



## Evaluasi pengelolaan limbah elektronik di Indonesia

ARI KABUL PAMINTO<sup>1\*</sup>, LISA M. LAUTETU<sup>1</sup>, M. BAYU RIZKY PRAYOGA<sup>1</sup>, CECILIA MEYTA R.<sup>1</sup>, DEFI DARYLIANTY DEBORA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Central Jakarta City, Jakarta 10430, Indonesia

\*Korespondensi: [ari.kabul@ui.ac.id](mailto:ari.kabul@ui.ac.id)

Diterima: 21 Desember 2023

Direvisi Akhir: 2 Februari 2024

Disetujui: 23 Februari 2024

### ABSTRAK

**Pendahuluan:** Limbah elektronik merupakan salah satu jenis limbah yang kini mulai tampak nyata permasalahannya. Tingkat konsumsi limbah elektronik yang tinggi serta usia pakai yang relatif singkat merupakan beberapa penyebab semakin tingginya jumlah limbah elektronik. Jumlah total limbah elektronik di Indonesia pada tahun 2019 diperkirakan mencapai 1,62 juta ton. Besarnya jumlah limbah elektronik di Indonesia hingga kini belum dapat dikelola dengan tepat, salah satunya dikarenakan belum adanya peraturan yang secara spesifik mengatur mengenai pengelolaan limbah elektronik secara menyeluruh. Di Indonesia, limbah elektronik masih digolongkan secara umum ke dalam kategori limbah B3. Adanya nilai ekonomi yang lumayan menjanjikan dari bisnis limbah elektronik, juga menghadirkan permasalahan lainnya dari pengelolaan limbah elektronik di Indonesia yang membuat masih kuatnya pengaruh sektor informal dalam rantai pasoknya. Pengelolaan limbah elektronik yang tidak maksimal akan memberikan dampak negatif tidak hanya kepada faktor lingkungan, tetapi juga berdampak pada sosial dan ekonomi. **Hasil:** Pentingnya penyusunan regulasi khusus yang mengatur mengenai pengelolaan limbah elektronik di Indonesia harus segera diwujudkan dengan memandang bahwa limbah elektronik merupakan sebuah entitas yang memerlukan tanggungjawab seluruh elemen yang terlibat, dari produsen, konsumen, pengepul, hingga peran pemerintah. Berkaca pada contoh pengelolaan limbah elektronik di beberapa negara lain, pentingnya keterlibatan dan keseriusan seluruh *stakeholder* dalam pengelolaan limbah elektronik akan memberikan hasil yang optimal dalam pengelolaan limbah elektronik yang lebih berwawasan lingkungan. Pada tulisan ini, dengan melakukan analisis secara deskriptif, Penulis melakukan kajian mengenai pengelolaan limbah elektronik di Indonesia yang sudah dijalankan selama ini dan berupaya memberikan pandangan mengenai langkah-langkah yang harus segera diambil dalam mewujudkan pengelolaan limbah elektronik di Indonesia secara lebih komprehensif.

**KATA KUNCI:** limbah; elektronik; lingkungan; Indonesia; pengelolaan; peraturan, *stakeholder*

### ABSTRACT

**Introduction:** Electronic waste is a type of waste that is now becoming a visible problem. The high consumption rate of electronic waste and its relatively short lifespan are some of the reasons for the increasing amount of electronic waste. The total amount of electronic waste in Indonesia in 2019 was estimated to reach 1.62 million tons. The large amount of electronic waste in Indonesia has not yet been managed properly, one of the reasons being the absence of specific regulations governing the comprehensive management of electronic waste. In Indonesia, electronic waste is still generally classified into the category of hazardous and toxic waste (B3). The promising economic value of the electronic waste business also presents other problems from the management of electronic waste in Indonesia, which keeps the strong influence of the informal sector in its supply chain. Inadequate management of electronic waste will have negative impacts not only on the environment, but also on social and economic factors. **Result:** The importance of drafting specific regulations governing the management of electronic waste in Indonesia needs to be realized immediately, considering that electronic waste is an entity that requires the responsibility of all elements involved, from producers, consumers, collectors, to the role of the government.

