaran sampah plastik di Teluk Meksiko dan kemungkinan paparan POPs (*Persistants Organic Pollutants*) pada hiu di Teluk Meksiko. Lamb dari Universitas Cornell, Amerika Serikat meneliti dari 159 terumbu karang di Asia Pasifik menunjukkan bahwa terumbu karang yang tidak terpapar sampah plastik, kemungkinan terkena penyakit hanya 4%,

sementara bila terumbu karang terpapar sampah plastik kemungkinan terkena penyakit naik menjadi 89% (Lamb dkk, 2018). O’Hanlon dkk. (2017) menunjukkan dari 34 spesies yang diamati 76% tercatat mengonsumsi plastik di Timur Laut Atlantik. Ada ratusan artikel lain yang menggambarkan pencemaran sampah plastik dan dampak plastik di lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa ada banyak upaya yang dilakukan oleh peneliti dan pemerhati lingkungan untuk memahami kondisi lingkungan dan dampak lingkungan yang disebabkan oleh sampah plastik. Artikel terbaru yang menemukan diperkirakan sekitar 15 g/bulan mikroplastik dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia (You dan Zhao, 2024).

Tragedi longsor sampah di TPA Leuwigajah juga yang mendorong lahirnya Undang-Undang Pengelolaan Sampah No. 18 Tahun 2008. Setelah undang-undang ini, bagaimana sektor persampahan Indonesia? Bisakah sistem pengelolaan limbah menerapkan gagasan ekonomi sirkuler? Mampukah sistem pengelolaan sampah berkontribusi dalam mengurangi 3 krisis utama planet?

## 1.2 Kondisi Eksisting Pengelolaan Sampah di Indonesia

Setiap orang menghasilkan sampah dan berinteraksi dengan sampah yang dihasilkan setiap hari. Perorangan dapat mengelola sampah secara langsung atau tidak langsung, tergantung ketersediaan pelayanan yang diberikan oleh Pemerintah Kota/Kabupaten. Kota/kabupaten adalah unit yang memiliki pemerintahan sendiri. Entitas yang mengelola penyediaan pengelolaan sampah di pemerintah kota/kabupaten adalah dinas lingkungan hidup (DLH) setempat.

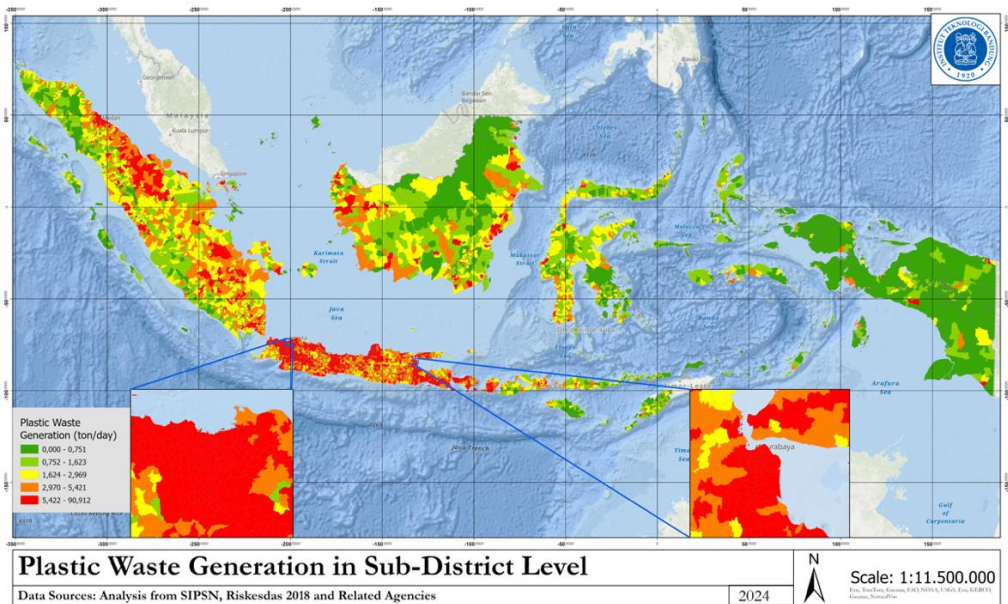
**Tabel 1** Tingkat Pelayanan Pengelolaan Sampah di Indonesia

Persentase Tingkat Pelayanan	Jumlah Kota/Kabupaten	Persentase Kota
Tingkat Pelayanan 0 - 25%	271	53%
Tingkat Pelayanan 25 - 50%	128	25%
Tingkat Pelayanan 50 - 75%	44	8%
Tingkat Pelayanan 75 - 100%	71	14%

Timbulan sampah meningkat seiring dengan aktivitas, material yang tersedia, gaya hidup, dan tingkat pendapatan. Produk Domestik Bruto Indonesia 1.186 miliar USD pada tahun 2021, yang menunjukkan peningkatan

dari data tahun lalu. Konsekuensinya, diprediksi; lebih banyak sampah yang dihasilkan. Rata- rata sampah yang dihasilkan di Indonesia adalah 53,2 juta ton per tahun (Gambar 1.)

Lebih banyak kota dan kabupaten mengalami urbanisasi; lebih banyak sampah yang dihasilkan. Kawasan perkotaan adalah suatu bentuk kawasan dengan batas-batas tertentu yang kegiatan utamanya adalah sektor industri, jasa, perdagangan, dan nonpertanian. Namun, penyediaan pengelolaan sampah oleh pemerintah kota mencakup wilayah perkotaan dan nonperkotaan. Menurut peraturan pemerintah (PP) 97/2017, kebijakan dan strategi nasional untuk sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga, pengurangan sampah harus mencapai 30% dan penanganan sampah mencapai 70%, oleh karena itu kota/kabupaten harus meningkatkan kemampuan dan layanan mereka untuk mencapai target nasional dan daerah. Sasaran yang juga tercantum dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) menyebutkan indikator sasaran adalah jumlah rumah tangga yang tercakup dalam pelayanan pengelolaan persampahan.

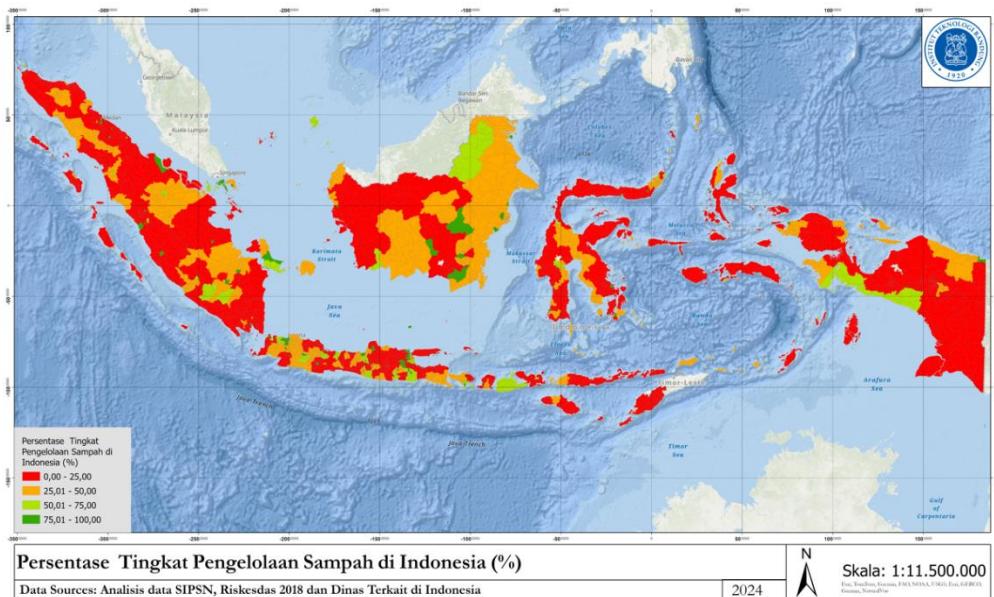


**Gambar 1** Jumlah sampah yang dihasilkan kabupaten/kota per tahun

Rata-rata layanan pengelolaan sampah di Indonesia sekitar 39,1%; ada 241 kota/kabupaten (53% dari seluruh Indonesia) yang tingkat pelayanan pengumpulan sampah kurang dari 25% (Gambar 2.). Artinya, akan ada

proporsi sampah yang bocor ke lingkungan jika tidak terkumpul di bank sampah atau inisiatif 3R (*reduce, reuse, recycle*) di masyarakat atau sektor informal lainnya.

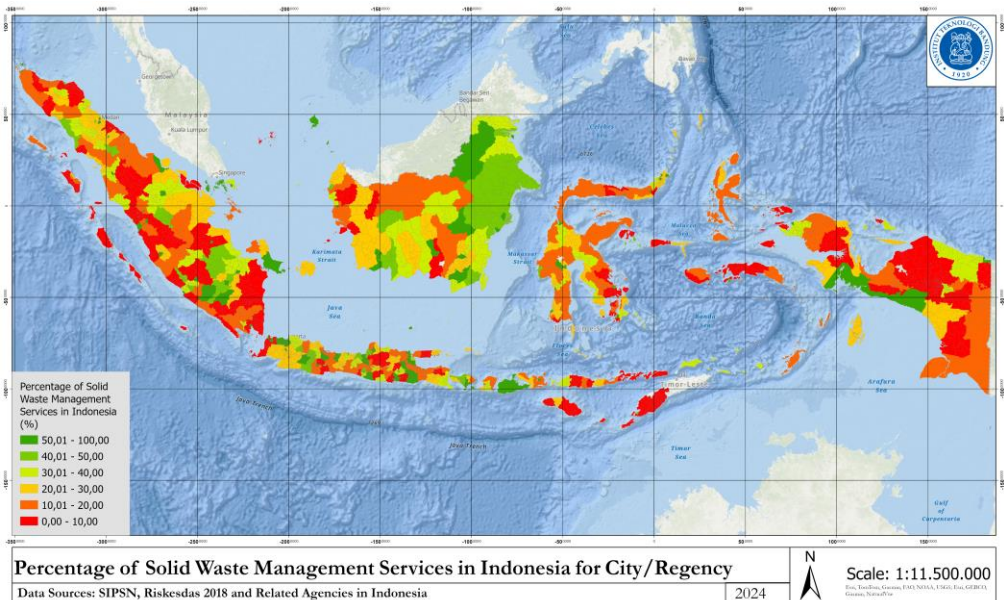
Ada 271 atau 53% kota/kabupaten yang tingkat pelayanan pengumpulan sampah baru mencapai tingkat pelayanan kurang dari 25%. Kota/kabupaten yang belum memenuhi standar pelayanan minimal mencapai 78% (Tabel 1).



**Gambar 2** Peta layanan Pengelolaan Sampah di Indonesia

Apabila ditinjau dari standar pelayanan minimum, 50% cakupan pelayanan atau hanya 50% sampah yang terkelola maka hanya 37,9% kota/kabupaten yang tingkat pelayanannya  $\geq 50\%$  (Gambar 3).

Pengumpulan sampah dari penghasil sampah bisa dibagi menjadi 2 kategori: sektor formal dan sektor informal. Pengumpulan sampah yang dikoordinir oleh rukun tetangga (RT)/rukun warga (RW) bisa dianggap sebagai sektor informal. Selain itu, sektor informal meliputi pemulung, pengumpul sampah, dan perantara. Pemulung dan sektor informal lainnya dalam sistem pengelolaan sampah di Indonesia berkontribusi dalam meningkatkan material daur ulang (Sembiring dan Nitivattananon, 2010).

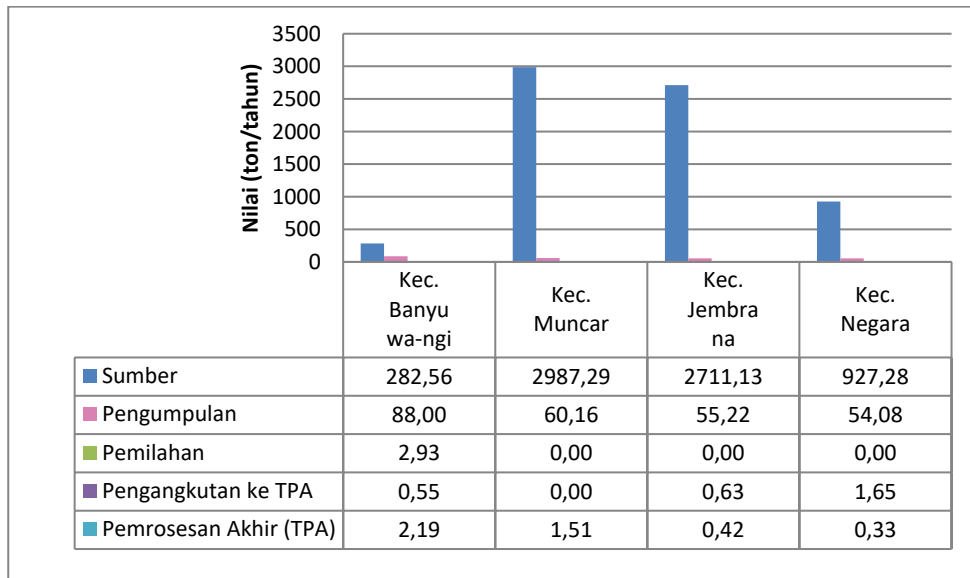


**Gambar 3** Kota/kabupaten dengan tingkat pelayanan minimum

Sistem formal meliputi pengangkutan sampah dari tempat penampungan sementara (TPS) ke tempat pemrosesan akhir (TPA). Bila ditinjau dari kebocoran sampah ke lingkungan, sumber kebocoran sampah cenderung berada di dekat penghasil sampah daripada kebocoran sampah dari sistem formal (Gambar 4.). Hal ini menunjukkan bahwa upaya pengelolaan sampah harus dimulai dari sumber penghasil sampah, di mana kebocoran sampah ke lingkungan yang paling besar. Selain itu, upaya pengurangan sampah ke lingkungan bisa dilakukan jika layanan pengumpulan ditingkatkan. Peningkatan layanan pengumpulan berarti lebih banyak sampah yang ada di dalam sistem pengelolaan sampah. Lebih banyak sampah di sistem pengelolaan sampah berarti lebih banyak potensi bahan daur ulang yang dapat dikumpulkan, baik itu sektor formal maupun informal. Oleh karena itu, penting untuk meningkatkan layanan pengumpulan sampah sebelum bergerak lebih lanjut ke sistem ekonomi sirkuler.

Pilihan dan kecanggihan teknologi persampahan telah sampai pada tingkat maju dan sebagian besar pilihan teknologi sudah tersedia di pasar, namun persepsi masyarakat terhadap fasilitas penanganan sampah berbanding terbalik dengan kecanggihan teknologi. Sindrom *tidak di halaman belakang* (NIMBY, *not in my backyard*) sudah lama ada, padahal Pemda harus menyediakan fasilitas pengelolaan persampahan. Menurut undang-undang

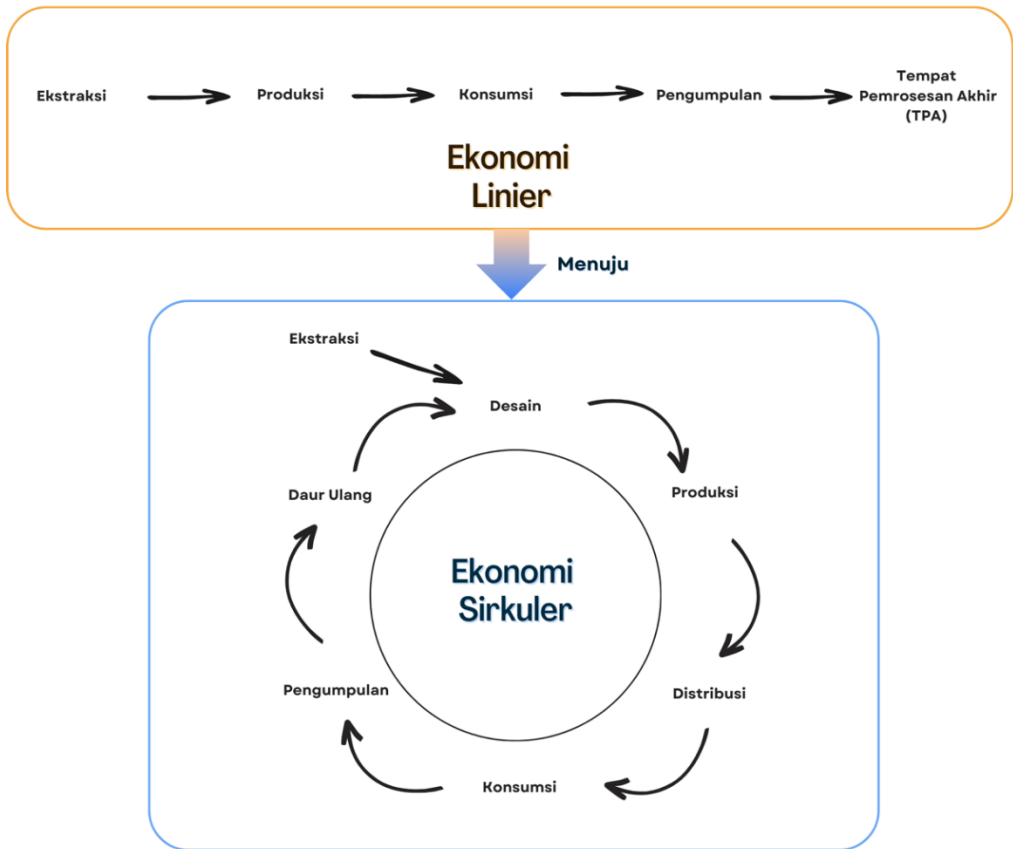
ini, lokasi Tempat Penampungan Sementara (TPS)/tempat penyimpanan sementara, Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST)/ Fasilitas Pemulihan Material (MRF) dan lokasi tempat pemrosesan akhir (TPA) harus disediakan oleh pemerintah daerah. Menemukan lokasi fasilitas persampahan sangat sulit karena sampah selalu dilihat sebagai pembuangan orang lain yang tidak diinginkan. Kita cenderung lupa bahwa setiap orang juga menghasilkan sampah.



**Gambar 4** Kebocoran sampah ke lingkungan mulai dari sumber sampah ke tempat pemrosesan akhir. Sumber: Heranita dan Sembiring (2023)

### 1.3 Pandangan Ekonomi Sirkuler

Salah satu sudut pandang yang dianggap berkelanjutan karena mampu meningkatkan upaya perlindungan lingkungan dan upaya konservasi sumber daya adalah ekonomi sirkuler. Ekonomi sirkuler adalah alternatif dari ekonomi linier tradisional (buat, gunakan, dan buang). Dalam ekonomi sirkuler, sumber daya akan terus digunakan selama mungkin dan menghasilkan nilai maksimum (Gambar 5). Ketika sumber daya sudah tidak digunakan lagi atau mencapai akhir masa pakainya, maka limbah dapat dipulihkan dan diregenerasi. Dalam ekonomi sirkuler, sampah, limbah, produk samping dan cacat produksi yang dihasilkan oleh proses produksi dan konsumsi produk dikembalikan ke proses produksi yang menghasilkan produk sejenis atau produk baru.



**Gambar 5** Skema ekonomi linier dan ekonomi sirkuler

Perubahan dari ekonomi linear yang dimulai dari ekstraksi dari lingkungan, masuk ke proses produksi lalu dibuang atau dikembalikan ke lingkungan berubah menuju ekonomi sirkuler diperkirakan merupakan salah satu cara untuk mengatasi masalah ledakan sampah, terutama sampah plastik di dunia.

Dalam rangka menuju ekonomi sirkular, masih dibutuhkan pemikiran dan peluang pengembangan industri masa depan yang mempertimbangkan desain produk yang mendukung ekonomi sirkuler. Desain produk harus bisa mempertimbangkan upaya pengembalian produk tersebut kembali ke industri setelah habis masa pakai/nilai utilitas produk tersebut mendekati nol di konsumen/pengguna. Desain produk harus bisa mempertimbangkan upaya daur ulang produk tersebut jika nilai utilitas sudah tidak ada atau jika produk tersebut sudah menjadi sampah. Material baru, desain baru, teknologi baru,

dan kebiasaan baru masih dibutuhkan dalam mendukung pencapaian ekonomi sirkuler ini.

Jika percaya pada pendekatan keseimbangan massa, maka sirkularitas hanya dapat dicapai jika ada peningkatan jumlah sampah yang dikumpulkan masuk ke dalam sistem formal maupun sistem informal. Pendekatan peningkatan kapasitas pengumpulan ini sepertinya masih bertumpu pada prinsip ekonomi linier. Namun peningkatan kapasitas pengumpulan ini menunjukkan lebih banyak sumber daya (limbah) yang berada dalam sistem, sehingga lebih banyak limbah yang akan dipulihkan dan berada di dalam sistem produksi dan konsumsi. Pertanyaan yang tersisa, mengapa sampai saat ini, kita tidak dapat meningkatkan cakupan pengumpulan sampah?