#### Cara Pengutipan:

Paminto, A. K. (2024). Evaluasi pengelolaan limbah elektronik di Indonesia. *Waste, Society, and Sustainability*, 1(1), 1-22. <https://doi.org/10.61511/wass.v1i1.2024.462>

**Copyright:** © 2024 dari Penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan dari the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



*Reflecting on the example of electronic waste management in several other countries, the involvement and seriousness of all stakeholders in electronic waste management will provide optimal results in more environmentally friendly electronic waste management. In this paper, by conducting a descriptive analysis, the author reviews the management of electronic waste in Indonesia that has been carried out so far and strives to provide insights on the steps that need to be taken immediately to realize more comprehensive electronic waste management in Indonesia.*

**KEYWORDS:** waste; electronics; environment; Indonesia; management; regulation; stakeholders.

---

## 1. Pendahuluan

Limbah elektronik adalah barang bekas elektronik yang tidak digunakan lagi dan dibuang oleh pemiliknya, seperti baterai bekas, kabel, telepon seluler, televisi, laptop, lampu pijar, dan benda-benda elektronik lainnya. Menurut laporan tahunan Global E-Waste Monitor tahun 2020, jumlah limbah elektronik sebesar 53 juta ton pada tahun 2019, dan kondisi ini akan meningkat menjadi 74 juta ton pada tahun 2030. Limbah elektronik yang terbanyak dihasilkan oleh negara-negara Asia yaitu sekitar 25 juta ton. Menyusul Amerika menghasilkan 13 juta ton limbah elektronik dan Eropa sebanyak 12 juta ton limbah elektronik. Kenaikan limbah elektronik yang tinggi dikarenakan tingkat konsumsi benda elektronik yang tinggi, usia pakai barang yang singkat dan hanya sedikit perbaikan. Selain itu faktor ekonomi juga berperan dalam kenaikan limbah elektronik yaitu urbanisasi, industrialisasi dan kenaikan pendapatan.

Limbah elektronik dapat diklasifikasikan dalam sepuluh kategori. Pertama, perangkat besar elektronik rumah tangga, seperti lemari es, mesin cuci, air conditioning (AC), kompor listrik, microwave dan kipas angin listrik. Kedua, perangkat kecil elektronik rumah tangga, yang meliputi antara lain mesin potong rambut, pemanggang roti, mesin pembuat kopi, penghisap debu dan pemanggang roti. Ketiga, perangkat teknologi komunikasi, seperti telepon seluler, laptop, printer dan komputer. Keempat, perangkat hiburan, seperti televisi, alat-alat musik, kamera dan penguat audio. Kelima, alat penerangan, misalnya lampu pendar dan lampu LED. Keenam, perkakas elektronik, antara lain gerinda, bor, gergaji, dan alat patri. Ketujuh, alat rekreasi dan mainan, misalnya video game, alat olahraga yang mengandung listrik dan mainan yang memakai listrik. Kedelapan, alat-alat medis, seperti mesin pencuci darah, ventilator, alat-alat laboratorium, mesin pacu jantung, dan peralatan kedokteran. Kesembilan, alat-alat pemantau dan pengendali, misalnya alat pengukur suhu, pendeteksi asap dan pengatur panas. Dan kesepuluh, dispenser air minum, coffe maker serta sejumlah alat otomatis yang mampu menyediakan produk-produk tertentu (Wulandari, 2020).

Pengelolaan limbah elektronik yang belum maksimal dan konsumsi akan barang-barang elektronik mengakibatkan adanya peningkatan limbah elektronik. Sebagian besar komponen limbah elektronik dapat diproses daur ulang, tetapi hanya 20 persen dari limbah elektronik di seluruh dunia yang berhasil didaur ulang dan sisanya diproses dengan dibakar, ditimbun dan terbuang ke wilayah perairan, seperti ke sungai, danau dan lautan. Limbah elektronik ini dapat memberikan dampak buruk bagi ekosistem di darat maupun di perairan. Menurut Global E-Waste Statistic Partnership (GESP) wilayah tertinggi yang mengumpulkan dan mendaur ulang limbah elektronik adalah Eropa yaitu 42,5 persen, diikuti Asia 11,7 persen dan Amerika 9,4 persen, Oseania sebanyak 8,8 persen, sementara Africa 0,9 persen. Di negara maju, barang elektronik yang tidak terpakai dapat diperbaiki dan digunakan kembali, dan umumnya dikirim sebagai barang rekondisi (refurbished) ke negara berpendapatan rendah hingga menengah, jumlahnya mencapai 7 hingga 20 persen dan hanya 8 persen barang elektronik tidak terpakai yang berakhir sebagai limbah elektronik.