#### **1.4 Sampah Plastik dan Mikroplastik di Lingkungan**

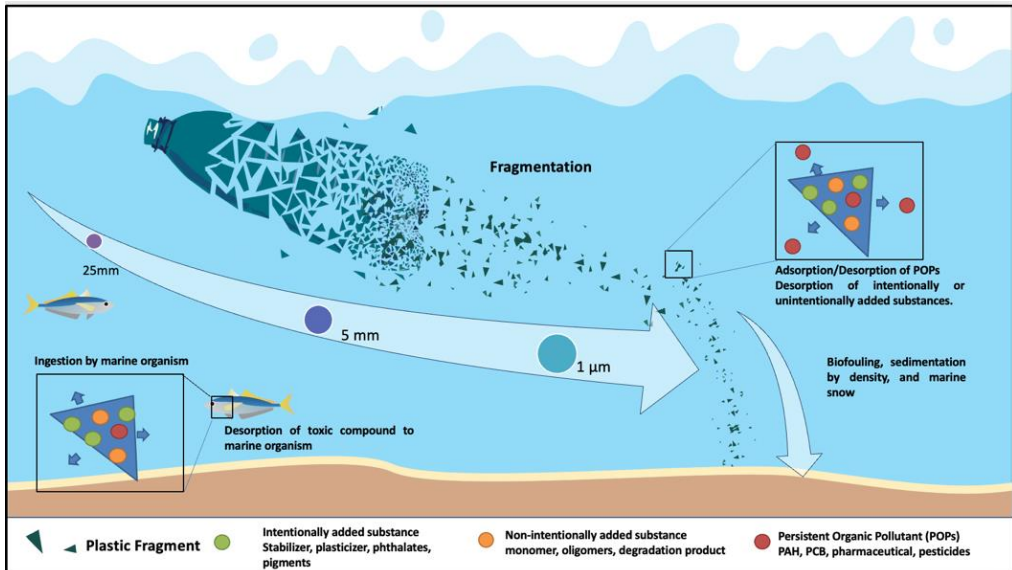
Belum lagi gunung sampah, termasuk sampah plastik di darat dan di badan air diselesaikan, sudah muncul tantangan baru dalam pengelolaan lingkungan, yaitu keberadaan mikroplastik di lingkungan. Mikroplastik sudah terdistribusi global dan telah terdeteksi di semua tingkatan di lingkungan perairan. Diperkirakan bahwa 15-51 triliun partikel mikroplastik terakumulasi di lautan, dengan berat antara 93 dan 236 ribu metrik ton. Mikroplastik adalah plastik yang berukuran lebih kecil dari 5 milimeter.

Pembagian plastik berdasarkan ukuran adalah sebagai berikut: mega-plastik (> 100 mm), macro-plastik (> 20 mm), meso-plastik (20 -5 mm), micro-plastik (5 mm -1 $\mu$ m), nano-plastik (< 1  $\mu$ m). Berdasarkan sumber, mikroplastik dibagi menjadi mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder. Mikroplastik primer adalah mikroplastik yang sudah berukuran kecil pada saat berada di lingkungan, sedangkan mikroplastik sekunder adalah mikroplastik yang akibat proses penguraian dan fragmentasi menjadi plastik berukuran lebih kecil (Gambar 6).

Menurut (Browne et al., 2011), sampah plastik di lingkungan perairan dapat terdegradasi melalui berbagai proses, termasuk hidrolisis biologis, pengaruh sinar ultraviolet (UV), pengaruh panas, perubahan fisik, dan termooksidasi. Untuk sebagian besar jenis LDPE dan HDPE, polipropilena (PP), dan nilon didegradasi melalui proses foto-oksidasi menggunakan sinar UV-B, yang diikuti dengan degradasi oksidasi termal. Ketika plastik terkena sinar UV-B,



ikatan kimia polimer menjadi tidak stabil, sehingga mengakibatkan kerusakan struktural. Proses degradasi ini mungkin mengakibatkan partikel makromolekul terdegradasi menjadi molekul mikro dan bahkan molekul nano (Cole et al., 2011; Galgani et.al., 2013). Proses fragmentasi plastik dan penyerapan senyawa organik pada permukaan plastik ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6** Pengaruh fragmentasi dan penyerapan senyawa organik beracun ke dalam fragmen plastik pada organisme laut. Sumber: Sembiring, E (2023) dalam Gail Krantzberg, Savitri Jetoo, Velma I Grover, Sandhya Babel.

Selain itu, fragmen-fragmen mikroplastik ini sering terdegradasi secara biologis oleh metabolisme bakteri dan jamur tertentu, yang mendegradasi struktur polimer melalui enzim atau sekresi sekretori. Oligomer dan monomer akan memasuki sitoplasma, kemudian mengalami mineralisasi, mengubah potongan plastik menjadi energi dan komponen struktural sel (karbon, nitrogen, fosfor, belerang, dll.) (Andrady, 2011). Proses mineralisasi plastik diperkirakan memakan waktu ratusan hingga ribuan tahun (Barnes et al., 2009). Tekanan, gesekan, dan tegangan semuanya berkontribusi terhadap kerapuhan, patah, atau kerusakan mikroplastik, misalnya fragmentasi serat selama proses pencucian, gaya tekanan pada gelombang, dan gaya gesekan angin akan berpengaruh pada fragmentasi mikroplastik (Barnes et al., 2009).

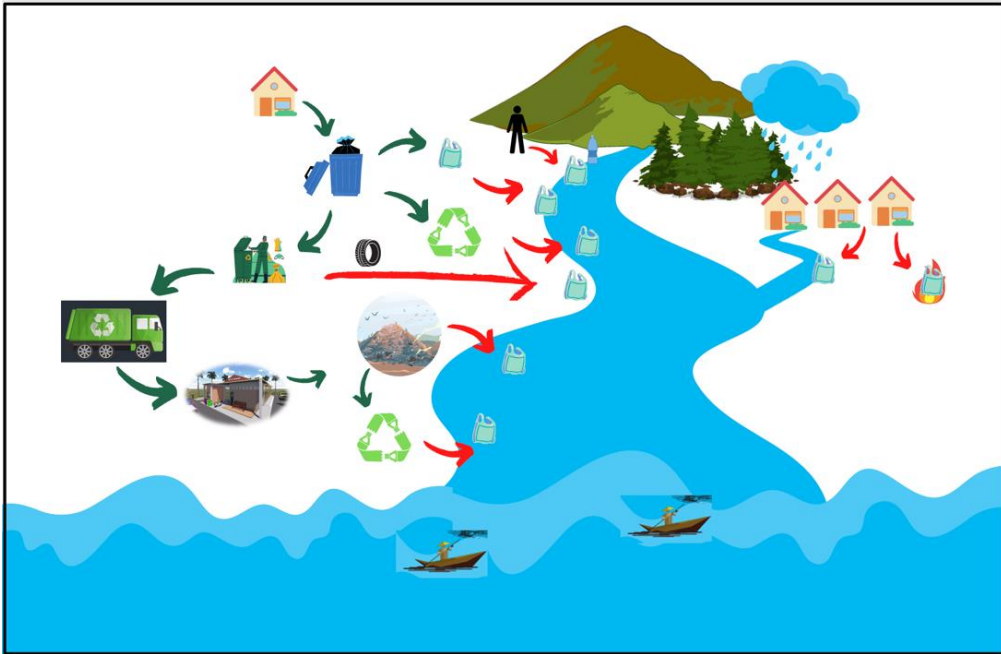
Sumber mikroplastik dari daratan ada berbagai macam antara lain sektor transportasi dalam bentuk serpihan ban; sektor maritim berupa serpihan

plastik dari buritan, penangkapan ikan; sampah plastik yang tidak terkelola; ataupun *outlet* unit pengolahan limbah.

Plastik masuk ke lingkungan laut melalui sejumlah jalur, termasuk transmisi sungai dan atmosfer, sampah di pantai, dan pembuangan langsung ke laut melalui budi daya perairan, pelayaran, dan penangkapan ikan (Kelompok Pakar Gabungan GESAMP tentang Aspek Ilmiah Perlindungan Lingkungan Laut, 2015). Namun, dibandingkan dengan sumber-sumber yang berasal dari laut, sumber-sumber yang berasal dari darat dianggap sebagai sumber utama plastik di laut (Jambeck, Geyer, dkk., 2015). Asal usul sampah plastik di dalam dan sekitar sistem air tawar berhubungan langsung dengan aktivitas manusia, karena jumlah plastik di sungai sangat berkorelasi dengan kepadatan penduduk, urbanisasi, pengolahan air limbah, dan pengelolaan sampah (Best, 2019; Babel dkk 2024). Selain itu, tempat pembuangan sampah, metode pembuangan sampah padat yang paling umum, merupakan tempat akumulasi dan penyebaran utama plastik. Mikroplastik, termasuk mikroplastik primer dan sekunder, juga dihasilkan di tempat pembuangan sampah (He et al., 2019). Berbagai proses alami (misalnya hujan dan angin) berkontribusi terhadap penyebaran mikroplastik yang ditimbun ke ekosistem sekitar seperti sistem perairan (Yadav et al., 2020).

Sampah plastik masuk ke sistem sungai melalui mekanisme transportasi alami atau pembuangan langsung sebagai akibat dari kurangnya pengelolaan sampah atau perilaku masyarakat yang tidak tepat (Gambar 5). Begitu plastik masuk ke sungai, parameter hidrologi seperti ketinggian air, kecepatan aliran, dan debit akan berdampak pada transportasi plastik (van Emmerik et al., 2018, Koeriyah dan Sembiring, 2023, Mellink dkk, 2024, ). *Fate* makroplastik yang masuk ke sistem air tawar masih menjadi ketidakpastian besar dalam studi transportasi plastik sungai. Secara umum, diperkirakan semua plastik yang ditemukan di sungai akan berakhir di laut. Namun, sebagian besar polusi plastik (99%) tidak pernah ditemukan mengapung di air laut sehingga dianggap “hilang” (Gigault dkk., 2018; van Sebille dkk., 2018). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa plastik ini tenggelam di bawah permukaan air (Choy dkk., 2019). Selain itu, jenis polimer, bentuk, dan ukuran plastik merupakan faktor penting yang menentukan *fate* plastik atau mikroplastik. Telah ditemukan bahwa karakteristik plastik mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap distribusi plastik di lingkungan (Schwarz et al., 2019). Nasib plastik di sistem air tawar sangat bergantung pada tiga proses: (1)

transportasi, (2) akumulasi, dan (3) proses degradasi yang terjadi pada semua plastik di lingkungan. Aliran sekunder plastik mikro dan nano dihasilkan saat plastik makro terdegradasi (Andrady, 2017).



**Gambar 5** Fate dan perjalanan sampah plastik dan partikel mikroplastik. Sumber: Sembiring, E (2023) dalam Gail Krantzberg, Savitri Jetoo, Velma I Grover, Sandhya Babel.

## 1.5 Aspek Pengelolaan Sampah

Sistem pengelolaan sampah yang menerapkan 5 aspek dalam manajemen merupakan faktor kunci dalam keberhasilan mencapai tujuan pengelolaan sampah. Kelima aspek pengelolaan persampahan antara lain peraturan, kelembagaan, pembiayaan dan pendanaan, partisipasi masyarakat dan pemangku kepentingan, serta aspek teknis operasional. Kondisi terkini dan kesenjangan aspek pengelolaan persampahan, tergambar pada bahasan berikut. Selain itu pemikiran pada setiap aspek akan dikaitkan dengan upaya menuju ekonomi sirkuler dan kontribusi mencegah kebocoran sampah ke lingkungan terutama ke laut.

### 1.5.1 Peraturan dan Kebijakan

Bagian ini akan menyoroiti kesenjangan pemberlakuan peraturan dan bagaimana upaya meningkatkan penyediaan layanan persampahan.

### **1.5.1.1 Undang-Undang No. 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah**

Pengelolaan Sampah pada Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 mengatur tiga jenis sampah, yaitu sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga serta sampah spesifik. Sebelum tahun 2008, tidak ada peraturan yang secara khusus menangani sampah. Dalam undang-undang ini, pemerintah dan pemerintah daerah menjamin terselenggaranya pengelolaan sampah yang berwawasan lingkungan sesuai dengan tujuan yang dimaksud dalam undang-undang ini. Pengelolaan sampah bertujuan untuk meningkatkan kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan serta mengubah sampah menjadi sumber daya.

Pemerintah Daerah (Pemda) memainkan peran penting dalam penyediaan pengelolaan sampah seperti regulator (menetapkan kebijakan dan peraturan yang sesuai dengan tingkat nasional dan provinsi), sebagai operator (melakukan layanan pengelolaan sampah skala kota), dan sebagai penegak peraturan/pengawasan seperti yang tertuang pada Pasal 31 (1) mengawasi penyelenggaraan pengelolaan sampah. Tiga peran sebagai operator, regulator dan kegiatan penegakan/pengawasan hukum dapat menimbulkan konflik kepentingan dan beban bagi pemerintah daerah. Mengalihkan beban ke entitas lain dengan tupoksi yang tepat kemungkinan dapat meningkatkan pelayanan.

Berdasarkan UU No. 18 Tahun 2008, konsep ekonomi sirkuler ditujukan untuk mengubah sampah menjadi sumber daya. Namun, limbah hanya dapat menjadi sumber daya potensial ketika telah terpilah. Sampah tercampur membutuhkan banyak usaha dan fasilitas atau hanya tersisa pilihan terbatas untuk meningkatkan potensi sumber dayanya.

### **1.5.1.2 Peraturan Pemerintah No. 81 Tahun 2012 tentang Sampah Rumah Tangga dan Pengelolaannya Sampah Seperti Sampah Rumah Tangga**

Sampah yang termasuk dalam peraturan ini adalah sampah yang dihasilkan dari rumah tangga dan institusi lain yang menghasilkan sampah seperti sampah rumah tangga, tidak termasuk sampah khusus dan limbah tinja. Undang-undang pemerintah ini mengakui pentingnya pemilahan pada sumber, yang tertuang dalam Pasal 17 (2) yang membagi pemisahan sampah di sumber menjadi minimal 5 kategori, yaitu (1) sampah berbahaya, (2) sampah yang dapat terurai, (3) sampah yang dapat digunakan kembali, (4) sampah yang dapat didaur ulang, dan (5) sampah lainnya. Dalam peraturan

ini, Pemda harus menyediakan layanan mulai dari pengumpulan di Pasal 18(1b) hingga pengangkutan sampah di Pasal 19(1). Namun, sebagian besar fasilitas persampahan yang dirancang untuk menerima sampah terpisah (bukan sampah tercampur, *mixed wastes*) telah berubah menjadi fasilitas mengolah sampah tercampur. Pemilahan sampah berdasarkan hanya dua (2) kategori yang telah diusulkan dan dikampanyekan selama ini, masih belum berhasil.

#### **1.5.1.3 Keputusan Presiden No. 97 Tahun 2017 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga**

Target nasional pengurangan dan penanganan sampah telah dituangkan dalam keputusan presiden ini. Pengurangan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga mencapai 30% dari timbulan sebelum keputusan ini pada tahun 2025. Penanganan sampah harus mencapai 70% pada tahun 2025. Pemda harus menyediakan kendaraan pengangkut untuk aliran sampah yang dipisahkan, hal ini tertuang dalam pasal 19(2). Sampai saat ini belum ada Pemda yang mampu menyediakan pengumpulan dan pengangkutan sampah berdasarkan jenis sampah yang terpisah.

#### **1.5.1.4 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P75 tahun 2019 tentang Peta Jalan Pengurangan Sampah oleh Produsen**

Konsep *Extended Producer Responsibility* (EPR) sedikit tergambar pada peraturan ini. Berdasarkan peraturan ini, maka produsen berkewajiban mengurangi sampah sampai 30% berdasarkan jumlah timbulan sampah *baseline* pada tahun 2029. Hal ini menunjukkan bahwa peraturan ini berlaku dan diterapkan setelah tahun 2029. Ada empat jenis material yang diatur yaitu: plastik, kaleng aluminium, kertas, dan kaca. Kewajiban produsen untuk melaporkan upaya pengurangan sampah ini bisa dikatakan sebagai wujud upaya menuju ekonomi sirkuler karena produsen akan berusaha mengumpulkan sampah pascakonsumsi untuk dikelola. Periode saat ini, sebelum tahun 2029, bisa dikatakan sebagai masa transisi menuju ekonomi sirkuler.

Jelas dinyatakan dalam peraturan perundang-undangan di Indonesia, penyediaan sampah sudah mengidentifikasi sistem pengelolaan sampah dari penghasil sampah seperti rumah tangga. Seperti yang kita ketahui dengan jelas, sebagian besar penanganan sampah di Indonesia memiliki sistem dua

tahap. Tahap pertama, sampah yang dihasilkan dari rumah tangga dikumpulkan RT/RW lalu dikumpulkan di TPS, tahap kedua sampah diangkut dari TPS ke TPA. Oleh karena itu, penting untuk memberlakukan peraturan yang telah ditetapkan bahwa sistem pelayanan sampah dimulai dari sumber penghasil sampah. Dalam hal ini, layanan Pemda saat ini yang hanya mengangkut sampah dari TPS ke TPA harus diperluas untuk mencakup pengumpulan sampah yang dihasilkan dari rumah tangga. Pertanyaannya tetap, apakah Pemda memiliki kapasitas dan sumber daya untuk mematuhi peraturan dan melakukan pengawasan pada penegakan hukum dan peraturan? Jika tidak, lalu kapasitas dan sumber daya apa yang perlu ditingkatkan? Jawaban atas pertanyaan ini akan menyebar dari diskusi selanjutnya.

### **1.5.2 Kelembagaan**

Institusi yang mengelola persampahan dan mengelola kebersihan di perkotaan dan kabupaten adalah: seksi kebersihan, Unit Pelaksana Teknis Dinas (UPTD), dinas dan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD). Seksi kebersihan di bawah dinas, misalnya dinas Pekerjaan Umum (PU), terutama apabila masalah kebersihan kota masih bisa ditangulangi oleh suatu seksi di bawah dinas tersebut. Unit pelaksana teknis dinas, misalnya dinas PU, terutama apabila dalam struktur organisasi belum ada seksi khusus di bawah dinas yang mengelola kebersihan dan jasa pengelolaan sampah sehingga bisa menekankan pada urusan operasional dan lebih memiliki otonomi daripada seksi. Dinas kebersihan akan memberikan percepatan dan pelayanan kepada masyarakat dan bersifat nirlaba. BUMD dibentuk bila urusan di kota tersebut sudah cukup luas dan kompleks. Pada prinsipnya BUMD tidak lagi disubsidi dari Pemda sehingga efektivitas penarikan retribusi akan sangat menentukan.

Pemda memiliki tiga peran dalam sistem pengelolaan sampah, yaitu regulator, operator, dan pengawasan/penegakan hukum. Seperti entitas lainnya, setiap peran harus dipisahkan sehingga layanan dapat disampaikan secara efektif.

Saat ini umumnya institusi yang melaksanakan jasa layanan kebersihan pada masyarakat adalah Dinas Lingkungan Hidup (DLH). Tugas pokok dinas antara lain penyelenggaraan urusan rumah tangga daerah yang berhubungan dengan tanggung jawabnya dan menjalankan tugas pembantuan yang

diberikan oleh pemerintah di atasnya dengan sepengetahuan kepala daerah yang bersangkutan. Dalam menjalankan tugas pokok tersebut dinas memiliki fungsi melaksanakan pembinaan umum berdasarkan kebijakan yang ditetapkan kementerian dalam negeri (Kemendagri) dan melaksanakan pembinaan teknis sesuai kebijaksanaan yang ditetapkan kementerian yang terkait. Bila menyimak fungsi dinas daerah tersebut maka terlihat kurang sesuai dengan kedudukan dinas sebagai unsur pelaksana (lini) yang bersifat operasional dan bukan pembinaan. Apabila dinas daerah bersifat pembinaan, berarti harus ada unit atau subdinas yang melaksanakan aktivitas operasional (Sembiring, 2001).

Tugas pokok dan fungsi (tupoksi) yang diuraikan masing-masing bentuk kelembagaan/institusi di atas maka perlu dipikirkan kembali entitas apa yang tepat sehingga lembaga ini bisa gesit dan efektif dalam memberikan jasa layanan kebersihan atau pengelolaan sampah daerah, apalagi diharapkan entitas ini akan menguatkan pencapaian ekonomi sirkuler. Organisasi Perangkat Daerah (OPD) untuk pengelolaan persampahan adalah UPTD atau BUMD (Sembiring, 2001). Dinas akan lebih fokus pada tugas pembinaan dan dapat memberikan pelayanan kepada masyarakat dalam bentuk barang dan atau jasa dalam bentuk UPTD. Pembentukan UPTD berdasarkan keputusan Kemendagri. UPTD diharapkan akan lebih berorientasi pada layanan pada pelanggan/masyarakat (Sembiring, 2001). UPTD merupakan unit operasional fungsional yang bertumpu pada *talent* yang memiliki keahlian tertentu. UPTD diarahkan menjadi organisasi yang profesional bukan hanya berorientasi pada struktural. Namun UPTD ini harus bisa bertransaksi material, produk dan jasa sehingga yang diharapkan adalah badan layanan umum daerah yang melaksanakan aktivitas teknis operasional (BLUD-UPTD).

Ekonomi sirkuler di daerah sangat membutuhkan kemampuan sektor formal entitas pengelolaan persampahan untuk bisa bertransaksi di sistem produksi dan konsumsi. Sebagai contoh: apabila sampah sudah dipisahkan dan dibersihkan di TPST atau di TPS3R dan siap untuk dijual pada perantara atau industri daur ulang, bagi BLUD-UPTD akan legal untuk melakukan transaksi. Ada kemungkinan BLUD ini akan minim pendapatan atau hanya mampu impas dengan biaya administrasi dan operasional UPTD, maka untuk daerah-daerah tertentu, BLUD pengelolaan sampah ini bisa disatukan dengan jasa utilitas daerah yang lain.

### **1.5.3 Pembiayaan/Pendanaan**

Penyediaan sistem pengelolaan sampah harus didanai oleh pemerintah pusat dan daerah baik dengan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) atau Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD). Pelayanan pengelolaan sampah juga dapat dibiayai dari retribusi/pungutan (PP 81/2012, pasal 29). Alokasi anggaran pelayanan pengelolaan sampah rata-rata kurang dari 0,5% APBD. Kewajiban untuk mengalokasikan anggaran dalam APBD tidak secara tegas dinyatakan, karena saat ini pelayanan pengelolaan sampah tidak termasuk sebagai pelayanan dasar dan wajib. Berbeda dengan sektor lain seperti air bersih dan air buangan domestik, anggaran APBD harus dialokasikan untuk sektor ini.

Minimnya anggaran subsidi dari APBD menyebabkan kemampuan operator dalam membiayai operasi dan pemeliharaan juga sangat minim. Upaya penambahan pendapatan misalnya dengan pungutan retribusi belum mampu membawa fleksibilitas pembiayaan operasi dan pemeliharaan.

Sebagaimana diamanatkan dalam PP 81/2012, Kemendagri telah memberlakukan Permen No. 7/2021 tentang tata cara penghitungan pungutan/retribusi jasa pengelolaan sampah (peraturan retribusi). Salah satu gambaran yang tertuang dalam UU persampahan, Pemda harus memberikan pelayanan mulai dari rumah tangga (penghasil sampah), berbeda dengan sistem ganda yang ada saat ini. Artinya, perhitungan dalam lampiran Permen No. 7/2021 juga harus mencerminkan amanat tersebut.