Kandungan limbah elektronik dapat berupa plastik dan logam berat misalnya timah, tembaga, aluminium, kobalt, besi, kadmium, kromium, nikel, seng, lithium, merkuri, serta

perak. Beberapa jenis logam berat dapat menjadi racun dalam tubuh sehingga berdampak serius bagi kesehatan seperti pada sistem pembuluh darah, syaraf pusat, dan organ ginjal. Hal ini dapat terjadi, ketika limbah elektronik dibakar, zat-zat kimia beracun akan bercampur dengan udara, sehingga menyebabkan kerusakan pada lapisan atmosfer. Sedangkan, apabila limbah elektronik ditimbun, maka kandungan zat beracun dapat mengakibatkan pencemari air dan tanah, yang pada akhirnya dapat menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia (Wahyono, 2012). Hal ini menunjukkan bahwa limbah elektronik merupakan bahan berbahaya dan beracun (B3). Menurut Kepala Seksi Pengelolaan Limbah B3 Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta, masyarakat harus mengetahui benda-benda yang termasuk limbah elektronik dan perlu memperhatikan agar limbah elektronik tidak dibuang sembarangan.

Mengingat adanya dampak buruk bagi kesehatan dan lingkungan, diberlakukanlah kebijakan daur ulang dan pemusnahan limbah elektronik yang sangat ketat oleh beberapa negara, dimana limbah elektronik harus diserahkan kepada lembaga yang telah ditunjuk. Barang-barang elektronik yang terkumpul akan dipilah sesuai dengan kondisinya, yang dapat didaur ulang dan yang harus dimusnahkan. Selain itu, beberapa negara mengeluarkan peraturan yang mewajibkan setiap produsen dan agen barang elektronik ikut berpartisipasi dengan membuat program dalam mengelola dan mendaurulang limbah elektronik dari sejumlah barang elektronik yang dijual.

Menurut perhitungan The Global E-Waste Monitor tahun 2017, limbah elektronik penduduk Indonesia adalah 1,274 juta ton pada tahun 2016, dan meningkat pada tahun 2019 menjadi 1,62 juta ton, dimana pengelolaannya sebagian besar dilakukan oleh sektor informal. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 tahun 2014 mengenai Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, yang menyatakan bahwa limbah elektronik harus dikelola secara khusus oleh pihak-pihak yang memiliki izin pemerintah. Oleh karena itu pemerintah perlu dengan tegas melarang pengelolaan sampah secara informal. Pemerintah melalui Dinas Lingkungan Hidup kota/kabupaten berupaya untuk menyediakan kotak-kotak khusus untuk membuang limbah elektronik.

Dinas Lingkungan Hidup (DLH) DKI Jakarta telah menyediakan kotak limbah elektronik (drop box e-waste) yang tersebar di 30 titik ibu kota. Drop box e-waste hanya diperuntukkan untuk limbah elektronik yang berukuran kecil, sedangkan untuk limbah elektronik yang berukuran besar dapat menghubungi layanan jemput limbah elektronik ([smartcity.go.id](http://smartcity.go.id)). Drop box ada di 10 halte Transjakarta, Stasiun Kererta Api Juanda dan Cikini, Balai Kota, saat car free day di Bundaran HI, sekolah dan kantor. Limbah elektronik ini telah dikumpulkan dan disimpan sementara di gudang yang ada di DLH DKI Jakarta. Ketua Yayasan Peduli Sampah Elektronik Indonesia, membuat titik pengumpulan limbah elektronik dengan dropzone E-waste di 13 kota di Indonesia, termasuk Jakarta, Depok, Bogor, Surabaya, Bekasi, Yogyakarta, Salatiga, Tuban, Palembang dan Makasar.

Tujuan dan maksud penulisan ini adalah untuk mengetahui rantai pasok limbah elektronik, dampak dan strategi pengelolaan limbah elektronik di Indonesia. Diharapkan dari makalah ini secara teoritis menambah pengetahuan tentang limbah elektronik dan pengelolaannya, sedangkan manfaat praktisnya agar masyarakat dapat lebih peduli dalam mengkonsumsi barang elektronik dan memperhatikan dalam pengelolaan limbah elektronik agar tidak tercampur dengan sampah lain dan dapat dimanfaatkan atau daur ulang.