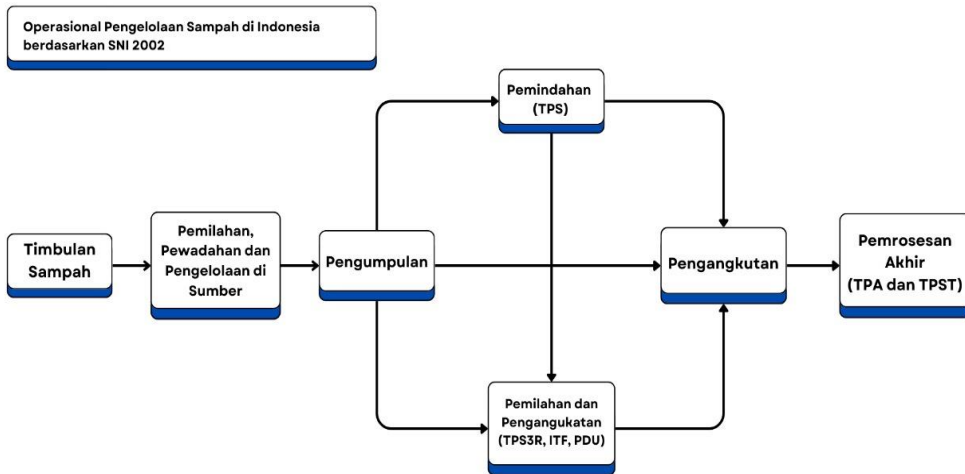
### **1.5.4 Teknik Operasional**

Teknik operasional pengelolaan sampah dimulai dari pewadahan, pengumpulan, Tempat Penampungan Sementara (TPS), pengangkutan dan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) (Gambar 6).

Prakiraan rata-rata timbulan sampah merupakan langkah awal yang biasa dilakukan dalam pengelolaan persampahan. Timbulan sampah digunakan untuk menentukan fasilitas dan kapasitas masing-masing unit pengelolaan sampah, seperti kebutuhan tempat sampah, sarana daur ulang, kebutuhan sarana peralatan untuk pengumpulan dan tempat pemrosesan akhir. Rata-rata timbulan sampah setiap harinya akan bervariasi antara satu daerah dengan daerah lainnya, dan satu negara dengan negara lainnya. Perbedaan ini



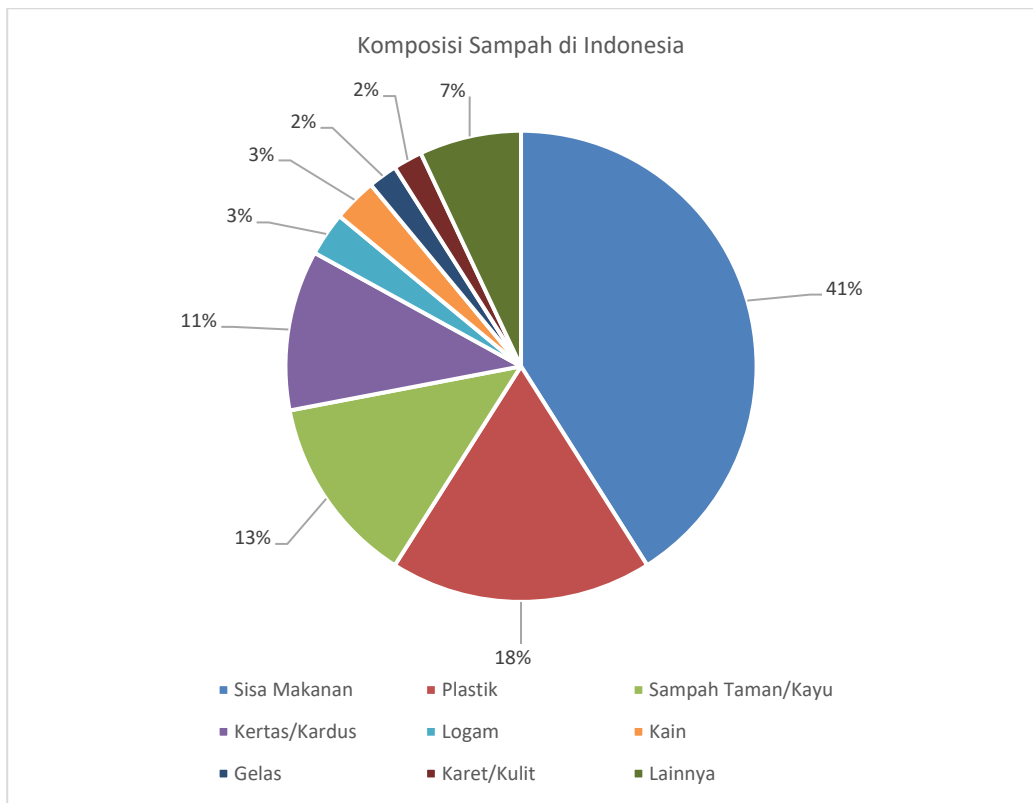
utamanya disebabkan oleh perbedaan, yang meliputi: jumlah penduduk dan tingkat pertumbuhan; standar hidup, makin tinggi tingkat hidup masyarakat, makin besar timbulan; musim; gaya hidup dan mobilitas; iklim; cara mengelola makanan dan teknologi.



**Gambar 6** Aspek teknis dan operasional pengelolaan sampah

Rata-rata timbulan sampah di Indonesia adalah 0,3-0,7 kg/kapita/hari. Setiap tahunnya Indonesia menghasilkan 53,2 juta ton sampah per tahun (Gambar 1). Sampah makanan dan sampah kebun merupakan jenis sampah utama (40%-65%), plastik dan kertas merupakan sampah terbesar kedua dan ketiga (Gambar 7). Kadar air sampah bisa mencapai 60%. Tingginya kadar air dan besarnya konsentrasi sampah sisa makanan akan memengaruhi jenis teknologi yang bisa diterapkan.

Pelayanan persampahan dimulai dari tempat sampah di penghasil sampah. Pilihan tempat sampah bisa juga memengaruhi cara mengumpulkan sampah, misalnya bila setiap rumah penghasil sampah menempatkan tempat sampah di depan rumah maka pilihan pengumpulan sampah dengan cara langsung di tepi jalan bisa menjadi pilihan. Saat ini hampir tidak ada kota/kabupaten yang menyediakan tempat sampah langsung di penghasil sampah atau rumah tangga. Pihak rumah tangga yang menyediakan tempat sampah sendiri. Jadi, jenis, bahan, dan ukuran tempat sampah di setiap rumah berbeda-beda.



**Gambar 7** Komposisi sampah nasional (Sumber SIPSN, 2021)

Tempat sampah yang biasa digunakan oleh masyarakat adalah wadah cat besar, drum bekas dan kantong plastik. Jenis tempat sampah yang ada dapat dilihat pada Tabel 2. Jika Pemda ingin memperluas pelayanan langsung dari rumah tangga, maka jenis tempat sampah ini sebaiknya disediakan. Kapasitas tempat sampah bisa juga disesuaikan dengan tarif retribusi/ biaya pengumpulan yang akan dikenakan. Tempat sampah juga dapat disewa atau disediakan, kemudian dapat dikaitkan dengan biaya pengumpulan sampah (bagian dari retribusi). Upaya pemilahan di sumber akan membantu upaya pemanfaatan sampah menjadi sumber daya. Tempat sampah disediakan minimal 2 tempat sampah terpisah, atau lebih (Gambar 8). Informasi yang dimasukkan ke dalam tempat sampah harus dirancang untuk menunjukkan bagaimana sampah tersebut diolah.

Beberapa tempat sampah yang terpisah akan mempermudah pemilahan sampah, bila sampah akan digunakan sebagai material daur ulang. Sampai saat ini pemisahan sampah di sumber ini belum efektif, sampah masih tercampur walaupun sudah disediakan tempat sampah yang terpisah.

**Tabel 2** Tipe wadah sampah

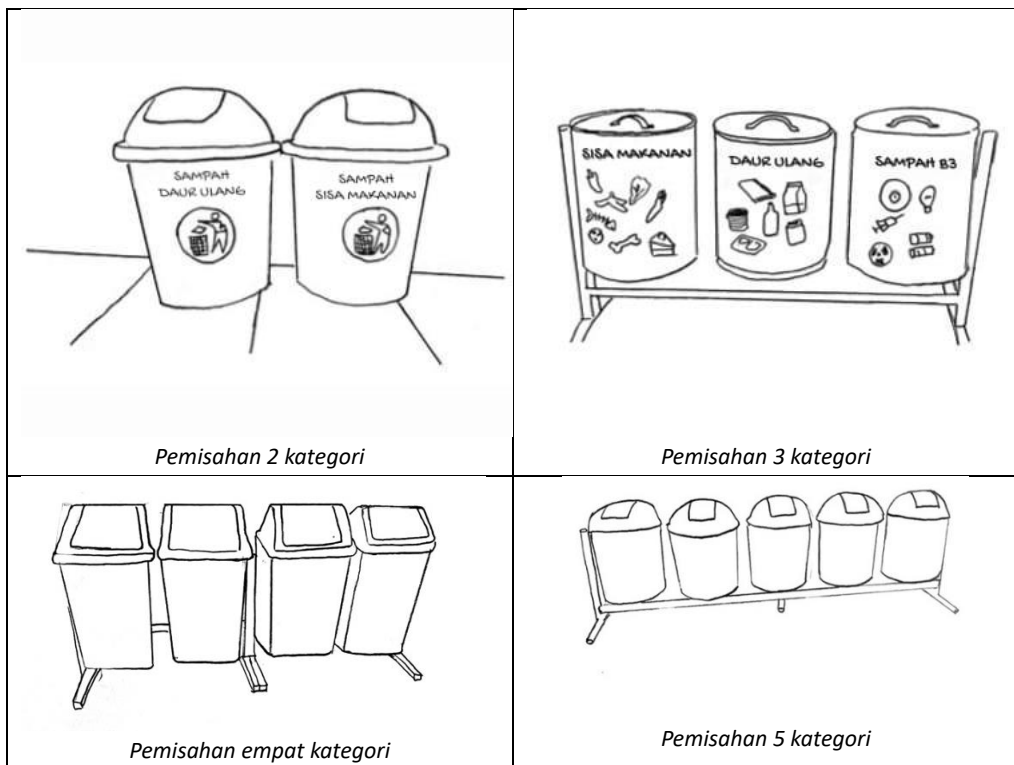
No	Jenis	Individual	Komunal
1	Tipe	Kantong plastik, bin, kotak sampah	kontainer, tempat sampah permanen
2	Material	Plastik, bambu, rotan, kardus, logam, fiberglass	Logam, bambu
3	Volume	10-20 L	30-40 L disamping jalan atau 100-1.000 L
4	Contoh		

Sistem teknik operasional pengelolaan sampah memang harus dimulai dari bagaimana pewadahan/tempat sampah akan mendukung tahapan teknis operasional berikutnya. Misalnya tempat sampah yang sudah terpisah seharusnya didukung dengan pengumpulan sampah terjadwal sesuai dengan jenis sampah yang sudah terpisah, atau pengumpulan dilakukan dengan sarana yang sudah memiliki kompartemen yang terpisah juga.

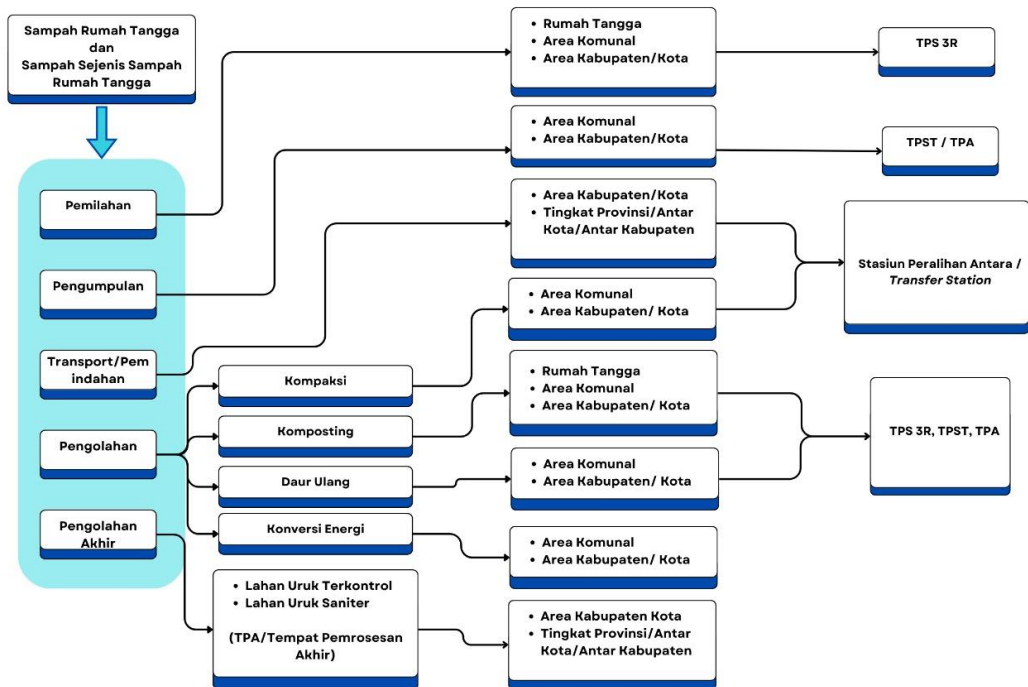
Desain dan informasi yang tersedia di tempat sampah bisa menyesuaikan dengan teknologi dan proses selanjutnya yang akan digunakan. Tujuan pemisahan/pemilahan sampah berdasarkan kategori disesuaikan dengan teknologi/proses berikutnya. Misalnya, sampah sisa makanan dan hanya sisa makanan dikumpulkan terpisah di tempat wadah terpisah yang nantinya akan dikumpulkan untuk dimanfaatkan sebagai pakan *black soldier fly* (BSF) dan informasi yang tertulis di tempat sampah adalah jenis jenis sisa makan dan keterangan sampah ini akan dimanfaatkan untuk BSF. Sampah kebun/taman dan sisa makanan misalnya dikumpulkan ditempat sampah yang bertuliskan “dikomposkan” (Gambar 8). Menurut UU No 18/2008 sampah dipisahkan menjadi 5 kategori, yakni (1) sampah berbahaya, (2) sampah yang dapat terurai, (3) sampah yang dapat digunakan kembali, (4) sampah yang dapat didaur ulang dan (5) sampah lainnya.

Pengumpulan sampah dari rumah tangga ke fasilitas persampahan dapat dilihat pada Gambar 9. Seperti disebutkan sebelumnya di Indonesia sebagian

besar sampah dikumpulkan dan diangkut dengan menggunakan sistem ganda (sistem pengumpulan dan pengangkutan menjadi dua sistem). Pengumpulan sampah dari penghasil sampah/rumah tangga (RT) ke tempat penampungan sampah sementara (TPS). Dari TPS sampah akan diangkut tempat pemrosesan akhir (TPA). TPS ini dalam literatur luar negeri hampir sama dengan *transfer station*, penggantian moda transportasi dari moda transportasi kecil ke moda transportasi lebih besar bisa saja karena jarak fasilitas persampahan yang terlalu jauh. Idealnya sampah dari sumber penghasil sampah langsung diangkut ke fasilitas persampahan. Namun ketidakmampuan pengangkutan langsung ini bisa diatasi dengan membangun fasilitas antara seperti TPS.

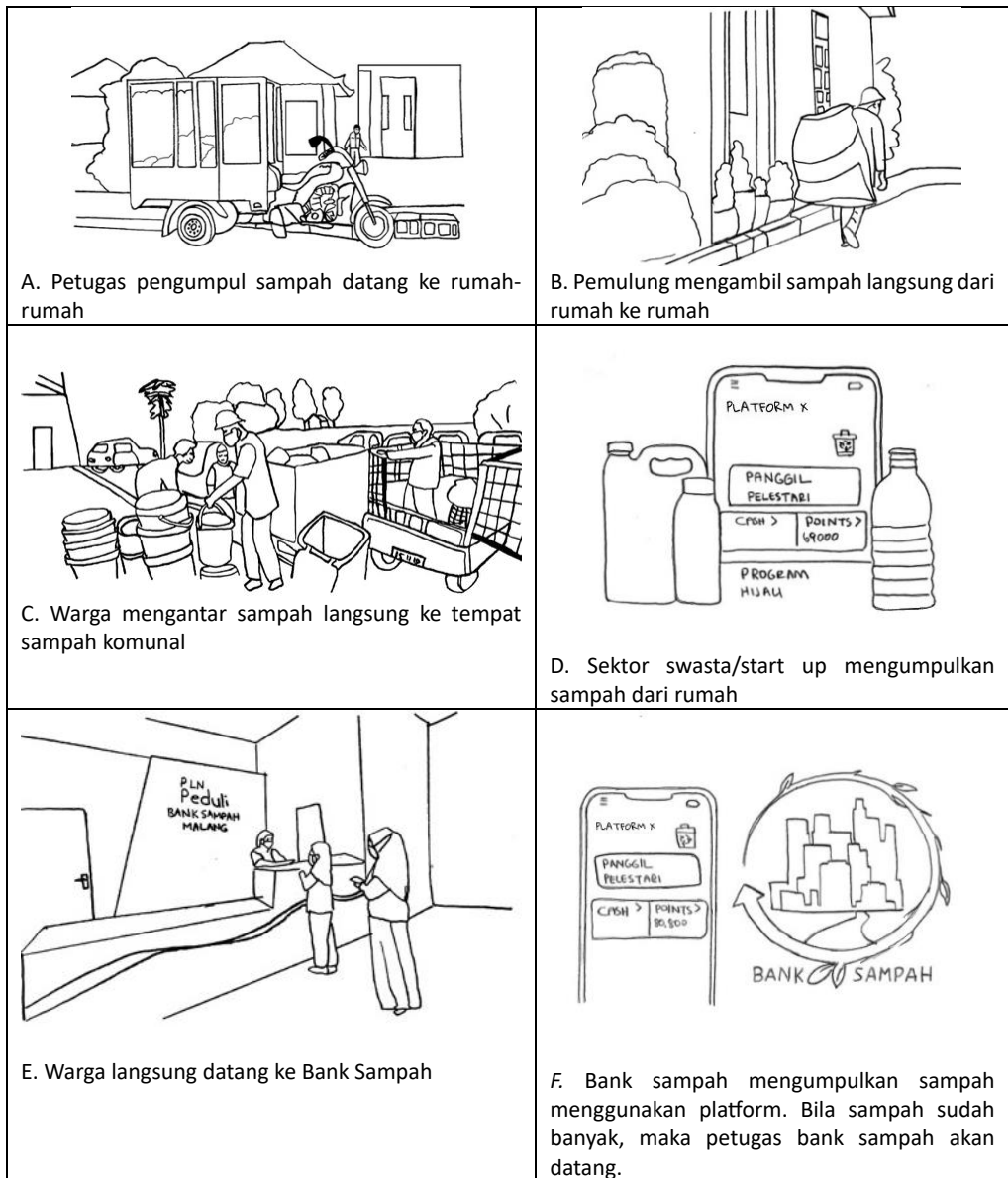


**Gambar 8** Tipe tempat sampah sesuai tujuan pengolahan



**Gambar 9** Sistem pengumpulan dan pengangkutan sampah

Sebagaimana diamanatkan dalam undang-undang pengelolaan sampah, sistem pengumpulan harus disediakan oleh Pemda. Pengumpulan saat ini yang disediakan oleh rukun tetangga (RT)/Rukun Warga (RW) harus diformalkan menjadi bagian dari pengelolaan sampah secara keseluruhan. Praktik saat ini tentang cara mengumpulkan sampah dari rumah dapat dilihat pada Gambar 10. Pada praktiknya saat ini, pengumpulan sampah di sumber masih banyak dilakukan oleh paguyuban warga yang dikelola oleh RT/RW. Petugas sampah yang dikelola RT/RW akan datang kerumah warga untuk mengumpulkan sampah. Pengumpulan sampah adakalanya dilakukan oleh pemulung. Pemulung datang ke rumah warga untuk mengumpulkan sampah dari tempat sampah atau pembeli barang bekas melakukan transaksi beli sampah dari penduduk. Di Medan, pembeli barang bekas ini disebut “goni botot” , di Jawa disebut “tukang rongsook”. Ada juga warga yang sudah terhubung dengan aplikasi di telepon genggam yang dibangun oleh *start up*, swasta ataupun bank sampah yang ikut terlibat dalam pengumpulan sampah. Keterlibatan sektor swasta dalam pengumpulan sampah saat ini masih kecil. Sistem *drop off* bisa menjadi pilihan jika sistem tersebut sudah diperkenalkan ke rumah tangga dan tingkat partisipasinya sudah bisa diprediksi.



**Gambar 10** Pengumpulan sampah dari sumber

Pengumpulan dari titik penghasil sampah, berdasarkan UU 18/2008, pengelolaan sampah merupakan kewajiban pemda. Walaupun, pemda mendelegasikan pengumpulan sampah, maka merupakan kesepakatan antara pemerintah kota dan pihak yang dituju seperti RT/RW atau pengumpulan oleh swasta sehingga tidak ada lagi dual sistem. Pengelolaan sampah yang langsung dari sumber ini, akan mempermudah pemda mengukur kinerja pengelolaan sampah sekaligus akan mempermudah

pendataan pelanggan dan bagaimana cara menarik biaya jasa pengelolaan sampah.

Tempat penampungan sementara (TPS) telah dibangun di Indonesia untuk mengatasi keterbatasan akses ke rumah, dari pintu ke pintu atau dengan pengumpulan tepi jalan. Kemampuan pemerintah kota juga terbatas untuk menyediakan truk sampah dan sumber daya manusia untuk melayani semua rumah tangga. Idealnya sampah harus bisa dikumpulkan dan diangkut ke fasilitas persampahan langsung dari sumber penghasil sampah. Jadi apabila kemampuan pemda sudah meningkat, maka jangan dipaksa dibangun TPS. Saat ini, lebih banyak fasilitas persampahan seperti TPST yang dibangun di seluruh Indonesia, sehingga memungkinkan untuk langsung mengumpulkan sampah dari penghasil sampah, kemudian langsung diangkut ke TPST/MRF. Mungkin di masa depan kita tidak melihat banyak TPS lagi di Indonesia.