## 2. Metode

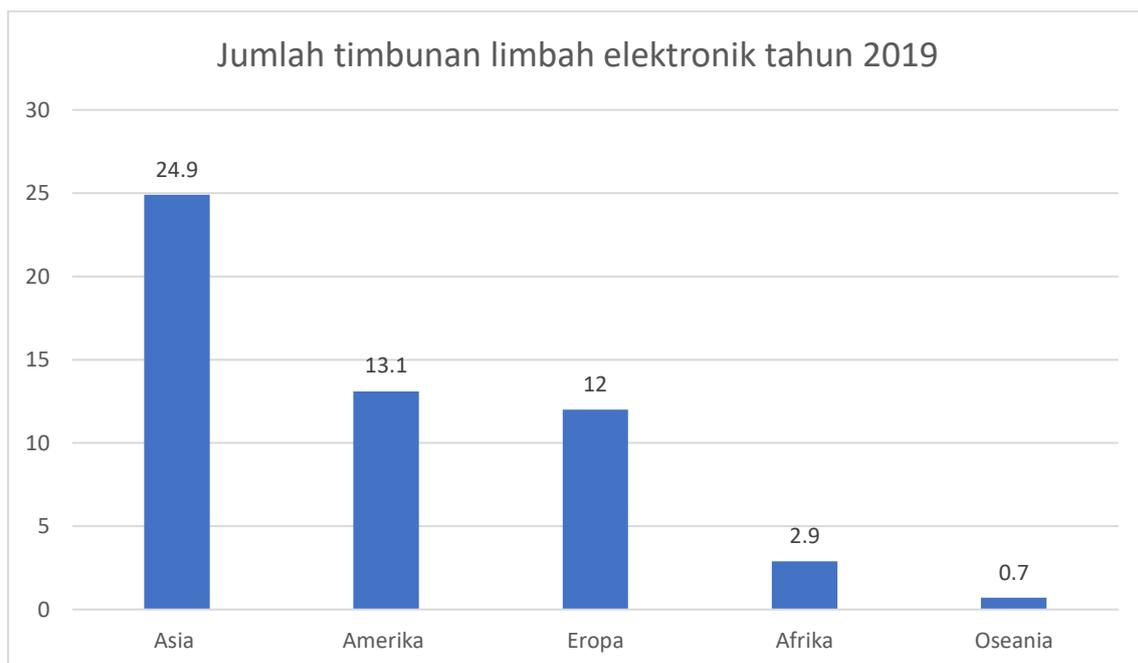
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode gabungan (mix method), yang menggabungkan data kualitatif dan kuantitatif, dengan data dikumpulkan dari penelusuran paper ilmiah. Metode kualitatif digunakan untuk menjelaskan dan membandingkan pendapat mengenai objek penelitian, sedangkan metode kuantitatif digunakan untuk mengumpulkan dan menggambarkan data sekunder.

Metode analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif, di mana hasil pengumpulan data akan dijelaskan dan digambarkan secara spesifik. Proses analisis ini melibatkan pembacaan, pencatatan, dan penelaahan literatur yang telah dikumpulkan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menggunakan data primer yang dikumpulkan langsung oleh peneliti, tetapi juga memanfaatkan data sekunder yang telah ada untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang topik yang diteliti.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Data jumlah limbah elektronik

Secara global, timbulan limbah elektronik diperkirakan mencapai 20 hingga 50 juta ton setiap tahun dengan presentase 1 hingga 3% dari limbah kota yang diproduksi sebagai 1.636 juta ton per tahun (Vats & Singh, 2014). E-waste adalah salah satu penghasil timbulan sampah tercepat di dunia (Wahyono, 2012). Saat ini, limbah elektronik global terus mengalami peningkatan, pada tahun 2014 limbah elektronik yang dihasilkan sebanyak 9,2 juta ton dan bertambah sebanyak 53,6 juta ton pada tahun 2019, bahkan diproyeksikan akan meningkat menjadi 74,7 juta ton pada tahun 2030 yang berarti hampir dua kali lipat hanya dalam 16 tahun, secara regional penghasil limbah elektronik adalah Asia, kemudian diikuti oleh Amerika, Afrika dan Oseania lebih jelasnya terlihat pada gambar 1 (Forti et al., 2020).



Gambar 1. Jumlah timbunan limbah elektronik secara global tahun 2019 (Forti et al., 2020b)

Data tentang jumlah limbah elektronik yang dihasilkan, dikelola, dan diperdagangkan sangat terbatas, bahkan dalam skala global (ILO, 2019). Di Indonesia sendiri, limbah elektronik belum menjadi perhatian yang serius sehingga menyebabkan pendataan terkahir limbah elektronik secara nasional masih belum lengkap. Namun, menurut Andarani & Goto (2012) limbah elektronik yang dihasilkan diperkirakan akan meningkat karena pertumbuhan ekonomi yang tinggi dan perkembangan teknologi. Peningkatan ini tentunya seiring dengan pertumbuhan penduduk yang tentunya akan juga berimplikasi dalam kebutuhan akan teknologi. Berdasarkan hasil riset oleh Rimantho & Nasution (2016) yang melakukan survey terhadap 400 responden penduduk di DKI Jakarta berhasil

menghitung jumlah *e-waste generation*. Diindikasikan sebanyak 6.208,141 Kg unit/tahun limbah elektronik dihasilkan di Jakarta yang dikelompokkan menurut berbagai jenisnya, lebih jelasnya pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan limbah elektronik yang dihasilkan menurut jenis peralatan di Jakarta

No.	Peralatan	Berat (Kg)	Jumlah (unit)	Masa Pakai (tahun)	Potential Generation (Kg.unit/tahun)
		(A)	(B)	(C)	((A) x (B)) / (C)
1	Kulkas	31,82	241	11,8	649,883
2	Air Conditioner	31,16	572	12,7	836,658
3	Mesin Cuci	27,25	326	10,1	879,554
4	Setrika	0,5	454	10	22,700
5	Pemanas air elektrik	1,032	78	3	26,832
6	Blender	2,57	379	5	194,806
7	Microwave	15	125	13,2	142,045
8	Kipas angin	9,6	731	8,3	845,494
9	Penyedot debu	8	126	7	76,364
10	Penanak nasi	4	421	8,3	202,892
11	Dispenser	2,43	416	10	101,088
12	Komputer (Desktop)	4,2	134	6,6	85,273
13	Layar CRT 14 inch	7,9	60	6,6	71,818
14	Layar CRT 17 inch	16	55	6,6	133,333
15	Laptop 10 inch	1,38	132	7,4	24,616
16	Laptop 14 inch	2,5	288	7,4	97,297
17	Telepon genggam	0,115	1441	4,3	38,538
18	Printer	4,8	196	7,1	132,507
19	TV Tabung 14 inch	9,34	59	10	55,106
20	TV Tabung 21 inch	20,47	157	10	321,379
21	TV LCD 17 inch	7	54	10	37,800
22	TV LCD 19 inch	7	34	10	23,800
23	TV LCD 21 inch	7	125	10	87,500
24	TV LCD 29 inch	16	136	10	217,600
25	Kamera	0,17	244	10	4,148
26	Radio	4,5	205	9,5	97,105
27	Pemutar DVD	1,8	343	7	88,200
28	Pemutar VCD	1,8	119	7	30,600
29	Pemutar MP3	0,2	109	5	4,360
30	Baterai 1.5 V	0,01	2039	0,2	101,950
31	Baterai 9 V	0,015	135	0,2	10,125
<b>Total</b>					<b>6.208,141</b>

(Rimantho & Nasution, 2016)

Dari hasil penelitian yang dilakukan, mesin cuci sebagai jenis produk yang menghasilkan tingkat pembangkitan tertinggi yaitu sekitar 879,554 Kg unit/tahun, dan baterai sebagai limbah elektronik yang paling banyak dikonsumsi. Selain itu, dalam penelitian tersebut juga melakukan perhitungan terkait estimasi pertumbuhan limbah elektronik di Jakarta dari tahun 2014 sampai dengan 2025 yang dihubungkan dengan jumlah penduduk di Jakarta, lebih jelasnya pada Tabel 2.

Tabel 2. Estimasi timbunan limbah elektronik di DKI Jakarta

No.	Tahun	Estimasi Populasi Penduduk	E-waste Generation (Kg/tahun)	Estimasi Timbunan Limbah Elektronik (Kg)
1	2014	10.075.310		52.119.578,63
2	2015	10.905.839,97		56.415.910,16
3	2016	11.804.832,35		61.066.397,75
4	2017	12.777.930,65		66.100.235,26
5	2018	13.831.243,59		71.549.023,07

6	2019	14.971.383,42		77.446.966,45
7	2020	16.205.507,5	<b>5.173</b>	83.831.090,28
8	2021	17.541.363,13		90.741.471,48
9	2022	18.987.336,29		98.221.490,61
10	2023	20.552.504,19		106.318.104,2
11	2024	22.246.692,32		115.082.139,4
12	2025	24.080.536,12		124.568.613,3

(Rimantho & Nasution, 2016)

### 3.2 Data jumlah pengelolaan limbah elektronik

Pengelolaan limbah elektronik telah diatur secara ketat di Eropa dan negara maju lainnya melalui arahan EU tentang Peralatan Listrik dan Elektronik Limbah (WEEE) dan peraturan serupa lainnya, namun di negara berkembang seperti Indonesia tidak demikian (Hanafi *et al.*, 2011). Di Indonesia, pengelolaan limbah elektronik masih belum merata di seluruh wilayah, berdasarkan data dari KLHK (2018) terdapat tujuh industri pengelolaan limbah yang tersebar di empat daerah diantaranya yaitu Batam, Jawa Tengah, Jawa Barat, dan Tangerang.