Pengangkutan sampah yang disediakan oleh pemerintah daerah adalah mengangkut sampah dari TPS ke TPA. Beragamnya jenis dan kapasitas alat angkut sampah di setiap daerah tergantung pada alokasi anggaran pengelolaan sampah di setiap daerah. Selama ini, biaya pengangkutan sampah menghabiskan persentase tertinggi dari anggaran Pemda untuk pengelolaan sampah (Takaendengan dkk, 2017). Optimalisasi armada transportasi dapat dipertimbangkan untuk menekan biaya transportasi.

### **1.5.5 Peran Serta Masyarakat dan Pemangku Kepentingan**

Selama ini kita selalu dihadapkan pada pernyataan tanpa adanya partisipasi masyarakat penghasil sampah maka pengelolaan sampah tidak akan berhasil. Pernyataan ini memang benar, tetapi pemangku kepentingan, seperti Pemda, pelaku usaha, sektor swasta juga menjadi bagian penting dalam keberhasilan pengelolaan sampah. Masyarakat dan pemangku kepentingan harus dapat bersinergi agar upaya pengelolaan sampah berhasil.

Peran serta masyarakat diharapkan dalam bentuk partisipasi dalam program pemilahan, upaya merubah gaya hidup untuk mengurangi sampah dan kontribusi dalam biaya pengelolaan sampah. Partisipasi masyarakat ini erat sekali kaitannya dengan budaya dan perilaku masyarakat. Persepsi masyarakat terhadap pengelolaan sampah yang sesuai kaidah teknis operasional yang dirancang harus disamakan dengan tujuan pengelolaan

sampah yang diharapkan oleh Pemda. Sebaliknya pemerintah juga responsif dan menyediakan sarana dan prasarana sesuai dengan tujuan pengelolaan sampah yang diharapkan. Ancap kali kita mendengar bahwa masyarakat sudah melakukan pemilahan, tetapi karena sarana pengangkutan belum memadai, sampah yang sudah terpilah, tercampur kembali.

Pada upaya menerapkan *extended producer responsibility (EPR)* pun peran pemangku kepentingan sangat besar, misalnya pembagian peran dan tanggungjawab antara pelaku usaha dan pemerintah. Sebagai contoh, masyarakat diharapkan sudah melakukan pemilahan di sumber, maka pemerintah bertanggung jawab dalam mengumpulkan, mengangkut dan menyimpan sampah yang sudah terpilah ini dalam sistem pengelolaan sampah yang memang sudah menjadi tanggung jawab pemerintah. Pelaku usaha ikut berkontribusi dalam upaya pengolahan sampah terpilah ini dan upaya daur-ulang sampah yang sudah terpilah sehingga bisa kembali pada sistem produksi.

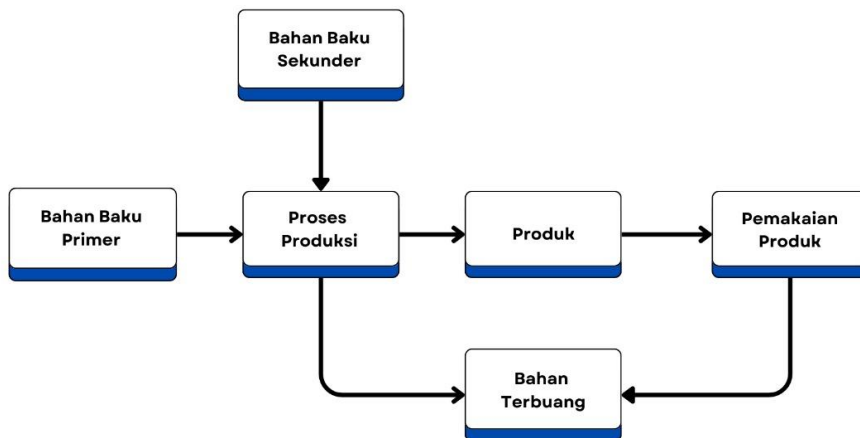
Peran serta masyarakat dalam upaya pemilahan sampah di sumber penghasil sampah perlu mendapatkan penyuluhan terus menerus. Belum adanya pedoman baku dalam membina masyarakat, menyebabkan persepsi masyarakat tentang sistem pengelolaan sampah yang sudah dirancang masih tidak sesuai dengan yang diharapkan, atau bahkan tidak dipahami oleh masyarakat.



## 2 PENGELOLAAN SAMPAH INDONESIA DALAM PERSPEKTIF EKONOMI SIRKULER

Pemikiran bahwa salah satu upaya dalam peningkatan jumlah bahan terbuang yang kembali ke proses produksi dan konsumsi disebut ekonomi sirkular (*Circular Economy*). Ekonomi sirkular menitik beratkan sampah, limbah, produk sampingan dan cacat produksi yang dihasilkan oleh proses produksi dan konsumsi produk, dikembalikan ke proses produksi yang menghasilkan produk sejenis atau produk baru. Hal ini tergambar secara sederhana pada Gambar 11, dengan memperhatikan hukum kekekalan massa, apabila bahan terbuang bisa dikembalikan ke proses produksi dan konsumsi maka akan lebih sedikit bahan yang terbuang; apabila dikurangi penggunaan bahan baku primer dan bahan baku sekunder, maka akan lebih sedikit bahan yang terbuang; apabila lebih sedikit permintaan pemakaian produk maka akan lebih sedikit bahan yang terbuang; dan apabila produk dipertahankan selama mungkin di konsumen, maka akan mengurangi bahan yang terbuang. Untuk mempermudah pemahaman upaya ekonomi sirkular ini, bisa dibagi menjadi upaya yang dilakukan di proses produksi, dan upaya yang dilakukan setelah produk jadi dan dimanfaatkan oleh konsumen (*post consumed*). Jadi jelas terlihat bahwa perubahan dari ekonomi linear (Gambar 11) yang dimulai dari ekstraksi dari lingkungan, masuk ke proses produksi lalu di buang atau dikembalikan ke lingkungan berubah menuju ekonomi sirkular merupakan salah satu cara mengatasi masalah ledakan sampah di dunia.

Konsep ekonomi sirkular – yang saat ini dipromosikan secara luas di Asia – memiliki akar konseptual pada ekologi industri (*industrial ecology*), yang membayangkan suatu bentuk simbiosis material antara perusahaan dan proses produksi yang sangat berbeda. Ekologi industri menekankan manfaat dari daur ulang bahan limbah sisa dan produk sampingan melalui, misalnya, pengembangan keterkaitan yang kompleks, yang saling menguntungkan (simbiosis mutualisme). Namun, dalam istilah yang lebih umum, ekologi industri lebih mempromosikan penggunaan sumber daya yang minimal dan penerapan teknologi yang lebih bersih. Sudut pandang ini lebih melihat, pengurangan limbah pada saat proses produksi dan tidak termasuk dalam kegiatan setelah produk di konsumen dan diproses konsumsi.



**Gambar 11** Proses produksi dan konsumsi sederhana

Ekonomi sirkuler dianggap sebagai sebuah alternatif ekonomi linier tradisional (membuat, menggunakan, membuang). Ekonomi sirkuler menjaga sumber daya tetap digunakan selama mungkin, mengambil nilai maksimum dari sumber daya tersebut saat digunakan, kemudian memulihkan dan meregenerasi produk dan bahan di akhir masa hidup.

Ekonomi sirkuler merupakan sebuah sistem regeneratif yang meminimalkan *input* sumber daya dan limbah, emisi, dan kebocoran energi dengan memperlambat, menutup, dan mempersempit putaran material dan energi. Hal ini dapat dicapai melalui desain jangka panjang, pemeliharaan, perbaikan, penggunaan kembali, manufaktur ulang, perbaikan, dan daur ulang.

Dalam rangka menuju ekonomi sirkular ini masih dibutuhkan pemikiran dan peluang pengembangan industri masa depan yang mempertimbangkan desain produk yang mendukung ekonomi sirkular. Desain produk harus bisa mempertimbangkan upaya pengembalian produk tersebut kembali ke industri setelah habis masa pakai di konsumen. Desain produk harus bisa mempertimbangkan upaya daur ulang produk tersebut jika nilai utilitas sudah tidak ada atau jika produk tersebut sudah menjadi sampah. Material baru, desain baru, teknologi baru, kebiasaan baru masih dibutuhkan dalam mendukung ke arah ekonomi sirkular ini.

Saat ini upaya penerapan ekonomi sirkuler lebih banyak bertumpu pada pascakonsumsi (*post consumed*) sehingga sangat menitik beratkan pada upaya

peningkatan pengelolaan sampah di daerah-daerah. Padahal dengan akses pada pengelolaan sampah baik sektor formal dan informal masih 39,1% (Gambar 2) dan ada 241 kota/kabupaten (53% dari seluruh Indonesia) yang memiliki tingkat pelayanan di bawah 25% (Tabel 1), maka perlu upaya meningkatkan akses terhadap pelayanan pengelolaan persampahan. Diupayakan terlebih dahulu lebih banyak sampah berada dalam sistem pengelolaan sampah, dengan tetap meningkatkan investasi pada penyediaan sarana dan prasarana pengumpulan dan pengangkutan sampah, termasuk penyediaan gudang-gudang tempat penyimpanan material/bahan daur ulang. Memang terkesan seperti investasi ekonomi linier karena mengutamakan pengumpulan dan pengangkutan, tetapi pemikiran ini valid karena semakin banyak kemungkinan sampah/material yang akan bisa diolah TPST dan TPS3R.

Tingkat daur ulang (*recycling rate*) Indonesia saat ini rata-rata nasional hanya mencapai 6,28% (Tabel 3). Tingkat daur ulang akan menurun apabila masih banyak residu sampah yang dihasilkan oleh fasilitas persampahan (TPS3R, TPST, TPA), karena pada umumnya perhitungan mengikuti Persamaan (1), sehingga total sampah yang dikumpulkan untuk daur ulang dikurangi dengan residu yang dihasilkan di TPS3R, TPST, atau TPA. Residu akan semakin meningkat jika upaya pemilahan di sumber tidak berhasil karena terlalu banyak sampah yang masih tercampur.

$$\begin{aligned} & \text{Tingkat daur ulang (\%)} \\ & = \frac{\text{total sampah yang dikumpulkan untuk di daur ulang}}{\text{total sampah yang dihasilkan}} \times 100 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{Total sampah yang dikumpulkan untuk didaur ulang} = \\ & \text{Recovery sampah daur ulang oleh Sektor Formal} + \\ & \text{Recovery sampah daur ulang oleh sektor informal} \end{aligned} \quad (2)$$

Keterangan

*Recovery Formal* = (TPS 3R, ITF, PDU, Bank Sampah, TPST)

*Recovery Informal* = (Lapak, Pengepul)

Pengumpulan sampah seperti diilustrasikan di Gambar 10, dengan sampah yang sudah terpilah di sumber penghasil sampah menjadi kunci keberhasilan meningkatnya tingkat daur ulang. Sarana dan prasarana di TPST/MRF (*material recovery facility*, dibaca *murf*) bisa mengandalkan teknologi sensor yang *advance*, tetapi MRF umumnya didesain dengan ada

pemisahan antara sampah sisa makanan dan sampah kebun/taman dengan sampah yang berpotensi untuk didaur ulang. Jadi ada *line* produksi yang berbeda antara sampah sisa makanan dan sampah taman/kebun dengan sampah yang berpotensi daur ulang.

**Tabel 3** Tingkat Daur Ulang Indonesia

Total Sampah Indonesia (Ton/Tahun)	Jumlah Sampah yang di Daur Ulang Formal dan Informal (Ton/Tahun)	Persen Recycling Rate (%)
53.178.436,88	3.340.250,48	6,28%

Pemisahan dan pemilahan sampah di sumber penghasil sampah sangat tergantung pada partisipasi masyarakat dan peran pemangku kepentingan. Kedua elemen ini harus bersinergi sehingga semakin sedikit residu yang dihasilkan di fasilitas persampahan TPS3R dan TPST/MRF. Pelaku usaha *start up* yang menyediakan platform pengumpulan sampah terpilah dan bersih, sebagai penghubung antara penghasil sampah dan pelaku industri daur ulang perlu ditingkatkan. Pemda pun bisa berperan dalam mengatur kompetisi dan memastikan upaya ini akan meningkatkan akses masyarakat pada pelayanan jasa kebersihan.

Namun, dari uraian di atas jelas terlihat bahwa upaya pengelolaan sampah saja belum tentu mampu mempertahankan material tetap berada di sistem produksi dan konsumsi tanpa harus mengekstraksi bahan baku baru dari alam. Masih perlu dilakukan pelibatan industri dalam upaya peningkatan efisiensi dan desain produk yang akan mempermudah prinsip ekonomi sirkuler. Target capaian menuju ekonomi sirkuler tidak hanya terbatas pada pengelolaan sampah dari rumah tangga, tapi harus juga melibatkan pelaku industri untuk mendesain produk dan melakukan upaya efisiensi dan efektivitas produksi, sehingga limbah yang dihasilkan dan produk samping yang dihasilkan masih bisa tetap bisa dimanfaatkan dalam sistem produksi dan konsumsi.

### 3 PENGELOLAAN SAMPAH INDONESIA DALAM UPAYA PENCEGAHAN KEBOCORAN SAMPAH PLASTIK KE LAUT

Pembahasan pada subbab ini akan fokus pada pengelolaan sampah plastik dan upaya pengelolaan sampah yang bisa dilakukan dalam rangka mencegah sampah plastik/ mikroplastik bocor ke laut. Contoh-contoh yang diberikan merupakan hasil penelitian dan studi yang dilakukan di ITB dalam rangka membantu menambah fakta akademis sebelum kebijakan dibuat oleh pemerintah, atau upaya pemantauan dan pengamatan lingkungan untuk memberikan bukti dan fakta-fakta sebelum direncanakan tindak lanjut dalam mencegah kebocoran sampah dan sampah plastik ke laut. Fokus bahasan menitikberatkan pada pengelolaan sampah plastik dan mikro/nanoplastik karena plastik merupakan bahan yang tahan lama, dan tidak mudah terurai sehingga memerlukan waktu lebih dari ratusan atau bahkan ribuan tahun untuk bisa terurai secara alami. Artinya, sejak plastik pertama kali ditemukan pada pertengahan tahun 1800-an, semakin banyak plastik yang terakumulasi di lingkungan. Sedangkan komponen lainnya dalam sampah seperti sisa makanan, sampah taman dan kebun akan terdegradasi alami dan termineralisasi kembali ke siklus biogeokimia. Sampai saat ini material dan komponen lain pembentuk sampah masih belum terekplorasi bisa menimbulkan krisis planet. Karakteristik plastik membuat manusia menghadapi tantangan ledakan plastik yang memang masuk dalam kategori salah satu krisis (pencemaran dan sampah) dari tiga krisis utama planet (*triple planetary crisis*).

Plastik telah menjadi bagian integral dari kehidupan modern sejak pertama kali ditemukan pada abad ke-20. Dengan karakteristiknya yang ringan, tahan lama, dan serbaguna, plastik digunakan di berbagai sektor mulai dari kemasan, konstruksi, elektronik, hingga industri kesehatan. Namun, dengan meningkatnya penggunaan plastik, timbul pula masalah yang signifikan terkait pengelolaan sampah plastik. Plastik adalah bahan sintesis yang terbuat dari polimer organik yang berasal dari bahan baku minyak bumi dan gas alam. Sejak pertama kali diproduksi secara massal pada 1950-an, produksi plastik global telah mengalami peningkatan yang pesat. Menurut data dari PlasticsEurope, pada tahun 2018, produksi plastik global mencapai

sekitar 359 juta ton, dengan pertumbuhan tahunan rata-rata sekitar 3,8% sejak tahun 2000 (Geyer dkk., 2017).

Plastik memiliki berbagai jenis, termasuk polietilena (PE), polipropilena (PP), polivinil klorida (PVC), polistirena (PS), dan polietilen tereftalat (PET). Masing-masing jenis plastik ini memiliki karakteristik dan kegunaan yang berbeda-beda. Misalnya, PE sering digunakan untuk kantong belanja dan botol plastik, PP untuk wadah makanan dan alat medis, PVC untuk pipa dan kabel, PS untuk kemasan makanan cepat saji, dan PET untuk botol minuman. Meskipun plastik sangat bermanfaat, pengelolaannya setelah digunakan menjadi tantangan besar. Plastik adalah bahan yang tidak mudah terurai secara alami. Botol plastik membutuhkan waktu hingga 58 tahun untuk terurai, sementara pipa bisa membutuhkan waktu hingga 1200 tahun (Chamas dkk., 2020).

Salah satu cara untuk memahami tantangan sampah plastik, maka diperlukan upaya untuk mendata aliran material di Indonesia. Metode aliran material menunjukkan jumlah sampah yang dihasilkan mulai dari sumber penghasil sampah sampai ke tempat akhir di mana sampah tersebut dikelola atau diolah. Jumlah sampah yang diperkirakan dibakar, dikubur di lingkungan, dibuang ke sungai bisa dilihat pada Tabel 4.

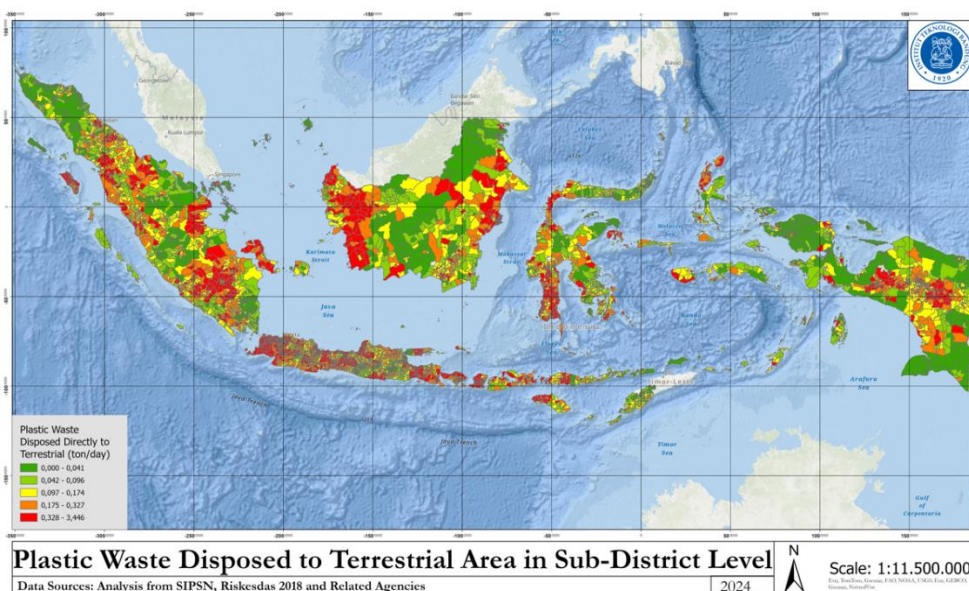
**Tabel 4** Perlakuan masyarakat terhadap sampah

<b>Keterangan</b>	<b>(ton/tahun)</b>
Timbunan sampah	53.178.436,88
Sampah yang terkelola	20.798.086,66
Sampah yang ditimbun ke tanah/ dibuang ke lingkungan	3.121.574,24
Dibuang ke sungai	3.839.483,14
Pembakaran terbuka	25.456.517,73

Kebiasaan membuang sampah sembarangan dan langsung ke lingkungan merupakan tantangan pengelolaan sampah di Indonesia. Kebiasaan ini memang membutuhkan upaya peningkatan kesadaran masyarakat dari usia dini, bahwa jenis sampah yang dihasilkan memiliki karakteristik yang berbeda dengan jenis sampah yang dihasilkan oleh generasi sebelumnya. Sekarang ini, hampir semua produk yang digunakan menggunakan material plastik sehingga kalau dibuang ke lingkungan akan butuh waktu yang lama baru bisa terurai. Bukan berarti bahwa selain plastik bisa dibuang langsung ke lingkungan. Jumlah sumber penghasil sampah meningkat terus sehingga lingkungan sudah berada pada posisi tidak seimbang antara kemampuan

untuk *self purifying* untuk menguraikan limbah dengan jumlah sampah/limbah yang dihasilkan.

Di sumber penghasil sampah, masyarakat masih melakukan pembuangan sampah plastik langsung di halaman atau ditimbun di tanah (Gambar 12), dibakar secara terbuka (Gambar 13), dan kebiasaan masyarakat membuang sampah plastik ke badan air/sungai dan saluran drainase (Gambar 14). Probabilitas sampah plastik yang bocor sampai ke laut akan semakin besar jika sampah dibuang ke badan air, sungai maupun saluran drainase. Sampah yang dibuang ke daratan/halaman pun akan bisa sampai ke badan air/sungai/saluran drainase dengan bantuan angin, dan limpasan air (van Emmerik et al., 2018, Koeriyah dan Sembiring, 2023, Mellink dkk, 2024, ).