- a. Di pulau Batam, jumlah industri untuk pengelolaan limbah elektronik yaitu satu industri, dan bentuk pengelolannya adalah membongkar limbah elektronik namun dalam ukuran yang tidak sedikit, dan hasilnya digunakan untuk bahan baku industry smelter.
- b. Jawa Tengah, dengan jumlah industri pengelolaan limbah elektronik sebanyak tiga industri, namun untuk pengelolannya dua industri melakukan pengelolaan pada baterai *dry cell* dan smelter yang kemudian di ekspor ke smelter di Batam dan Jakarta, sedangkan industri yang satunya melakukan pengelolaan dengan rekondisi untuk kemudian dijual di dalam dan di luar negeri.
- c. Jawa Barat, dengan jumlah industri pengelolaan limbah terbanyak yaitu lima industri, dan pengelolannya pada semua jenis bahan limbah elektronik.

Tangerang, dengan jumlah industri pengelolaan limbah elektronik satu dan bentuk pengelolannya pada semua jenis bahan limbah elektronik namun hanya sebatas pengumpulan untuk kemudian diekspor.

Kemudian, khusus di Jakarta, menurut Priambodo (2019) pengelolaan limbah elektronik dilakukan dengan gerakan pengumpulan limbah elektronik yang didasarkan pada instruksi Kepala DLH (Dinas Lingkungan Hidup) DKI Jakarta Nomor 28 tahun 2017 tentang Pengumpulan Limbah Elektronik Bagi Pegawai di Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup dan Penghuni Rumah Susun di Lingkungan Hidup. Selain itu, dilansir dari [smartcity.jakarta.go.id](http://smartcity.jakarta.go.id) rencana pengelolaan limbah elektronik oleh DLH Provinsi DKI selain pengumpulan juga dilakukan dengan penjemputan serta sosialisasi tentang limbah elektronik. Program pengumpulan ini juga dilakukan di sekolah-sekolah Adiwiyata Mandiri kemudian ditransfer ke kecamatan, dan untuk program penjemputan dilakukan oleh petugas DLH yang datang langsung ke rumah warga yang sebelumnya telah melakukan pendaftaran di website [lingkunganhidup.jakarta.go.id](http://lingkunganhidup.jakarta.go.id) tanpa dipungut biaya.



Gambar 2. Metode penjemputan limbah elektronik

Sumber: [lingkunganhidup.jakarta.go.id](http://lingkunganhidup.jakarta.go.id)

### 3.3 Regulasi limbah elektronik

Peraturan terkait limbah elektronik saat ini belum banyak diatur baik secara global maupun nasional. Hal ini karena pengelolaan limbah elektronik belum menjadi perhatian utama di beberapa negara berkembang, termasuk di Indonesia (Chandra & Trihadiningrum, 2017). Menurut Forti *et al.*, (2020) sejak 2014, jumlah negara yang telah mengadopsi kebijakan, undang-undang, atau peraturan limbah elektronik nasional telah meningkat dari 61 menjadi 78.



Gambar 3. Perkembangan regulasi terkait limbah elektronik diseluruh dunia (Forti *et al.*, 2020)

Dari 78 negara tersebut, belum termasuk Indonesia karena sampai saat ini pemerintah Indonesia belum juga memiliki regulasi yang khusus untuk membahas mengenai pengelolaan limbah elektronik. Namun, karena kandungannya menjadikan limbah elektronik masuk dalam kategori limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Sehingga, dari karakteristik tersebut, menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2013) regulasi yang mengatur tentang limbah elektronik terdiri dari:

- Undang-Undang Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun;
- Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan;
- Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2009 tentang Pengesahan *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants* (Konvensi Stockholm tentang Bahan Pencemar Organik yang Persisten);

- d. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 18 Tahun 2009 tentang Tata Cara Perizinan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun;
- e. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.12/MENLHK/SETJEN/PLB.3/5/2020 tentang Penyimpanan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun;
- f. Peraturan Direktur Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah dan Bahan Beracun Berbahaya Nomor P.4/PSLB3/Set/PLB.4/7/2016 tentang Format Pelaporan Identifikasi dan Inventarisasi Lahan Terkontaminasi Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun;
- g. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 2 Tahun 2008 tentang Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun;
- h. Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor 1 Tahun 1995 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Penyimpanan dan Pengumpulan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