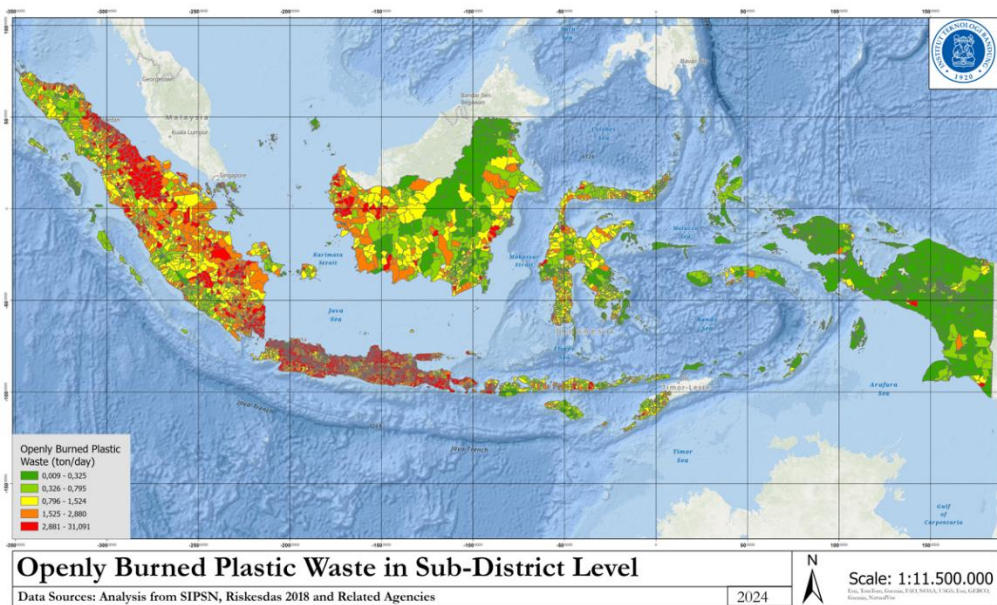


**Gambar 12** Peta kebiasaan membuang sampah ke halaman/langsung di timbun di tanah

Dengan memperhatikan kebiasaan masyarakat dalam membuang sampah (Gambar 12, 13, 14) dan tingkat kebocoran sampah memang paling banyak disumber penghasil sampah seperti rumah tangga (Gambar 4), maka peningkatan akses pengumpulan sampah juga termasuk upaya pengurnagan kebocoran sampah ke lingkungan. Peningkatan akses pengumpulan sampah di sumber penghasil sampah (RT, institusi, fasum, dll.) tidak hanya akan menambah jumlah material yang tersedia untuk masuk ke dalam sistem

produksi dan konsumsi, tetapi juga akan meningkatkan upaya menghindari makin banyak sampah yang bocor ke lingkungan.

Pengelolaan sampah di Indonesia masih belum menjadi prioritas utama. Rata-rata akses terhadap pengelolaan sampah di Indonesia kurang dari 39,1%. Hal ini menunjukkan bahwa ada kemungkinan sampah akan terbuang ke lingkungan. Sampah yang terkelola pun masih banyak yang pada akhirnya masih di urug di TPA yang dioperasikan dengan *open dumping*. Berarti masih banyak yang harus dipikirkan agar dampak akumulasi sampah plastik yang ada di TPA selama ini tidak akan menimbulkan bencana lingkungan dimasa yang akan datang.

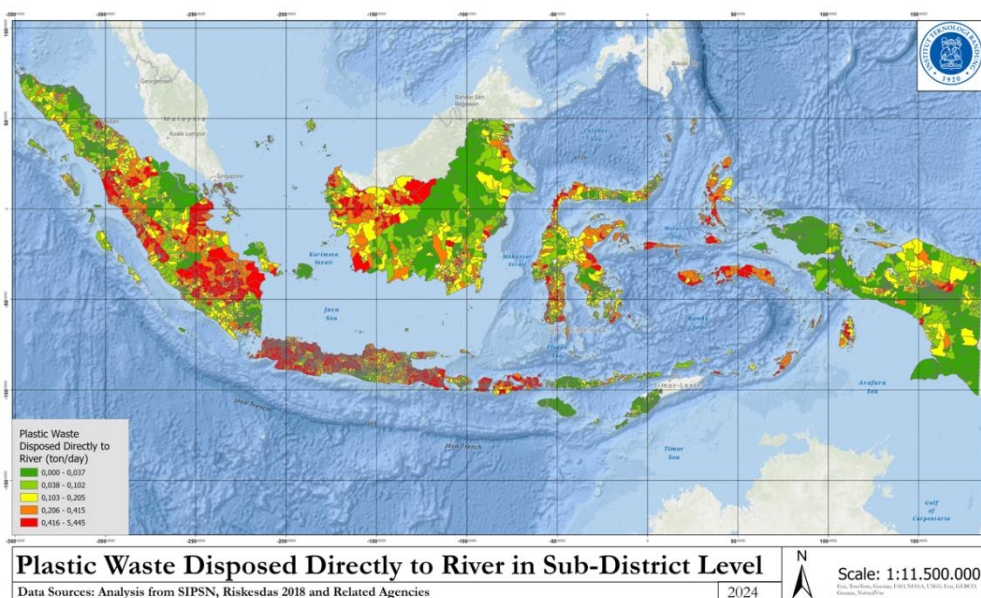


**Gambar 13** Peta kebiasaan masyarakat membakar sampah secara terbuka

Setiap tahun, sekitar 8 juta ton sampah plastik berakhir di lautan dan berpotensi merusak ekosistem laut (Jambeck dkk., 2015), sementara itu OECD memperkirakan sekitar 1,7 juta ton sampah plastik yang masuk setiap tahun (OECD, 2022). Berdasarkan penelitian sebelumnya, Indonesia menjadi salah satu penyumbang sampah plastik terbesar ke laut. Berdasarkan penelitian Jambeck et al. (2015), Indonesia adalah negara dengan penyumbang sampah plastik terbesar kedua di dunia setelah Tiongkok. Namun, penelitian lanjutan oleh Lebreton dan Andrady (2019) menunjukkan bahwa Indonesia berada di peringkat ke-9 sebagai penyumbang limbah laut di dunia. Pada tahun 2021,



studi oleh Meijer et al. menunjukkan bahwa Indonesia merupakan penyumbang limbah laut terbesar ke-5 di dunia. Penelitian terbaru yang diterbitkan oleh World Bank, (2021) menyatakan bahwa khusus di Indonesia, kebocoran plastik ke laut berkisar antara 201.000 hingga 552.300 ton per tahun, dan sebagian besar transport dari sampah plastik tersebut melalui sungai. Angka kebocoran sampah plastik ini bisa dijadikan patokan, apabila nantinya akan dilaksanakan program-program upaya pencegahan dan pengurangan kebocoran sampah ke lingkungan. Indikator program tersebut juga bisa dipilih berdasarkan berapa banyak sampah yang bocor ke lingkungan yang bisa dicegah dan dikurangi.



**Gambar 14** Peta kebiasaan masyarakat membuang sampah ke badan air, sungai, dan saluran drainase.

**Tabel 5** Estimasi kebocoran sampah plastik di Indonesia

No	Penulis (Tahun)	Estimasi	Peringkat Global
1	Jambeck et al., (2015)	0,48–1,29 juta ton/tahun	2
2	Lebreton dan Andrady (2019)	1,37–1,73 juta ton/tahun MPW	9
3	Meijer et al., (2021)	56.500 ton/tahun emisi dari sungai	5
4	World Bank (2021)	0,201 – 0,552 juta ton/tahun	-
5	(LIPI, 2019)	0,27 – 0,59 juta ton/tahun	-

Melihat angka kebocoran sampah plastik ke laut ini, maka kita harus mencari upaya penanggulangan yang bisa dalam bentuk preventif ataupun kuratif. Salah satu cara preventif bisa dilakukan dengan mendesain kebijakan.

Beberapa negara telah berupaya mengatasi permasalahan ledakan plastik. Berbagai kebijakan telah dilakukan. Meskipun demikian, instrumen kebijakan dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu *command and control* (CACs), *economic instrument* (EIs), dan *vuntary action* (VAs). Kebijakan yang diterapkan berkisar dari pendekatan *end-of-pipe* hingga pendekatan yang lebih bersifat penghindaran seperti konsumsi dan produksi berkelanjutan.

Australia, misalnya, telah menerapkan tindakan sukarela ini sejak tahun 1999. Australia telah memperkenalkan Kovenan Pengemasan Nasional yang mewajibkan pihak-pihak yang menandatangani, dalam hal ini antara pemerintah dan rantai pasok pengemasan untuk mengurangi dampak pengemasan terhadap konsumen termasuk upaya menghindari terbentuknya sampah pada tahap awal produk. Masing-masing pihak harus menyerahkan rencana 3-5 tahun untuk memenuhi kewajiban perjanjian dan menyumbangkan biaya tahunan yang akan digunakan untuk mendanai proyek daur ulang. Singapura juga menerapkan tindakan sukarela yang meminta industri pengemasan untuk menandatangani ‘Perjanjian Pengemasan Singapura’. Kedua contoh tersebut berkaitan dengan EPR karena produsen bertanggung jawab atas biaya pengelolaan produk mereka di akhir siklus hidup mereka.

Sebagian besar negara-negara Eropa menerapkan EI, seperti Austria, Denmark, Irlandia, Belanda, dan Inggris. Di Austria, misalnya, produsen, pemasok, dan importir bertanggung jawab untuk memastikan pengumpulan kemasan bekas yang dihasilkan atau alternatifnya, mereka dapat mengalihkan tanggung jawab tersebut kepada pihak ketiga. Di Denmark, sektor bisnis bertanggung jawab untuk memisahkan sampah mereka dan pemerintah daerah memastikan pelaksanaan program pemulihan. Irlandia memberlakukan retribusi untuk semua kantong plastik, kecuali yang digunakan untuk produk segar. Inggris lebih fokus pada kemungkinan produk yang dapat didaur ulang karena bertujuan untuk memenuhi target pemulihan dan daur ulang melalui pajak dan retribusi produk. Demikian pula, Belanda juga fokus pada langkah-langkah untuk mengurangi jumlah kemasan, misalnya dengan menggunakan bahan sesedikit mungkin atau menggunakan lebih banyak bahan yang dapat didaur ulang dan menghindari terciptanya sampah.

EI biasanya berdampak pada produsen/badan usaha atau konsumen. Pajak dapat dipungut dari produsen (pemilik merek, pengisi, pengemas, dan importir) atau konsumen. Produk yang dilarang adalah contoh paling banyak dari CAC. Bangladesh, Tiongkok, India, dan Korea melarang penggunaan kantong plastik. India misalnya melarang produsen menggunakan kantong plastik yang lebih tipis dari 20 mikron di Bombay, sedangkan Bangladesh melarang semua kantong plastik di ibu kota Dhaka. Tiongkok Daratan melarang kantong plastik ringan yang lebih tipis dari 25 mikron. Beberapa wilayah kota dan kabupaten di Indonesia juga menerapkan pelarangan penggunaan kantong plastik, misalnya di Provinsi Bali.

Sebagian besar EI didukung oleh CAC, karena EI bekerja secara efektif jika standar peraturan dan kapasitas penegakan hukum tersedia. Misalnya, Denmark juga memberlakukan pajak atas bahan kemasan dan hal ini diatur dalam Undang-undang Konsolidasi No. 726 tanggal 7 Oktober 1998, sebagaimana diubah dengan Undang-undang No. 912 tanggal 16 Desember 1998, Bagian 9 Undang-Undang No. 380 tanggal 2 Juni 1999, Pasal 23 UU Nomor 165 Tahun 15 Maret 2000, Pasal 13 UU Nomor 1029 Tanggal 22 November 2000 dan UU Nomor 1292 Tanggal 20 Desember 2000. Undang-undang tersebut menjelaskan secara rinci standar dan penerapan pajak kemasan.

Hasil dari instrumen ini bervariasi dari satu negara ke negara lain berdasarkan sosio-kultural, politik dan kapasitas penegakan hukum di negara tersebut. Di Asia, instrumen CACs yang kuat masih digunakan sebagai ukuran utama untuk menangani penggunaan bahan plastik bekas. Namun efektivitas instrumen CACs bergantung pada ketersediaan dan kapasitas lembaga penegak hukum. Sebagian besar negara UE menetapkan instrumen CACs untuk menegakkan penerapan EI. Aksi sukarela ini hanya bisa berhasil jika kesadaran lingkungan tinggi dan dorongan ekonomi telah mencapai targetnya.

Sebagian besar instrumennya digerakkan oleh pemerintah, baik pemerintah pusat maupun daerah. Inisiatifnya dapat dilakukan dengan menetapkan peraturan baru atau berdiskusi dengan pemangku kepentingan lainnya untuk menemukan instrumen yang sesuai untuk negara/kota tersebut. Sebaliknya beberapa tindakan sukarela mungkin dilakukan oleh badan usaha. Namun, beberapa tindakan sukarela mungkin juga didorong oleh CAC. Misalnya saja di Indonesia, bisnis ritel membaca tren dan

mempersiapkan penerapan UU baru terkait pengelolaan sampah. Dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Peraturan Indonesia, tanggung jawab produsen diperluas diperkenalkan, meskipun penerapan dan sejauh mana tanggung jawab tersebut harus dipatuhi masih dipertanyakan. Sebagian besar pasal-pasal tersebut terlalu umum untuk diterapkan karena rincian operasionalnya belum diatur di dalamnya.

Selain menggunakan pendekatan *non technical aspect* dalam upaya mengurangi kebocoran sampah plastik/mikroplastik ke laut, beberapa upaya mencari cara dengan pendekatan *end of pipe* dilakukan. Pendekatan ini lebih terpusat pada upaya pengendalian pencemaran dalam hal ini plastik/mikroplastik agar tidak menyebar ke lingkungan. Penelitian ini dimulai dari penentuan sumber polutan atau mengidentifikasi sumber pencemar plastik, transport sampah plastik dari darat ke sungai (Gambar 15).

### Potential of Plastic Leakage in Indonesia



**Gambar 15** Sumber Kebocoran Sampah Plastik/Mikroplastik di Indonesia

Sejak tahun 2016, seperti halnya perkembangan penelitian dunia terkait pencemaran plastik dan mikroplastik, topik penelitian masih dititikberatkan pada topik mengidentifikasi keberadaan pencemaran mikroplastik yang ada di badan air. Dibandingkan dengan sumber-sumber yang berasal dari laut, sumber-sumber yang berasal dari darat dianggap sebagai sumber utama plastik di laut (Jambeck, Geyer, dkk., 2015). Asal usul sampah plastik di dalam dan sekitar sistem air tawar berhubungan langsung dengan aktivitas manusia,

karena jumlah plastik di sungai sangat berkorelasi dengan kepadatan penduduk, urbanisasi, pengolahan air limbah, dan pengelolaan sampah (Best, 2019; Babel dkk 2024).

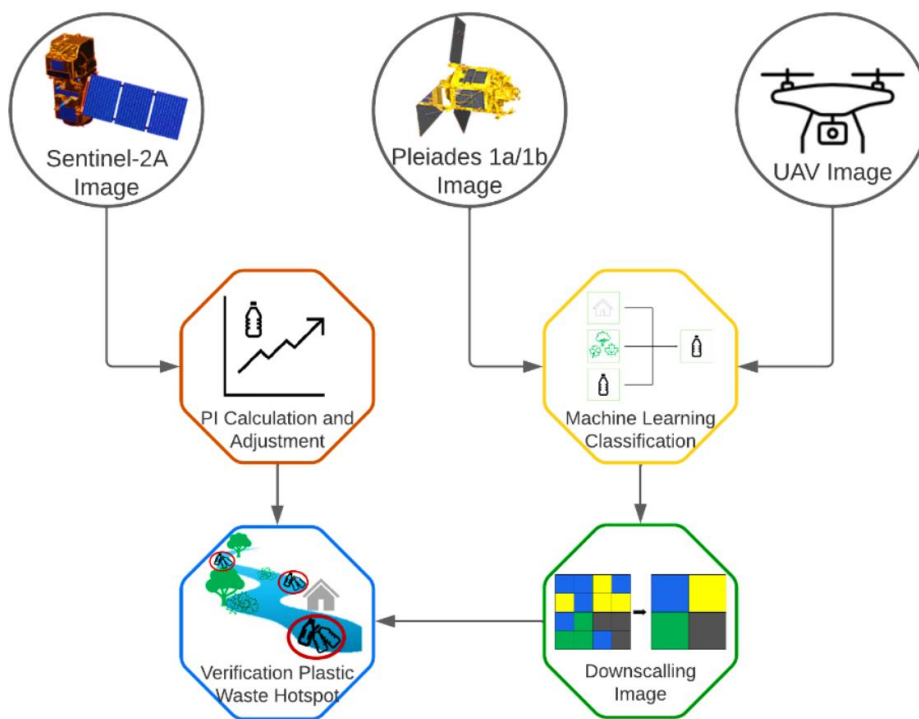
Penelitian keberadaan plastik dan mikroplastik selanjutnya dilakukan di beberapa sungai dan pantai di Indonesia. Sungai Citarum adalah salah satu sungai yang dipilih sebagai objek penelitian karena sungai ini mempunyai sejarah panjang terkait pencemaran baik itu pencemaran yang berasal dari industri, limbah domestik hingga pencemaran sampah plastik yang berat. Bahkan pada tahun 2013 sungai ini dinobatkan sebagai salah satu sungai paling tercemar di dunia. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu ada penelitian dan eksplorasi terkait kelimpahan mikroplastik yang ada di sungai ini. Hasil yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Alam dkk (2019) di Sungai Ciwalengke, Majalaya, salah satu segmen sungai Citarum, menunjukkan bahwa ada mikroplastik di Sungai Citarum,  $5.85 \pm 3.28$  partikel per liter air sungai dan  $3.03 \pm 1.59$  partikel per 100 gram sedimen.

Sumber mikroplastik yang mencemari sungai ini berasal dari berbagai kegiatan seperti pembuangan sampah plastik yang tidak terkelola sehingga terfragmentasi menjadi mikroplastik. Mikroplastik bisa juga berasal dari industri tekstil yang ada di sepanjang Sungai Citarum. Sebagian besar industri tekstil tersebut tidak mempunyai pengolahan limbah yang dapat menyisihkan mikroplastik, akibatnya limbah hasil industri tersebut langsung masuk ke badan air, kemudian menyumbang pencemaran mikroplastik yang berbentuk serat fiber.

Penelitian terkait mikroplastik di sungai ini terus dilakukan, penelitian di DAS Citarum dilaksanakan di 7 lokasi yang berbeda, yaitu di aliran sungai Citarum dan 3 bendungan (Saguling, Cirata, dan Jatiluhur) di sepanjang Sungai Citarum. Pengambilan data riset yang dilakukan dimulai dari hulu sungai Citarum yaitu di situ Cisanti sampai di daerah hilir Citarum di Muara Gembong, Bekasi. Hasil awal pada penelitian ini ditemukan mikroplastik di seluruh lokasi sampling, hal ini menunjukkan bahwa mikroplastik terdistribusi di hulu hingga hilir Sungai Citarum. Penelitian mengenai pencemaran mikroplastik di badan air akan dilanjutkan dengan pemodelan distribusi mikroplastik yang berada di lingkungan, untuk mengetahui pola persebaran polutan tersebut. Pemodelan ini akan sangat berguna untuk membantu pemerintah dalam mengambil kebijakan terkait masalah

mikroplastik di lingkungan (Sembiring dkk, 2019; Alam dkk., 2019, Ramadhan dan Sembiring, 2020; Fahrza dan Sembiring 2020; Sembiring, dkk., 2020; Babel dkk. 2024).

Upaya pemantauan sampah di sungai dan perairan diperlukan untuk melihat akumulasi sampah di badan air, sekaligus mencari cara untuk mencegah sampah/ sampah plastik/mikroplastik ini menuju ke laut. Pemantauan sampah dapat dilakukan langsung, menggunakan bantuan alat seperti UAV (*unmanned aerial vehicle*) dan citra satelit. Dengan bantuan kecerdasan buatan, *artificial intelegent* (AI), sampah dan sampah plastik dapat dideteksi dan diidentifikasi (Gambar 16).



**Gambar 16** Pemantauan sampah plastik di perairan dengan menggunakan bantuan kecerdasan buatan.

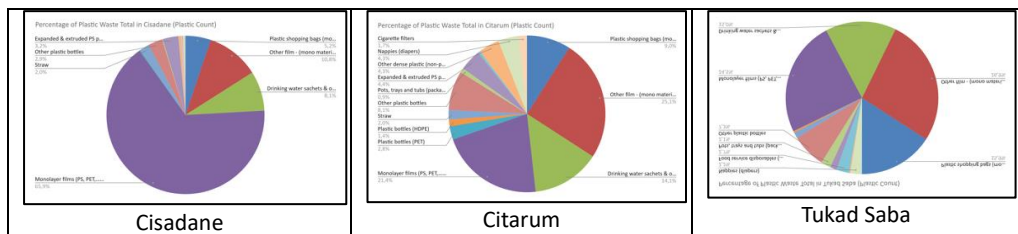
Dengan bantuan validasi sampling lapangan, maka tingkat keakuratan hasil *training* kecerdasan buatan akan meningkat. Dari hasil pemantauan di 3 sungai di Indonesia, Sungai Cisadanae, sungai Citarum dan Sungai Tukad Saba ditemukan bahwa jumlah plastik lebih banyak ditemukan di Sungai Cisadane dibandingkan dengan Sungai Citarum dan Sungai Tukad Saba ( Tabel 6). Jenis

plastik yang paling banyak ditemukan dari ketiga sungai ini adalah plastik fleksibel, baik mono atau multilayer (Gambar 16).

**Tabel 6** Pemantauan Sampah Plastik di Sungai

Lokasi	Items	Min	Max	Item/hari
Cisadane	3.159 ± 3.910	825	7.674	454.896
Citarum	531 ± 161	346	626	76.464
Tukad Saba	333 ± 74	267	413	4.,000

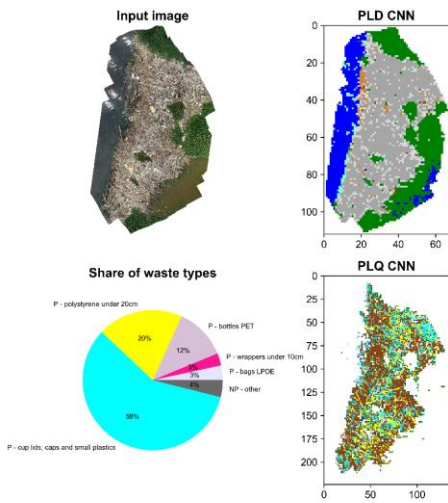
Hasil pemantauan langsung dengan menangkap plastik menggunakan jaring net, bisa digunakan sebagai validasi hasil kecerdasan buatan. Dari hasil kecerdasan buatan di temukan bahwa tutup botol plastik dan serpihan plastik gelas merupakan item yang paling banyak ditemukan Gambar 17. Bila disandingkan hasil pemantauan langsung dengan hasil analisis AI, jumlah plastik yang ditemukan paling banyak memang plastik fleksibel monolayer dengan bentuk tutup, dan serpihan plastik gelas.



**Gambar 17** Hasil pemantauan komponen sampah

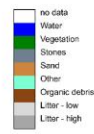
Pengembangan hasil *monitoring* ini akan dilakukan dengan menambahkan sistem informasi yang nantinya diperlukan oleh pemangku kepentingan untuk berinvestasi dalam upaya mencegah sampah plastik sampai ke laut. Beberapa teknologi yang bisa dipasang di sungai antara lain *trash boom* atau *interceptor*. Sensor ketinggian sampah di *interceptor* atau *trash boom* akan ditampilkan pada *display comand centre* pemerintah daerah, atau bisa juga ditampilkan sebagai informasi publik yang berbasis internet. Informasi inilah yang nantinya digunakan kembali untuk melakukan pengumpulan sampah/debris di *interceptor*, untuk selanjutnya diolah atau diurug di TPA.

Scene: 1



**Assessed classifications, abundances, areas and volumes**

Classification	Abundance
Litter - high	2257
Litter - low	601
Organic debris	22
Other	104
Sand	102
Stones	2
Vegetation	1266
Water	865
Litter abundance	12463
Litter m²	167
Litter m³	47
Org. Debris m²	1
Org. Debris m³	0

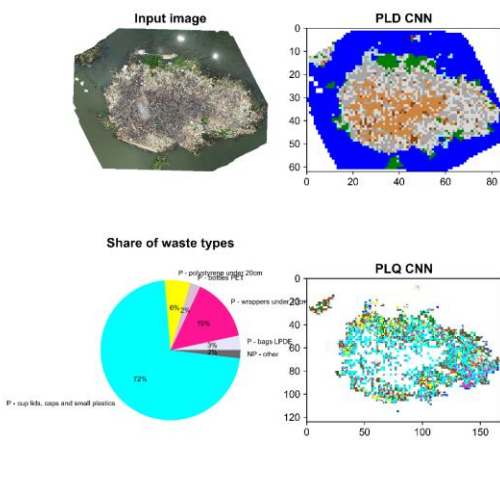


**Altitude corrected assessed areas and pollution type abundances**

Classification	Assessed abundance
P - bags LPDE thick	2
P - bags LPDE	256
P - bags robust PET	0
P - wrappers under 10cm	108
P - wrappers over 10cm	0
P - bottles PET	908
P - polystyrene under 20cm	1487
P - polystyrene over 20cm	57
P - PPCP bottle	0
P - PPCP medical waste	0
P - PPCP other	0
P - fishing gear	0
P - cup lids, caps and small glass	2202
P - other plastics over 20cm	20
NP - rubber	0
NP - metal	0
NP - glass	0
NP - other	296
NW - sand	75
NW - vegetation	442
NW - wood	5415
NW - water	86
NW - other	21

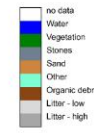


Scene: 2



**Assessed classifications, abundances, areas and volumes**

Classification	Abundance
Litter - high	881
Litter - low	777
Organic debris	86
Other	72
Sand	506
Stones	1
Vegetation	230
Water	1970
Litter abundance	4959
Litter m²	70
Litter m³	16
Org. Debris m²	6
Org. Debris m³	0

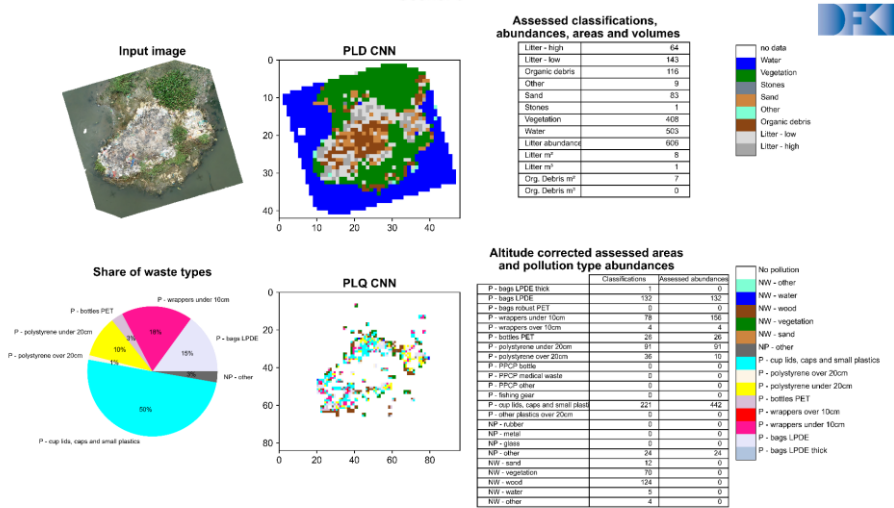


**Altitude corrected assessed areas and pollution type abundances**

Classification	Assessed abundance
P - bags LPDE thick	1
P - bags LPDE	256
P - bags robust PET	0
P - wrappers under 10cm	556
P - wrappers over 10cm	4
P - bottles PET	183
P - polystyrene under 20cm	449
P - polystyrene over 20cm	55
P - PPCP bottle	0
P - PPCP medical waste	0
P - PPCP other	0
P - fishing gear	0
P - cup lids, caps and small glass	2723
P - other plastics over 20cm	7
NP - rubber	0
NP - metal	0
NP - glass	0
NP - other	143
NW - sand	73
NW - vegetation	259
NW - wood	1023
NW - water	93
NW - other	7







**Gambar 18** Hasil pemantauan sampah menggunakan image *drone* dan bantuan AI ( Wolf, dkk, 2023).

Penggunaan citra satelit resolusi tinggi untuk mengidentifikasi area *hot spot* akumulasi sampah ataupun mengidentifikasi tempat pembuangan sampah ilegal bisa juga dilakukan (Sakti, dkk., 2023). Hasil dari identifikasi ini bisa digunakan oleh pemerintah daerah untuk segera melakukan pelarangan pembuangan sampah di area tersebut dan melakukan pembersihan. Kegiatan monitoring akumulasi sampah ilegal ini bisa dilakukan secara periodik, sehingga masyarakat tahu bahwa membuang sampah sembarangan tidak dibenarkan. Hasil *monitoring* sampah ini memang hanya akan bermanfaat jika penegakan hukum juga dilakukan.

Penelitian keberadaan mikroplastik di fasilitas persampahan, menunjukkan bahwa mikroplastik juga ditemukan di lindi. Konsentrasi mikroplastik di lindi berkisar antara  $12 \pm 5,29$  -  $56,33 \pm 3,06$  partikel/liter. Fiber merupakan bentuk yang paling banyak ditemukan di lindi dengan jenis polimer PP dan PE (Sembiring dan Ramadhan, 2024). Selama ini, masih banyak yang beranggapan bahwa tempat pengurangan sampah di TPA adalah pilihan yang lebih minim dampak negatif dibandingkan dengan pilihan teknologi lain, seperti insinerator.

Keberadaan mikroplastik di lindi TPA menunjukkan ada kemungkinan partikel plastik tersebut menjadi tidak stabil dan akan melepaskan senyawa

yang toksik. Salah satu senyawa toksik yang kemungkinan besar dilepaskan oleh partikel mikroplastik di TPA adalah *Diethyl phthalate* (DEP).

Pembuatan plastik tidak terlepas dari penambahan bahan zat aditif *plasticizer* untuk membuat plastik lebih lentur, salah satu bahan *plasticizer* yang digunakan adalah *Phthalate Diesters* (PAEs). Salah satu bentuk PAEs yang dideklarasikan toksik adalah *Diethyl phthalate* (DEP). DEP dapat larut dan tersebar ke lingkungan dengan mudah. Apabila DEP terpapar ke makhluk hidup secara terus-menerus akan menyebabkan permasalahan kesehatan yang serius.

Konsentrasi DEP sudah ditemukan 2,4 mg/l di TPA Sarimukti, Jawa Barat (Wanggai dan Sembiring, 2023). Konsentrasi ini bila dibandingkan dengan konsentrasi DEP lain di beberapa TPA di dunia, konsentrasi DEP di TPA Sarimukti menunjukkan konsentrasi kedua tertinggi setelah TPA Perungudi di India (Tabel 7).

**Tabel 7** Perbandingan konsentrasi DEP di berbagai TPA

No	Lokasi Penelitian	Konsentrasi DEP	Referensi
1.	Perungudi open dumpsite, Chennai, India.	17,2 mg/l	Mohan, dkk., (2019)
2.	2 Landfill sites di Jepang	1,0 – 8,4 µg/l	Asakura, dkk., (2004)
3.	6 Landfill sites di Denmark	<1 µg/l	Jonsoon, dkk., 2003
4.	2 Dumping Grounds, Chennai, India	56,80-495,20 µg/l	Swati, dkk., 2008
5.	Landfill di Wuhan, China	N.D-43,27 µg/l	Liu, dkk., 2010
6.	Landfill di Thailand	12,50 µg/l	Boonyoraj, dkk., 2012
7	TPA Sarimukti	2,4 mg/l	Wanggai dan Sembiring, 2023

N.D= not detected

TPA sebagai alternatif pengolahan sampah terakhir yang selalu menjadi pilihan selama ini belum tentu juga merupakan pilihan dengan dampak lingkungan terkecil. Gap pengetahuan tentang resiko jangka panjang TPA memang belum dilakukan. Namun pengetahuan sekarang, dengan penemuan keberadaan mikroplastik dan senyawa toksik yang kemungkinan berasal dari sampah plastik yang sudah tidak stabil, telah membukakan tabir bahwa sampah yang terakumulasi di TPA ada kemungkinan menimbulkan resiko pencemaran lingkungan. Apalagi berdasarkan analisis *systematic literature review* hanya sekitar 11% TPA yang diklaim sebagai TPA lahan urug saniter, yang memang benar-benar menjalankan standar operasi lahan urug saniter hanya 3%. TPA yang merupakan lahan urug terkendali, yang semula

dinyatakan ada 52%, ternyata hanya 29% (Tabel 7.). *Open dumping* yang diperkirakan 37%, ternyata sekarang sudah meningkat menjadi 68%. TPA open dumping tentu saja akan menyebabkan kemungkinan kebocoran sampah plastik ke lingkungan akan meningkat, apalagi bila TPA open dumping tersebut dekat dengan badan air. Berdasarkan Analisis GIS, lebih dari 20% TPA di Indonesia berada di dekat saluran air, sehingga meningkatkan jumlah TPA yang berpotensi meningkatkan kebocoran sampah plastik ke lingkungan (Ramadhan dan Sembiring, 2023).

**Tabel 8.** Jenis operasional TPA

Jenis TPA	Jumlah TPA sesuai rancangan awal 9%)	Jenis TPA bersarkan data SIPSN (%)
Lahan urug saniter	11	3
Lahan urug terkendali	52	29
Open Dumping	37	68

Salah satu rekayasa yang dapat digunakan untuk mendegradasi senyawa DEP adalah dengan menggunakan proses biologi. Penyisihan dapat dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme misalnya bakteri atau jamur. Bakteri akan menggunakan senyawa DEP sebagai sumber substrat. Berdasarkan hasil isolat yang ditumbuhkan pada media SBS yang dipaparkan senyawa DEP, isolat yang dapat mendegradasi senyawa DEP adalah *Serratia Sp*, *Pseudomonas Sp*, dan *Proteus Sp* (Wanggai dan Sembiring, 2023). Efisiensi degradasi senyawa DEP berada pada rentang 40% - 100% dengan nilai efisiensi tertinggi adalah degradasi senyawa DEP menggunakan *Pseudomonas Sp* (Wanggai dan Sembiring, 2023).

Selain menggunakan bakteri, degradasi senyawa DEP dapat dilakukan dengan menggunakan jamur. Rekayasa dilakukan dengan mendegradasi DEP menggunakan jamur yang diisolasi pada lindi yang dijadikan sampel. Mekanisme degradasi phthalate oleh jamur dapat dijelaskan dengan sederhana di mana jamur menggunakan phthalate sebagai satu-satunya sumber karbon dan energi bagi pertumbuhannya. Jamur yang berpotensi mendegradasi senyawa DEP antara lain *Aspergillus niger*, *Penicillium sp* dan *Trichoderma sp* (Mulyana dan Sembiring, 2023).

Penelitian mikroplastik tidak terbatas pada penelitian pada badan air saja, namun penelitian mikroplastik juga dilakukan pada biota yang ada di perairan. Penelitian yang sedang berlangsung dilakukan pada tambak ikan

bandeng yang ada di Muara Gembong. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui keberadaan mikroplastik pada biota apabila ada mikroplastik di lingkungan. Selain itu, dengan adanya penelitian ini diharapkan berbagai pihak lebih waspada terkait potensi dampak mikroplastik pada biota yang dikonsumsi oleh masyarakat. Terkait penelitian mikroplastik di bahan makanan, penelitian dilanjutkan dengan penelitian keberadaan mikroplastik di tanaman yang langsung dapat dikonsumsi oleh masyarakat tanpa proses memasak seperti selada. Ide penelitian ini dilakukan melihat tradisi lokal daerah Jawa Barat, sayuran mentah biasa dikonsumsi oleh masyarakat secara langsung (Fahreza dan Sembiring 2020; Sembiring, dkk, 2020).

Penelitian tentang keberadaan mikroplastik juga dilakukan di sepanjang pantai dan laut lepas. Umumnya mikroplastik sudah ditemukan di area-area yang banyak aktivitas penduduk dan pariwisata. Adapun cara pengambilan sampel mikroplastik dengan menggunakan alat Manta Trawl dan di bantu ditarik dengan kapal yang berjalan lambat dengan kecepatan 1-2 knot. Penarikan jaring Manta Trawl dilakukan selama 5 menit. Untuk penarikan dengan rentang waktu 5 menit dan kecepatan kapal sebesar 1 knot didapatkan rentang jarak sejauh 350 – 500 meter. Selama penarikan jaring Manta Trawl, dilengkapi juga dengan alat current meter untuk membaca debit air yang masuk ke mulut Manta Trawl. Minimal air yang masuk ke dalam mulut Manta Trawl adalah sebesar 8 m<sup>3</sup>.

Sampel disimpan di dalam wadah toples kaca kedap berukuran 1 Liter. Sampel yang tersaring kemudian dipindahkan ke dalam wadah tersebut dengan cara membilasnya menggunakan *aquadest*. Kemudian sampel disimpan di dalam wadah *cooler box*, sebelum dibawa kembali ke laboratorium untuk dianalisis. Dalam pengambilan sampel air laut ada kemungkinan terjerat pula benda yang tidak diinginkan seperti biota laut kecil maupun tanaman laut. Untuk benda organik berukuran kecil yang terjerat maka hal tersebut diabaikan, dan apabila terdapat benda asing berukuran besar yang terjerat, maka benda tersebut dikeluarkan, tetapi sebelum itu dilakukan pembilasan terlebih dahulu dan air bilasannya dimasukkan ke dalam wadah sampel. Selama pengambilan melakukan pengambilan sampel, tidak didapati biota langka dan dilindungi yang ikut terjerat dalam jaring Manta Trawl.



**Gambar 19** Pengambilan sampel mikroplastik di laut

Mikroplastik di air laut ditemukan di seluruh lokasi sampling (Karimunjawa, Pangandaraan dan Torosiaje) dengan konsentrasi terbesar di Pangandaraan, Jawa Barat dengan konsentrasi  $45,02 \pm 3,45$  partikel/ $m^3$ , diikuti dengan konsentrasi di Karimunjawa sebesar  $16,79 \pm 4,14$  partikel/ $m^3$  dan lokasi dengan mikroplastik di air laut terkecil adalah Torosiaje dengan konsentrasi  $7,55 \pm 2,46$  partikel/ $m^3$  (Tabel 9).

**Tabel 9** Konsentrasi mikroplastik di laut (KLHK, 2023)

Lokasi	Konsentrasi Tiap Titik (partikel/ $m^3$ ) (Rata-rata Duplo)	SD	Konsentrasi Tiap Lokasi (partikel/ $m^3$ )	SD
Karimunjawa 1	21,12	$\pm 4,05$	16,79	$\pm 4,14$
Karimunjawa 2	15,34	$\pm 5,23$		
Karimunjawa 3	13,90	$\pm 3,14$		
Pangandaraan 1	52,84	$\pm 1,53$	45,02	$\pm 3,45$
Pangandaraan 2	44,69	$\pm 2,81$		
Pangandaraan 3	37,53	$\pm 6,01$		
Pohuwatu 1	5,94	$\pm 0,94$	7,55	$\pm 2,46$
Pohuwatu 2	12,40	$\pm 6,27$		
Pohuwatu 3	4,31	$\pm 0,16$		

Selain riset terkait keberadaan dan eksplorasi mikroplastik yang ada di lingkungan, penelitian mengenai pengolahan air minum dan air limbah dilakukan untuk mencari upaya penyelesaian *end of pipe*, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode filtrasi menggunakan filter saringan cepat dan filter cloth. Penggunaan filter saringan cepat dapat menyisihkan mikroplastik dengan ukuran  $> 200$  mikrometer, dengan efisiensi penyisihan jenis serpihan antara 94 – 97 %, sementara untuk jenis mikroplastik berupa serpihan dari ban kendaraan berkisar antara 85 – 90 % (Fajar dkk, 2022;

Sembiring, dkk., 2021a). Mikroplastik dengan ukuran antara 200- 400 mikrometer dapat disisihkan dengan efisiensi 53%-83% bila menggunakan *filter cloth* (Sembiring, dkk, 2021b; Mahapati , dkk., 2022).

Keberadaan mikroplastik di udara sudah diprediksikan. Seperti diketahui bahwa pencemaran udara di Indonesia cukup mengkhawatirkan pada saat ini, berdasarkan hal ini, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai keberadaan mikroplastik di medium ini, terlebih polusi udara di Indonesia tidak hanya berasal dari Industri dan kendaraan bermotor, namun pembakaran sampah terbuka masih banyak dilakukan (Gambar 13). Ada sekitar 25.456.517 juta ton per tahun, sampah dibakar terbuka di Indonesia. Pembakaran plastik berpotensi besar menghasilkan plastik yang lebih kecil terlepas ke udara yang berasal dari proses pembakaran. Selain itu, volume kendaraan yang sangat besar di Indonesia berpotensi untuk menyebabkan pencemaran mikroplastik, hal ini disebabkan ban kendaraan bermotor yang bergesekan dengan aspal akan membuat ban terkikis dan menghasilkan serpihan ban yang lebih kecil. Serpihan ban ini diklasifikasikan juga sebagai mikroplastik. Ditemukan sekitar 0,3-0,6 partikel/m<sup>3</sup> di daerah komersial dan sekitar 0,1-0,3 partikel/m<sup>3</sup> di daerah permukiman di Kota Bandung (Syafina, dkk., 2022).

Pengembangan penelitian di ITB pada masa mendatang terkait mikroplastik terfokus pada penelitian mengenai adanya logam berat dan *Persistent Organic Pollutants* (POPs) yang terjerap pada mikroplastik. Hal ini cukup menjadi perhatian karena sifat kimia yang ada di mikroplastik mempunyai potensi besar untuk penjerapan bahan-bahan yang bersifat hidrofobik. Logam berat mempunyai dampak yang buruk bagi kesehatan apabila masuk ke dalam tubuh. Seperti halnya logam berat, POPs juga memiliki dampak yang serupa. Berdasarkan hal tersebut penelitian-penelitian lebih lanjut mengenai mikroplastik perlu dilakukan karena keberadaan mikroplastik di lingkungan tidak hanya mencemari lingkungan tetapi juga berpotensi berikatan dengan bahan pencemar berbahaya lainnya.

Topik- topik penelitian terkait mikroplastik/nanoplastik diharapkan mampu berkontribusi memahami permasalahan sampah dan mikroplastik di Indonesia, sekaligus berupaya mencari terobosan baru dalam menanggulangi kemungkinan penyebaran mikroplastik di lingkungan. Besar harapan bahwa upaya mengurangi jumlah sampah plastik yang terbuang ke lingkungan juga

menjadi target penelitian. Selain itu mencari terobosan baru terkait material pengganti plastik yang lebih ramah lingkungan diharapkan terus dilakukan.

Upaya pengurangan dan pengendalian sampah plastik/mikro/nanoplastik di dunia sedang dibahas dalam Intergovernmental Negotiating Committee (INC) pada sesi United Nation Environmental Program (UNEP). Dalam pembahasan INC, banyak sekali saintis yang memberikan fakta-fakta sains yang nantinya akan digunakan sebagai dasar dalam memutuskan “*Plastics Treaty*”. Dengan *Plastics Treaty*, masyarakat dunia menggunakan daya upaya dalam pengurangan polusi plastik mengingat saling keterkaitan antara dampak dan ancaman yang ditimbulkan plastik pada manusia dan planet. *Plastics Treaty* juga diharapkan mengurangi produksi plastik, pengurangan bertahap plastik yang *unsustainable*, *hazardous*, dan *unnecessary* dengan memastikan transparansi data dan informasi sepanjang daur hidup plastik yang mengedepankan keamanan, keberlanjutan, transparansi, dan esensi.





## 4 PENUTUP

Tidak diragukan lagi bahwa kesenjangan dari 5 aspek pengelolaan sampah harus diselesaikan. Hanya untuk meningkatkan cakupan pengumpulan perlu penerapan aspek pengelolaan sampah yang lebih terintegrasi. Lebih banyak limbah dapat dikumpulkan dan dimasukkan ke dalam sistem, maka akan lebih banyak material yang bisa dimanfaatkan. Tidak hanya itu, peningkatan cakupan pelayanan pengelolaan sampah akan berperan dalam pengurangan kebocoran sampah ke lingkungan. Hanya bergantung pada pengelolaan sampah saja, tidak cukup mendukung upaya mempertahankan material tetap berada di sistem produksi dan konsumsi, maka upaya menuju sirkularitas ekonomi harus melibatkan industri agar lebih efisien dan efektif dalam proses produksi sekaligus mendesain produk yang akan terus bisa kembali ke dalam sistem produksi dan konsumsi.