### 3.4 Rantai pasok limbah elektronik

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun, berdasarkan Lampiran 1 (Tabel 1 Daftar Limbah B3 dari Sumber Tidak Spesifik) dengan kode limbah B107d, wajib mengikuti tata cara pengelolaan limbah B3, yaitu menyerahkan kepada pihak yang memiliki izin pengelolaan limbah B3 baik izin pengangkutan maupun izin pengumpulan dan pemanfaatan. Berdasarkan rekapitulasi data pemegang izin pengelolaan limbah B3 yang dapat dilihat pada situs [pelayananterpadu.menlhk.go.id](http://pelayananterpadu.menlhk.go.id) terdapat 155 pihak ketiga yang memiliki izin pengangkutan, 10 pihak yang memiliki izin pengumpulan, 1 pihak yang memiliki izin pemanfaatan. Aplikasi pengelolaan limbah B3 sesuai dengan aturannya umumnya sulit untuk direalisasikan terutama pada sektor domestik/masyarakat karena faktor biaya dan keterbatasan pihak berizin.

Umumnya yang terjadi pada masyarakat ialah limbah elektronik diserahkan atau dijual kepada pihak ketiga illegal/pegepul yang kemudian melakukan proses daur ulang secara illegal dan cenderung merusak lingkungan. *The Global E-waste Monitor 2017 Quantities, Flows, and Resources* telah melakukan analisis terkait limbah elektronik yang dihasilkan oleh masyarakat Indonesia yaitu pada tahun 2016 sebesar 1,274 juta ton *e-waste*. Jumlah tersebut tentunya telah mengalami peningkatan untuk saat ini mengingat konsumsi *e-waste* yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Sebagian besar komponen pada sampah elektronik memang dapat didaur ulang, namun hanya sekitar 20% yang selama ini ternyata berhasil didaur ulang. Sisa 80% lainnya dapat berakhir di pembakaran, penimbunan, dan dibuang ke badan air seperti sungai atau lautan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wahyono (2012), terdapat beberapa pencemaran lingkungan yang telah terjadi di beberapa lokasi di Indonesia yang diduga kuat berkaitan dengan kegiatan pengelolaan limbah elektronik yang kurang bertanggung jawab terhadap lingkungan bahkan di beberapa lokasi telah terjadi dampak terhadap kesehatan manusia/masyarakat yang tinggal di sekitarnya.

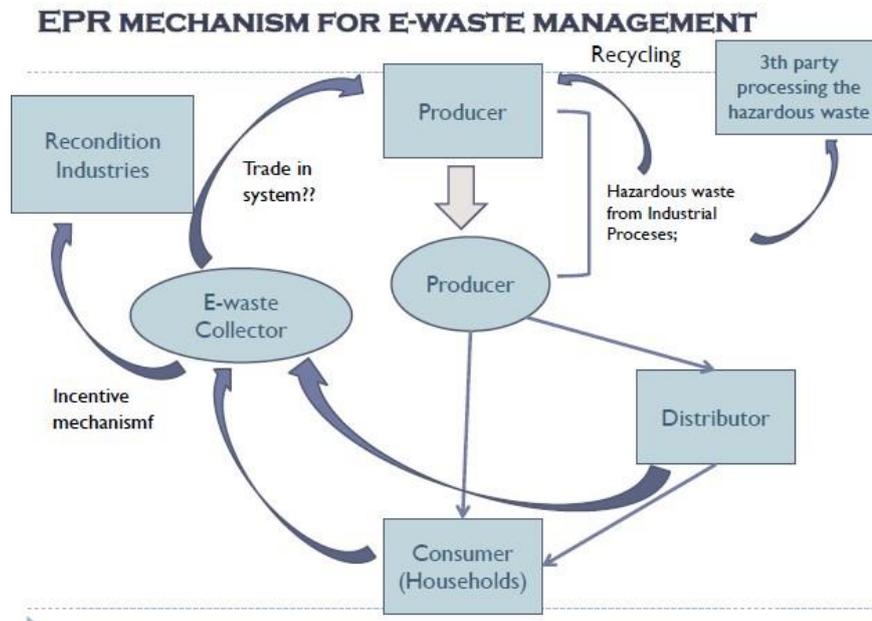
Di daerah Munjul-Cipayung, Jakarta Timur pada tahun 2000-an ditemukan bahwa beberapa sumur penduduk mengandung beberapa parameter logam berat seperti timbal (Pb), cadmium (Cd) dan seng (Zn). Dalam penelitian ini juga disebutkan bahwa pada lokasi ini terdapat beberapa kegiatan daur ulang limbah elektronik ilegal. Logam-logam berat ini dapat berdampak pada kesehatan masyarakat terutama pada kulit, paru-paru, tulang, saraf, mata, ginjal, otak, dsb. Selain itu, di lokasi lain, yaitu di Desa Cinangka Kabupaten Bogor dan Kecamatan Curug Kabupaten Tangerang, juga ditemukan hal serupa yaitu ditemukannya kandungan logam berat timbal (Pb) pada darah siswa/i SD di atas ambang batas WHO (10 ug/dL) pada seluruh anak ayng dites yaitu sebanyak 40 siswa/i. Di Desa Cinangka, rata-rata kandungan timbal (Pb) dalam darah mereka ialah