Ulasan gap tantangan dan upaya yang akan dilakukan yang diuraikan di atas merupakan kontribusi kami, dalam pengembangan ilmu di ITB dan aplikasi ilmu untuk masyarakat, bangsa, dan negara. Upaya advokasi gap dari 5 aspek pengelolaan sampah dan limbah akan terus kami lakukan.

Melihat fakta-fakta di atas maka dirasa perlu untuk melihat tantangan pengelolaan lingkungan untuk menyelesaikan sampah dan plastik. Bila kita kembali pada teori Malthus (1798) seharusnya kita sudah berada pada posisi tragedi lonjakan penduduk yang tidak diiringi oleh ketersediaan pangan. Namun sampai saat ini hal ini belum terjadi. Kira-kira apakah yang menyebabkan terjadinya penundaan tragedi dan bencana ledakan penduduk? Barangkali kita juga harus berfikir lebih optimis, bahwa kita bisa mengatasi tantangan ini dengan kekuatan luar biasa dari teknologi. Teknologi akan menyelamatkan kita setiap waktu, bisa dalam bentuk penemuan material baru, industri yang mendukung ekonomi sirkular, dan cara mengelola dan memantau lingkungan. Kita tidak mungkin lagi berada pada posisi menggantikan kemasan plastik dengan daun atau bahan alami lainnya tanpa ada sentuhan teknologi. Inovasi dalam menyikapi tantangan plastik di masa depan dalam bentuk substitusi material atau penciptaan properti plastik yang lebih ramah lingkungan menjadi hal yang utama. Sebagai contoh di masa yang akan datang akan diciptakan kendaraan ringan yang sebagian besar material yang digunakan terbuat dari plastik. Penggunaan material plastik yang lebih ringan akan mampu mengurangi beban emisi gas rumah kaca per

satuan jarak yang ditempuh. Plastik masih akan digunakan pada masa yang akan datang, tetapi kita harus bisa mengendalikan penggunaan plastik sekaligus berinovasi mencari alternatif yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, akumulasi plastik yang sudah ada di lingkungan saat ini, bisa dianggap sebagai sumber material, sehingga kita bisa berpikir dan mencari terobosan untuk bisa memanfaatkan sumber material plastik ini untuk kesejahteraan manusia dan konservasi lingkungan. Selain itu keputusan dan implementasi pemanfaatan dan penggunaan plastik diharap terukur dengan prinsip pencegahan, kehati-hatian (*precaution*), *polluter pay*, dan *non regression*.

---

*Atas nama Tuhan, Bangsa, dan Almamater*

---

## 5 UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan atas kelimpahan rezeki dan ilmu yang diberikan Allah Swt., Tuhan yang maha pengasih dan penyayang, yang memberikan saya kesempatan mengemban amanah sebagai Guru Besar bidang sirkularitas limbah padat dan persampahan menuju keberlanjutan di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.

Terima kasih yang terkira pada kedua orang tua saya, Drs. Nambur Sembiring (alm) dan Diana Tarigan, BA, yang selama ini memberikan kesempatan pada saya untuk belajar menjadi yang terbaik sesuai dengan kemampuan saya dan bisa menjadi Guru Besar saat ini, yang menginspirasi untuk tetap bekerja keras dan membuat hidup bermakna; Suami saya, Muhammad Safri Lubis, S.T., M.Kom., yang mendampingi saya mulai dari mengunjungi TPA- TPA di seluruh Indonesia dan ke tempat- tempat yang menyenangkan lainnya, ataupun kesabaran yang selalu diberikan menerima kekurangan saya. Pada abang dan adik- adik saya, Ir. David Sembiring, Dedi Sembiring, S.T., Yetty Sembiring S.SI., M.M., yang membantu membentuk karakter saya sampai saat ini. Terima kasih atas kesabaran dan kesediaan untuk berbagi semua aspek kehidupan. Terima kasih juga untuk mertua saya, Prof. M. Solly Lubis dan *Bou* Dra. Maimunah Fahmi, yang menginspirasi saya, bahwa yang terpenting adalah berkontribusi pada kemaslahatan dan bekerja dengan sungguh- sungguh; Kakak dan adik- ipar saya, Ir. Septa Desna Harahap, MBA, Ariyadi, S.T., M.M., Noviyanti, S.T., yang selalu bekerja sama dalam menyelesaikan tantangan grup pembangunan. Abang dan Kakak- kakak ipar, Ir. Adina Sari Lubis, M.T., Ir. Andi Putra Rambe, MBA, Dr. Ir. Kemala Sari Lubis dan Ir. Zulkifli Ikhwan Harahap, M.Si. yang selalu sabar menerima saya apa adanya. Terima kasih sudah menjaga *amangboru* dan *bou* di Medan.

Dalam kesempatan ini saya juga mengucapkan terima kasih yang tak terhingga pada guru-guru saya dari TK sampai SMA, sumber inspirasi dalam bidang persampahan Prof. Dr. Ir. Enri Damanhuri (almarhum), Ibu Dr. Tri Padi dan Pak Ir. Masduki (almarhum). Saya tidak salah memilih KBK, semenjak saya diwawancara di tahun 1998 setelah lulus S-1. Pendirian teguh

untuk mempelajari bidang keilmuan persampahan yang tidak banyak tertarik pada sat itu.

Dalam kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih pada:

1. Pimpinan ITB, Ketua dan anggota Forum Guru Besar yang memberikan saya kesempatan untuk orasi ilmiah.
2. Para dekanat FTSL, Prof. Ir. Edwan Kardena Ph.D., Dr. Nita Yuanita, S.T., M.T., dan Dr. Hadi Kardana, S.T., M.T., yang sudah mengawal berkas pengajuan Guru Besar saya.
3. Para pemberi rekomendasi untuk keguru besaran saya: Prof. Ir. Puji Lestari, Ph.D. yang sekaligus sebagai ketua KK Pengelolaan Udara dan Limbah (PUL); Prof. Barti Setiani Muntalif (ITB), Prof. Tjandra Setiadi (ITB), Prof. Joni Hermana (ITS), Prof. Jay Young Kim (Seoul National University, Korea), dan Prof. Sandhya Babel ( Thammasat University, Thailand). Tanpa bantuan dan motivasi Bapak dan Ibu, belum tentu saya bisa seperti hari ini.
4. Seluruh teman sejawat di Kelompok Keahlian Pengelolaan Udara dan Limbah, para anggota Laboratorium Limbah Padat dan B3 , Dr. Benno Rahardyan, Dr. Mochammad Chaerul, Dr. I Made Wahyu Widyarsana, Dr. Sukandar, Dr. Opy Kurniasih, Mbak Elprida Agustina, Mbak Dinda Annisa Nurdiani, dan para teknisi dan laboran. Tugas kita masih panjang, tetap *istikhomah* memperbaiki sistem pengelolaan sampah di Indonesia.
5. Seluruh rekan dan kolega di Teknik Lingkungan Raya, Program Studi Teknik Lingkungan, RIL, dan PIAS.
6. Semua rekan sejawat dan kolega di FTSL, yang tidak mungkin saya sebutkan namanya satu per satu, banyak individu-individu yang menginspirasi saya, Prof. Herlien, tentang kesabaran dan kelembutan sekaligus ketegasan, Prof. Puti Farida Marzuki, yang selalu menginspirasi saya, semenjak beliau menjadi dekan di FTSL dan semua komunitas rekan sejawat di FTSL yang selalu memberikan warna tersendiri dalam diskusi dan percakapan sehari- hari.
7. Para tenaga kependidikan di TL Raya, terutama Bu Mimin dan Pak Ricky yang siap membantu penyelesaian adminsitasi program studi Magister dan Doktor Teknik Lingkungan.
8. Kementerian Maritim dan Investasi, terutama di Deputy 4 bidang Koordinasi Pengelolaan Lingkungan dan Kehutanan, Dr. Nani Hendiarti

(Deputi 4) dan Bapak Rofi Alhanif (Asdep Pengelolaan Sampah dan Limbah).

9. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan , Direktorat PSLB3, Direktur Persampahan, Dr. Novrizal Tahar.
10. Seluruh mantan mahasiswa baik mahasiswa S-1, S-2, dan S-3 ataupun mahasiswa yang sekarang berjuang menyelesaikan TA, tesis, dan disertasi.



# DAFTAR PUSTAKA

- Alam, F. C., Sembiring, E., Muntalif, B. S., & Suendo, V. (2019). Microplastic distribution in surface water and sediment river around slum and industrial area (case study: Ciwalengke River, Majalaya district, Indonesia). *Chemosphere*, 224, 637-645.
- Andrady, A. L. 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8): 1596–1605.
- Andrady, A. L. 2017. The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1):12–22.  
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2017.01.082>
- Sakti, A.D., Sembiring, E., Rohayani, P. et al. Identification of illegally dumped plastic waste in a highly polluted river in Indonesia using Sentinel-2 satellite imagery. *Sci Rep* 13, 5039 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32087-5>
- Asakura H., Matsuto T., and Tanaka N. Behavior of endocrine-disrupting chemicals in leachate from MSW landfill sites in Japan. *Waste Manag.*, vol. 24, no. 6, pp. 613–622, 2004, doi:10.1016/j.wasman.2004.02.004.
- Barnes, D. K. A and F. Galgani, R.C. Thompson and M. Barlaz . 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 364(1526): 1985–1998.  
<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Best, J. 2019. Anthropogenic stresses on the world’s big rivers. In *Nature Geoscience* (Vol. 12, Issue 1, pp. 7–21). Nature Publishing Group.  
<https://doi.org/10.1038/s41561-018-0262-x>
- Boonyaroj V., Chiemchaisri C., Chiemchaisri W., Theeparaksapan S., and Yamamoto K. Toxic organic micro-pollutants removal mechanisms in long-term operated membrane bioreactor treating municipal solid waste leachate. *Bioresour. Technol.*, vol. 113, pp. 174–180, 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2011.12.127.

- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, 45(21):9175–9179. <https://doi.org/10.1021/ES201811S>
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J. H., Abu-Omar, M., Scott, S. L., & Suh, S. (2020). Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(9), 3494–3511. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>
- Choy, C. A., Robison, B. H., Gagne, T. O., Erwin, B., Firl, E., Halden, R. U., Hamilton, J. A., Katija, K., Lisin, S. E., Rolsky, C., & S. Van Houtan, K. 2019. The vertical distribution and biological transport of marine microplastics across the epipelagic and mesopelagic water column. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44117-2>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. In *Marine Pollution Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Fajar, M., Sembiring, E., & Handajani, M. (2022). The Effect of Filter Media Size and Loading Rate to Filter Performance of Removing Microplastics using Rapid Sand Filter. *Journal of Engineering & Technological Sciences*, 54(5).
- Fareza, A. A., & Sembiring, E. (2020). Occurrence of microplastics in water, sediment and milkfish (*Chanos chanos*) in Citarum River Downstream (Case Study: Muara Gembong). In *E3S Web of Conferences* (Vol. 148, p. 07005). EDP Sciences.
- Fossi, M.C., Baini, M., Panti, C., Galli, M., Jiménez, B., Muñoz-Arnanz, J., Marsili, L., Finoia, M.G., Ramírez-Macías, D., 2017. Are whale sharks exposed to persistent organic pollutants and plastic pollution in the Gulf of California (Mexico)? First ecotoxicological investigation using skin biopsies. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, Unraveling complexity: from molecules to ecosystems* 199, 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2017.03.002>
- Galgani, F., Hanke, G., Werner, S., & de Vrees, L. 2013. Marine litter within the European Marine Strategy Framework Directive. *ICES Journal of Marine Science*, 70(6): 1055–1064. <https://doi.org/10.1093/ICESJMS/FST122>



- GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment". Reports and Studies GESAMP, 90, 96
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. <https://www.science.org>.
- Gigault, J., Halle, A. ter, Baudrimont, M., Pascal, P. Y., Gauffre, F., Phi, T. L., el Hadri, H., Grassl, B., & Reynaud, S. 2018. Current opinion: What is a nanoplastic? *Environmental Pollution*. 235: 1030–1034. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024>
- Heranita,I., Sembiring.E, 2023. Plastic Flow Diagram as a Tool for Plastic Waste Management System Assessment (Case Study: Banyuwangi Regency and Jembrana Regency). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1257 (1), 012005
- He, P., Chen, L., Shao, L., Zhang, H., & Lü, F. 2019a. Municipal solid waste (MSW) landfill: A source of microplastics? -Evidence of microplastics in landfill leachate. *Water Research*. 159: 38–45. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2019.04.060>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223): 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jonsson S., Ejlertsson J., Ledin A., Mersiowsky I., and Svensson B. H. Mono- and diesters from o-phthalic acid in leachates from different European landfills. *Water Res.*, vol. 37, no. 3, pp. 609–617, 2003, doi: 10.1016/S0043-1354(02)00304-4.
- Khoeriyah, Z. B. A., & Sembiring, E. (2023, October). Role of Wind, Ground Surface, and Slope in Plastic Waste Movement on Terrestrial Environments. In IOP Conference Series: Earth and Environmental KLHK, 2023. Laporan pemantauan mikroplastik di wilayah pesisir dan laut.
- Lamb, J.B., Willis B.L., Fiorenza, E.A., Couch C.S., Howard R., Rader D.N., True J.D., Kelly L.A., Ahmad A., Jompa.J., Harvell, C.D. 2018. Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science*. 359(6374):460-462

- Lebreton, L., Andrady, A. Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Commun* 5, 6 (2019). <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0212-7>
- LIPI. (2019). Naskah Akademik Inisiasi Data Sampah Laut. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI.
- Liu H., Liang Y., Zhang D., Wang C., Liang H., and Cai. H. Impact of MSW landfill on the environmental contamination of phthalate esters. *Waste Manag.*, vol. 30, no. 8–9, pp. 1569–1576, 2010, doi: 10.1016/j.wasman.2010.01.040.
- Mahapati, W. O. S. W., Sembiring, E., & Hidayat, S. (2022). Identify Water Treatment Plant Capability in Removing Microplastic: Lab Scale Simulation and Direct Sampling. *Journal of Multidisciplinary Academic*, 6(1), 11-17.
- Meijer LJJ, van Emmerik T, van der Ent R, Schmidt C, Lebreton L. More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Sci Adv.* 2021 Apr 30;7(18):eaaz5803. doi: 10.1126/sciadv.aaz5803. PMID: 33931460; PMCID: PMC8087412.
- Mellink, Y.A.M., van Emmerik, T.H.M. & Mani, T. Wind- and rain-driven macroplastic mobilization and transport on land. *Sci Rep* 14, 3898 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53971-8>
- Mohan S., Mamane H., Avisar D., Gozlan I., Kaplan A., and Dayalan G.. Treatment of diethyl phthalate leached from plastic products in municipal solid waste using an ozone-based advanced oxidation process. *Materials(Basel).*, vol. 12, no. 24, 2019, doi: 10.3390/ma12244119.
- Müller, C., Townsend, K., Matschullat, J., 2012. Experimental degradation of polymer shopping bags (standard and degradable plastic, and biodegradable) in the gastrointestinal fluids of sea turtles. *Science of The Total Environment* 416, 464–467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.069>
- Mulyana, SK., Sembiring, E., Biodegradation of Diethyl Phthalate (DEP) Compound Using Fungi Isolated from Leachate Water of Tpa Sarimukti Bandung. *Riwayat: Educational Journal of History and Humanities* 6 (3), 1823-1830

- OECD. (2022). Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060. OECD. <https://doi.org/10.1787/aa1edf33-en>
- Ramadan, A. H., & Sembiring, E. (2020). Occurrence of Microplastic in surface water of Jatiluhur Reservoir. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 148, p. 07004). EDP Sciences.
- Schwarz, A. E., Ligthart, T. N., Boukris, E., & van Harmelen, T. (2019). Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study. *Marine Pollution Bulletin*, 143, 92–100. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2019.04.029>
- Sembiring, E., & Ramadan, A. H. (2024). Microplastic pollution from active and inactive landfill in Indonesia: Case study in Leuwigajah and Sarimukti Landfill. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 485, p. 05011). EDP Sciences.
- Sembiring, E (2023). Driver, Trends and Fate of Plastics and Micro Plastics Occurrence in the Environment, dalam Gail Krantzberg, Savitri Jetoo, Velma I Grover, Sandhya Babel. *Plastic Pollution: Nature Based Solutions and Effective Governance*. pp. 8–26
- Sembiring, E., Fajar, M., & Handajani, M. (2021). Performance of rapid sand filter–single media to remove microplastics. *Water Supply*, 21(5), 2273–2284.
- Sembiring, E., Mahapati, W. O. S. W., & Hidayat, S. (2021). Microplastics particle size affects cloth filter performance. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 102166.
- Sembiring, E., Fareza, A. A., Suendo, V., & Reza, M. (2020). The presence of microplastics in water, sediment, and milkfish (*Chanos chanos*) at the downstream area of Citarum River, Indonesia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 1-14.
- Sembiring, E., Alam, F. C., Suendo, V., & Reza, M. (2019). PRESENCE AND DISTRIBUTION OF MICROPLASTICS FROM UPSTREAM TO DOWNSTREAM OF CITARUM RIVER, WEST JAVA, INDONESIA. *Water Perspectives in Emerging Countries: Microplastics in the Water Environment*. August 19-21, 2019-Island of Koh Samui, Thailand.

- Sembiring, E., Nitivattananon, V., 2010, Sustainable solid waste management toward an inclusive society: integration of the informal sector, *Resources, Conservation & Recycling* 54, p 802-809.
- sembiring, E, 2001. Pemilihan Bentuk Institusi jasa layanan kebersihan kota bandung (pendekatan stakeholders dominan). thesis magister, program studi teknik dan manajemen industri, itb.
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), access: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn>
- Swati M., Rema T., and Joseph K. Hazardous organic compounds in urban municipal solid waste from a developing country. *J. Hazard. Mater.*, vol. 160, no. 1, pp. 213–219, 2008, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.02.111.
- Syafina, P. R., Yudison, A. P., Sembiring, E., Irsyad, M., & Tomo, H. S. (2022). Identification of fibrous suspended atmospheric microplastics in Bandung Metropolitan Area, Indonesia. *Chemosphere*, 308, 136194.
- Ta, AT., Babel,S., Nguyen, LTP., Sembiring.E., 2024. Microplastic Pollution in High Population Density Zones of Selected Rivers from Southeast Asia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 112 (5), 1-10
- Takaendengan, T., Padmi, T., Sembiring, E., & Damanhuri, E. (2017). Equation model for municipal solid waste collection and transportation in Manado City. *GEOMATE Journal*, 13(40), 101-106.
- TKN PSL. (2019). Laporan Tim Pelaksana Rencana Aksi Nasional Penanganan Sampah Laut Tahun 2019. TKN-PSL.
- van Emmerik, T., Kieu-Le, T. C., Loozen, M., Oeveren, K. van, Strady, E., Bui, X. T., Egger, M., Gasperi, J., Lebreton, L., Nguyen, P. D., Schwarz, A., Slat, B., & Tassin, B. 2018. A methodology to characterize riverine macroplastic emission into the ocean. *Frontiers in Marine Science*, 5(OCT): 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00372>
- van Sebille, E., Griffies, S. M., Abernathey, R., Adams, T. P., Berloff, P., Biastoch, A., Blanke, B., Chassignet, E. P., Cheng, Y., Cotter, C. J., Deleersnijder, E., Döös, K., Drake, H. F., Drijfhout, S., Gary, S. F., Heemink, A. W., Kjellsson, J., Koszalka, I. M., Lange, M., ... Zika, J. D. 2018. Lagrangian ocean analysis: Fundamentals and practices. *Ocean*

Modelling, 121(October 2017): 49–75.  
<https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.11.008>

Wanggai, J., & Sembiring, E. (2023). Diethyl Phthalate (DEP) in Leachate End-Processing Sites Worldwide and Remediation Technologies for The Treatment.

World Bank, 2018, What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid waste Management to 2025

Yadav, V., Sherly, M. A., Ranjan, P., Tinoco, R. O., Boldrin, A., Damgaard, A., & Laurent, A. 2020. Framework for quantifying environmental losses of plastics from landfills. *Resources, Conservation and Recycling*, 161: 104914. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.104914>

Wolf, M., D. W. Atmojo, D. W., Tholen C., Zielinski, O., "Improved deep learning based litter detection in aquatic environments in Indonesia using drones," OCEANS 2023 - Limerick, Limerick, Ireland, 2023, pp. 1-7, doi: 10.1109/OCEANSLimerick52467.2023.10244712.

Zhao, X., You, F., 2024. Microplastic Human Dietary Uptake from 1990 to 2018 Grew across 109 Major Developing and Industrialized Countries but Can Be Halved by Plastic Debris Removal. *Environmental Science & Technology* 2024 58 (20), 8709-8723. DOI: 10.1021/acs.est.4c00010



# CURRICULUM VITAE



Nama : Emenda Sembiring  
Tempat/tgl lahir : Medan/5 Juli 1974  
Kel. Keahlian : Pengelolaan Udara dan Limbah  
Alamat Kantor : Teknik Lingkungan, FTSL, ITB,  
Jalan Ganesha 10 , Bandung 40132  
Nama Suami : Muhammad Safri Lubis

## I. RIWAYAT PENDIDIKAN

No.	Jenjang Pendidikan	Sekolah/Perguruan Tinggi	Tahun Lulus	Gelar	Bidang
1	SD	SD Methodist 1, Jalan Hang Tuah, Medan	1987	-	
2	SMP	SMPN1 Medan	1990	-	IPA
3	SMA	SMAN1 Medan	1993	-	Fisika
4	S-1	ITB	1998	S.T.	Teknik Lingkungan
5	S-2	ITB	2001	M.T.	Teknik Manajemen Industri
6	S-2	Univ of Melbourne Australia	2003	M.Eng.Sc	Teknik Lingkungan
7	Profesi Insinyur	ITB	2019	Ir.	Teknik Lingkungan
8	S3	Asian Institut of Technology	2010	Ph.D.	Manajemen Lingkungan Perkotaan ( <i>Urban Environmental Management</i> )

## II. RIWAYAT KERJA DI ITB

No.	Nama Jabatan	Tahun	Keterangan
1	Kepala Laboratorium Buangan Padat dan B3	2018-2020	SK 27/SK/I1-19/KP/2018 SK 98/SK/I1-C09/KP/2018
2	Ketua Program Studi Magister dan Doktor Teknik Lingkungan	2020-2022 2022-2024	SK No 664 A/IT1A./SK-KP/2020 SK 1365/IT1.A/SK-KP/2022
3	Sekretaris Komisi 4, Senat Akademik ITB	2019-2024	2019-2020 11/SK/I1-SA/OT/2019
4	Anggota Senat FTSL	2018-2023	SK 197/SK/I1.A/KP/2019

### III. RIWAYAT KEPANGKATAN

No.	Pangkat	Golongan	TMT
1	PNS-Penata Muda	III/a	14 April 1999
3	Asisten Ahli (inpassing)	III/a	1 Januari 2001
4	Penata	III/b	30 April 2005
5	Penata	III/c	1 April 2008
6	Penata Tingkat 1	III/d	1 Oktober 2014
7	Pembina	IV/a	25 November 2016
8	Pembina Tingkat 1	IV/b	3 April 2024

### IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

No.	Nama Jabatan	TMT
1	Asisten Ahli Madya	30 September 2000
2	Asisten Ahli	1 Oktober 2000
3	Assiten Ahli (inpassing)	1 Januari 2001
4	Lektor	30 April 2005
5	Lektor Kepala	30 Juni 2014
6	Profesor	1 Agustus 2023

### V. KEGIATAN PENELITIAN

No.	Kegiatan	Nama Mitra (institusi/individu)	Tahun	Keterangan
1	A Systems Analysis Approach to Reduce Plastic Waste in Indonesian Societies (PISCES)	Brunel University London, University of Leeds, University of Plymouth, Udayana, ITS, Unair, Esa Unggul, AIT	2021-2024	Penelitian
2	Pemantauan dan Penilaian Dampak Rencana Aksi Nasional Implementasi Penanganan Sampah Laut	Tim Koordinasi Nasional Pengurangan Sampah Laut, terdiri dari 18 Kementrian dan lembaga	2020-2022	Mengevaluasi program sekaligus memberikan masukan perbaikan program untuk bisa mencapai target pengurangan kebocoran sampah plastik
3	Plastics Monitoring, identification and capacity building in Indonesia	DFKI dan Oldenburg University (German)	2021	Menggunakan tiga metode dalam mengidentifikasi, dan memonitor sampah/debris
4	Evaluasi "Potential Use of Municipal Solid Waste for Sunter Waste to	Fortum Power and Heat Oy, Firlandia	2019-2020	Penelitian



No.	Kegiatan	Nama Mitra (institusi/individu)	Tahun	Keterangan
	energy, DKI Jakarta, Indonesia		2020- 2021	
5	Penelitian Investigations on microplastics pollution in aquatic environment in selected developing countries from Southeast Asia	Thammasat University, Van lang University	2018- 2020	Penelitian
6	Collaborative Research on Riverine Microplastics Pollution in ASEAN Countries- Case Study in Indonesia	Institute for Global Environmental Strategies (IGES)-Japan	2021- 2022	Penelitian
7	Blended Finance di bidang persampahan	Michigan University, Systemiq alam lestari	2021	Studi terkait <i>blended finance</i> di bidang persampahan
8	“Brunel Global Challenges Mobility and Networking Grant Application Form”	Brunel University	2019	

## VI. PUBLIKASI

AT Ta, S Babel, LTP Nguyen, E Sembiring (2024). Microplastic Pollution in High Population Density Zones of Selected Rivers from Southeast Asia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*.112 (5), p1-10

Agustina, E., Sembiring, E., & Sakti, A. D. (2024). Evaluation of formal waste reduction facility location compared to recyclable plastic waste generation in Denpasar City, Bali, Indonesia. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 485, p. 05008). EDP Sciences.

Sembiring, E., & Ramadan, A. H. (2024). Microplastic pollution from active and inactive landfill in Indonesia: Case study in Leuwigajah and Sarimukti Landfill. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 485, p. 05011). EDP Sciences.

Sakti, A. D., Sembiring, E., Rohayani, P., Fauzan, K. N., Anggraini, T. S., Santoso, C., ... & Candra, D. S. (2023). Identification of illegally dumped plastic waste in a highly polluted river in Indonesia using Sentinel-2 satellite imagery. *Scientific Reports*, 13(1), 5039.

- Hasfita, F., Sembiring, E., & Damanhuri, E. (2023). A sustainable approach to managing city park waste through biochar as a renewable energy source. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1257, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
- Ramadan, A. H., & Sembiring, E. (2023). Potential of Plastic Waste Leakage to Environment in Indonesian Final Disposal. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1257, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
- Prayuda, A. D., & Sembiring, E. (2023). Post Consumed Textile Waste Management and its Impacts on the Environment and Economy in Bandung City. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1257, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- Heranita, I., & Sembiring, E. (2023). Plastic Flow Diagram as a Tool for Plastic Waste Management System Assessment (Case Study: Banyuwangi Regency and Jembrana Regency). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1257, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- Khoeriyah, Z. B. A., & Sembiring, E. (2023, October). Role of Wind, Ground Surface, and Slope in Plastic Waste Movement on Terrestrial Environments. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental*
- Wanggai, J., & Sembiring, E. (2023). Diethyl Phthalate (DEP) in Leachate End-Processing Sites Worldwide and Remediation Technologies for The Treatment.
- Sembiring, E. (2023). Driver, Trends and Fate of Plastics and Micro Plastics Occurrence in the Environment. In *Plastic Pollution* (pp. 8-26). CRC Press.
- Syafina, P. R., Yudison, A. P., Sembiring, E., Irsyad, M., & Tomo, H. S. (2022). Identification of fibrous suspended atmospheric microplastics in Bandung Metropolitan Area, Indonesia. *Chemosphere*, 308, 136194.
- Thompson, R., Pahl, S., & Sembiring, E. (2022). Plastics treaty—research must inform action.
- Fajar, M., Sembiring, E., & Handajani, M. (2022). The Effect of Filter Media Size and Loading Rate to Filter Performance of Removing Microplastics using Rapid Sand Filter. *Journal of Engineering & Technological Sciences*, 54(5).
- Hasfita, F., Sembiring, E., & Damanhuri, E. (2022). The Potential of City Park Waste for Biofuel Feedstock Production: A Case Study in Bandung City, Indonesia. *International Journal of Sustainable Development & Planning*, 17(7).
- Mahapati, W. O. S. W., Sembiring, E., & Hidayat, S. (2022). Identify Water Treatment Plant Capability in Removing Microplastic: Lab Scale

- Simulation and Direct Sampling. *Journal of Multidisciplinary Academic*, 6(1), 11-17.
- Sembiring, E. (2022). Extended Producer Responsibility (EPR) status in Indonesia, is it for Circular Economy or Marine Debris Leakage Reduction?. *ISEE*, 2022, 22-22.
- Windini, W. (2022). Hubungan Antara Perubahan Visual Dan Perilaku Pengelolaan Sanitasi Di Kampung Code, Yogyakarta. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, 14(2), 131-140.
- Sembiring, E., Fajar, M., & Handajani, M. (2021). Performance of rapid sand filter-single media to remove microplastics. *Water Supply*, 21(5), 2273-2284.
- Sembiring, E., Mahapati, W. O. S. W., & Hidayat, S. (2021). Microplastics particle size affects cloth filter performance. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 102166.
- Sembiring, E., Fareza, A. A., Suendo, V., & Reza, M. (2020). The presence of microplastics in water, sediment, and milkfish (*Chanos chanos*) at the downstream area of Citarum River, Indonesia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 1-14.
- Ramadan, A. H., & Sembiring, E. (2020). Occurrence of Microplastic in surface water of Jatiluhur Reservoir. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 148, p. 07004). EDP Sciences.
- Putra, H. P., Damanhuri, E., & Sembiring, E. (2020). The role of MRF in Indonesia's solid waste management system (case study of the Special Region of Yogyakarta, Indonesia). *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, 396-404.
- Fareza, A. A., & Sembiring, E. (2020). Occurrence of microplastics in water, sediment and milkfish (*Chanos chanos*) in Citarum River Downstream (Case Study: Muara Gembong). In *E3S Web of Conferences* (Vol. 148, p. 07005). EDP Sciences.
- Ramadan, A. H., & Sembiring, E. (2020). Occurrence of Microplastic in surface water of Jatiluhur Reservoir. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 148, p. 07004). EDP Sciences.
- Alam, F. C., Sembiring, E., Muntalif, B. S., & Suendo, V. (2019). Microplastic distribution in surface water and sediment river around slum and industrial area (case study: Ciwalengke River, Majalaya district, Indonesia). *Chemosphere*, 224, 637-645.
- Triana, A. P., & Sembiring, E. (2019). Evaluasi kinerja dan keberlanjutan program bank sampah sebagai salah satu pendekatan dalam pengelolaan sampah dengan konsep 3R. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 25(1), 15-28.

- Putra, H. P., Damanhuri, E., & Sembiring, E. (2019). Sektor baru pengelolaan sampah di Indonesia (studi kasus di Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman dan Bantul). *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 11(1), 11-24.
- Putra, H. P., Damanhuri, E., & Sembiring, E. (2019). Identification of factors affecting the performance of waste bank in waste management system in the “Kartamantul” territory (Yogyakarta City, Sleman and Bantul Districts), Special Region of Yogyakarta, Indonesia. *Pollut Res*, 38, S94-S99.
- Ariyani, S. F., Putra, H. P., Damanhuri, E., & Sembiring, E. (2019). Evaluation of waste management in piyungan landfill, Bantul Regency, Yogyakarta, Indonesia. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 280, p. 05018). EDP Sciences.
- Panyawungan, J. (2019). Keberlanjutan Pengelolaan Sampah Mandiri di RW 09 Kelurahan Cigereleng, Kota Bandung. *Jurnal Permukiman Vol*, 14(2), 92-103.
- Sembiring, E., Alam, F. C., Suendo, V., & Reza, M. (2019). PRESENCE AND DISTRIBUTION OF MICROPLASTICS FROM UPSTREAM TO DOWNSTREAM OF CITARUM RIVER, WEST JAVA, INDONESIA. *Water Perspectives in Emerging Countries: Microplastics in the Water Environment. August 19-21, 2019-Island of Koh Samui, Thailand*.
- Yudison, A. P., Sembiring, E., & Tomo, H. S. (2019). Investigating Atmospheric Microplastic in Total Suspended Particulate (TSP): Preliminary Study.
- Sembiring, E., & Fauzia, A. (2019, May). Household Hazardous Waste Quantity and Characteristics in Medium Scale City in Indonesia: Case Study of Cimahi City. In *Abstract Proceedings of 2019 International Conference on Resource Sustainability-Cities (icRS Cities)*.
- Sembiring, E., & Widyarsana, I. M. W. (2019). Plastics Material Flow Study to Prove Possible Land Based Leakage: a Case Study of Sarbagita Region, Bali, Indonesia. *ISSE 초록집, 2019*, 213-224.
- Putra, H. P., Damanhuri, E., & Sembiring, E. (2018). Integration of formal and informal sector (waste bank) in waste management system in Yogyakarta, Indonesia. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 154, p. 02007). EDP Sciences.
- Sembiring, E., Rahman, H., & Siswaya, Y. M. (2018). Utilization of polypropylene to substitute Bitumen for asphalt concrete wearing course (Ac-Wc). *GEOMATE Journal*, 14(42), 97-102.
- Humaira, N., & Sembiring, E. (2018). Study on e-waste (CRT TVs/monitors and washing machines) generation in Bandung. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 147, p. 04009). EDP Sciences.
- Takaendengan, T., Padmi, T., Sembiring, E., & Damanhuri, E. (2017). Plagiarism Checker: Municipal Solid Waste Generation, Composition, and

- Management: Manado City. In *2nd International Conference on Education, Science, and Technology (ICEST 2017)* (Vol. 149, pp. 223-226). atlantis-press.
- Takaendengan, T., Padmi, T., Sembiring, E., & Damanhuri, E. (2017). Equation model for municipal solid waste collection and transportation in Manado City. *GEOMATE Journal*, 13(40), 101-106.
- Devia, D., Lestari, P., & Sembiring, E. (2017). Life Cycle Assessment (LCA) Produk Semen Portland Komposit (Studi Kasus: PT X). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 23(2).
- Takaendengan, T., Padmi, T., Sembiring, E., & Damanhuri, E. (2017). Financing Of Municipal Solid Waste In The City Of Manado. *International Journal of Education and Learning Systems*, 2.
- Fitri, L. H., & Sembiring, E. (2017). Kajian Pencemaran Air Tanah Dangkal Akibat Lindi Di Sekitar TPA Supit Urang Malang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 23(1), 41-50.
- Furukawa, R., Komori, D., Fukushima, Y., Grause, G., Yoshioka, T., Chaerul, M., Sembiring, E., Kardhana H., Farid M., Ariesyady HD., & Fujioka, Y. (2017). Feasibility study for a virtuous material cycle in Indonesia-A cooperation between Tohoku University and the Institute of Technology Bandung. In *14th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology, EARTH 2017*.
- Krisdhianto, A., & Sembiring, E. (2016). Evaluasi Keberlanjutan Sistem Penyediaan Air Bersih Perdesaan Di Kecamatan Ledokombo Kabupaten Jember Propinsi Jawa Timur. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(1), 21-30.
- Adzillah, W. N., Sembiring, E., & Handajani, M. (2016). Pemilihan Alternatif Pengolahan Limbah Cair Domestik Dengan Menggunakan Metode Dependence and Driving Power (Ddpa) Dan Analytic Network Process (Anp)(Studi Kasus: Kota Depok). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(2), 82-91.
- Sembiring, E., Rahman, H., Siswaya, Y.M., 2016. Utilization of Polypropylene (PP) to Substitute Bitumen for Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC), Asian Pacific Landfill Symposium, Hongkong, 9-11 November 2016.
- Zulfinar, Z., & Sembiring, E. (2015). Dinamika jumlah sampah yang dihasilkan di Kota Bandung. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(1), 18-28.
- Listiani, A., Sembiring, E., & Rahman, H. (2015). Evaluation of expanded polystyrene (EPS) plastic waste utilization as an asphalt substitution material in asphalt concrete wearing course layer. In *5th Environmental Technology and Management Conference, Bauding, Indonesia*.
- Sembiring, E., Novitasari, Y., (2015). *Degradation of Degradable Plastics on Several Solid and Liquid Media*, The 3<sup>rd</sup> of Japan and Indonesia Joint

Seminar, Environmental Sustainability and Disaster Prevention (ESDP),  
25 November 2015

- Maulana, S., Sembiring, E., (2015) “*Valuation of Flood by Means of Damage and Loss Method Case Study Baleendah District-Bandung Regency*”, 5<sup>th</sup> Environmental Technology and Management Conference (ETMC)2015, 23-24 November 2015.
- Adzillah, W.N., Sembiring, E., Handajani, M., (2015) Alternative Selection of Waste Water Treatment in Depok City Using Dependence and Driving Power Analysis (DDPA) and Analytic Network Process (ANP) Method, 5<sup>th</sup> Environmental Technology and Management Conference (ETMC)2015, 23-24 November 2015.
- Maulina, S.M., Sembiring, E., (2015). An Analysing Of Community’s Ability And Willingness To Pay For Drinking Water Supply System At Coastal Area (A Case Study At Telok Batang District, Kayong Utara Regency, West Borneo Province, 5<sup>th</sup> Environmental Technology and Management Conference (ETMC)2015, 23-24 November 2015.
- Sembiring, E., Fathia, D.S. (2015) “*Factors that affect Society’s and Retailer’s intention to reduce a plastic bag use in Bandung* “ , 2<sup>nd</sup> International Waste Working Group-Asian Region Branch (IWWG-ARB) Symposium, 13-14 April 2015, Shanghai, China
- El-Ahmady, I. I., & Sembiring, E. (2014). pemilihan program pengendalian kehilangan air serta pengaruh implementasinya terhadap peningkatan pendapatan PDAM. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 20(2), 142-151.
- Sembiring, E., Novitasari, Y., (2014) Effect of Media on Degradation of Degradable Plastics, Asian Pacific Landfill Symposium, Ho Chi Minh City, Vietnam, 23 Oktober 2014.
- Sembiring, E., Lubna, D., 2013. “Compost-Soil Mixture Respiration and Organic Carbon Degradation”. 1<sup>st</sup> International Waste Working Group-Asian region Branch ( IWWG-ARB), Sapporo, Japan, 18-21 Maret 2013
- Sembiring, E., Audi, R., 2013. Intention Influencing Factors to Use Shopping Bag, an Attempt to Reduce the Plastic Waste in Bandung City, Indonesia. The 12th Expert Meeting on Solid Waste Management in Asia and Pacific Islands (12th SWAPI)
- Audi R., Sembiring, E., 2012. The effect of provision of shopping band and information on plastic bag waste reduction in Bandung City. Proceeding The 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Global Environment.
- Hasian, O. U., & Sembiring, E. (2013). Valuasi Ekonomi Dan Upaya Pengelolaan Hutan Mangrove Di Kecamatan Muara Gembong Kabupaten Bekasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 19(1).

- Lubna, D., & Sembiring, E. (2013). Emisi CO<sub>2</sub> dan Penurunan karbon organik pada campuran tanah dan kompos (skala laboratorium). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 19(1), 23-33.
- Sembiring, E., Endenta L., 2012. The effect of Compost Application on Soil Organic Carbon and CO<sub>2</sub> Emission. Proceeding The 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Global Environment.
- Sembiring, E., Endenta L., Anastasya M., Lubna, D., 2012. The important of germination Index for compost application to enhance a plant Growth. Proceeding 7<sup>th</sup> APLAS.
- Sitorus, L. E., & Sembiring, E. (2012). Pengaruh aplikasi kompos terhadap emisi CO<sub>2</sub> dan karbon organik tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 18(2), 124-134.
- Safitri, D., Chaerul, M., & Sembiring, E. (2012). Multi Kriteria terhadap Pemilihan Alternatif Pengolahan Sampah Organik dengan Menggunakan Metode Analytical Network Process (Studi Kasus: Kota Sungai Penuh-Jambi). *ITB, Bandung*.
- Pertiwi, I. Y., & Sembiring, E. (2011). Kajian Pemanfaatan Limbah Ampas Tahu Menjadi Kompos di Industri Tahu X di Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 17(1), 70-79.
- Sari, K, Sembiring, E. (2011). Study of Sediment Discharge and Concentration: Strategy of Land Utilization at Padang Watershed, Proceeding Environmental Technology and Management Conference.
- Lubis, M.S., Sembiring, E. 2011 Application of Web Based Information Technology for Environmental Data: a Case Study at BLH Pemerintah Kota Medan, Proceeding Environmental Technology and Management Conference.
- Sembiring, E., Nitivattananon, V., 2010, Sustainable solid waste management toward an inclusive society: integration of the informal sector, *Resources, Conservation & Recycling* 54, p 802-809.
- Sembiring, E., Nitivattananon, V., 2009, Model formulation for a preliminary decision-making tool for a regional solid waste management in developing countries, Proceeding Sustainable Infrastructure and Built Environment Conference.
- Sembiring, E., Nitivattananon, V., 2008, *Role of informal sector in solid waste management: dilemma on decision making for urban environment*, Proceeding International Conference on Sustainable Urban Environmental Practices, Greener Cities: a Legacy for the Future

- Sembiring, E, Yogyaningtyas, S., Driejana, 2007, *Economic analysis of methane gas technology option for Jekekong Landfill Site*, *Proceeding on International Conference on Engineering and Environment*.
- Sembiring, E., Moore, G., 2006, Life cycle assessment of biosolids: a case study at the western treatment plant, Werribe, Australia, *Proceeding Environmental Technology and Management Conference*.
- Sembiring, E, Yogyaningtyas, S., Driejana, 2006, Basic calculation of methane emission from jekekong landfill site as a basis for calculation of certified emission reduction (CER), *Proceeding Environmental Technology and Management Conference*,
- Sembiring, E., Moore, G., 2006, Beneficial uses of biosolids by means of LCA: A case study at the western treatment plant, Werribee, Australia, *Proceeding International Conference on Green and Sustainable Innovation*.
- Sutriadi, R., Erningpraja, L., Fauzan, R., Sembiring, E., Wahyudi, A., 2006, Oil Palm, Two faces of coin, an endless road towards sustainability, *Proceeding International oil palm conference*
- Dini A.P, Sembiring, E., Rahardyan, B., 2005, Studi Pemilihan Sampah Berbasis Pengumpulan Terjadwal Terhadap Efektifitas Kegiatan Daur Ulang, *Jurnal Lingkungan Tropis* 403-414
- Sembiring, E., Chaerul, M., 2004, Reducing organic waste going to landfill by means of composter. *Proceeding seminar The 6th Asian Symposium on Academic Activities for Waste Management*.
- Sembiring, E, Moore, G., A Self Evaluation on Solid Waste Management Activities in Medan, Indonesia and its Contribution to Sustainable Urban Development, seminar di *The 6th Asian Symposium on Academic Activities for Waste Management*, 2004

## **VII. PENGHARGAAN**

- Satya Lencana Karya Satya 10 tahun
- Satya Lencana Karya Satya 20 tahun

## **VIII. SERTIFIKASI**

- Sertifikasi Dosen







📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,  
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132  
☎️ +62 22 20469057  
🌐 [www.itbpress.id](http://www.itbpress.id)  
✉️ [office@itbpress.id](mailto:office@itbpress.id)  
👤 Anggota Ikapi No. 043/JBA/92  
📄 APPTI No. 005.062.1.10.2018

## Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132  
E-mail: [sekretariat-fgb@itb.ac.id](mailto:sekretariat-fgb@itb.ac.id)  
Telp. (022) 2512532

🌐 [fgb.itb.ac.id](http://fgb.itb.ac.id)    [FgbItb](#)    [FGB\\_ITB](#)  
 [@fgbitb\\_1920](#)    [Forum Guru Besar ITB](#)

ISBN 978-623-297-471-5