36.62 ug/dL, sementara di Kecamatan Curug ditemukan rata rata kandungan timbal (Pb) dalam darah mereka sebesar 24.18 ug/dL. Penelitian yang dilakukan oleh *Blacksmith Institute* dan *Indonesian Lead Information Center* pada tahun 2009-2010 ini juga melibatkan tes kandungan timbal (Pb) pada sampel tanah di lokasi yang bersangkutan. Hasil uji pada tanah menunjukkan kandungan timbal (Pb) sebesar rata-rata 4.179 ppm dari total 1.300 sampel tanah yang diuji. Nilai ini berada jauh di atas ambang batas yaitu sebesar 400 ppm. Di Kecamatan Serpong, Kota

Tangerang Selatan, pada tahun 2005 ditemukan tingkat konsentrasi logam berat timbal (Pb) di udara ambien sebesar 1.8-6 mg/m<sup>3</sup>. Nilai ini berada di atas ambang baku mutu udara ambien untuk parameter Pb yaitu sebesar 0.5-1.5 mg/m<sup>3</sup> berdasarkan standard WHO dan berdasarkan standard Indonesia di dalam PP 41 tahun 1999, yaitu maksimum 2ug/m<sup>3</sup> (sampling 24 jam). Tingginya konsentrasi Pb di udara ambien di lokasi ini diduga kuat berasal dari emisi kegiatan daur ulang limbah elektronik yaitu peleburan aki bekas (*accu*) yang terdapat di sekitar lokasi ini. Menurut data yang disampaikan pada jurnal penelitian ini, terdapat lebih dari 70 buah kegiatan peleburan timbal dari aki bekas (*accu*) di sekitar daerah ini termasuk dari wilayah DKI Jakarta. Selain di udara ambient, parameter logam berat timbal (Pb) ini juga ternyata ditemukan di dalam darah siswa/i SD yang berlokasi di dalam kawasan ini yaitu SDN Setu 01 dan SDN Puspipetek dengan rata-rata konsentrasi Pb pada siswa/i SDN Setu 01 mencapai 7.1 ug/dL dan pada siswa/i SDN Puspipetek mencapai 9 ug/dL. Meskipun nilai ini di bawah ambang batas WHO yaitu 10 ug/dL, namun konsentrasi ini dapat meningkat bila tidak ada penegasan terhadap kegiatan daur ulang aki bekas illegal dan perubahan kualitas lingkungan pada lokasi ini. Selain itu, juga tidak menutup kemungkinan beberapa warga/masyarakat lain yang tinggal di sekitar Kecamatan Serpong dan di wilayah DKI Jakarta juga memiliki tingkat konsentrasi Pb dalam darah yang serupa ataupun lebih tinggi. Di lokasi lain yaitu di Desa Pasarean Kabupaten Tegal ditemukan tingginya konsentrasi beberapa parameter logam berat pada sampel tanahnya dan diduga kuat berasal dari kegiatan peleburan aluminium (Al), timbal (Pb), tembaga (Cu) dan seng (Zn) yang terdapat di daerah tersebut. Meskipun belum ada data konsentrasi logam berat pada badan air, udara, maupun kesehatan masyarakat di sekitarnya, namun logam-logam berat ini dapat berdampak kronis terhadap kesehatan masyarakat yaitu dampak yang muncul pada jangka waktu lama seperti *cancer*, cacat lahir, dsb.

Selain kegiatan daur ulang limbah elektronik yang berasal dari dalam, juga perlu diperhatikan untuk tidak menerima limbah dari luar negeri. Sebagaimana disampaikan pada sub sebelumnya bahwa Indonesia menjadi salah satu Negara penerima limbah elektronik, maka dari itu pemerintah perlu secara tegas mendefinisikan limbah elektronik agar para kegiatan impor dapat dikendalikan. Melalui Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, telah diamanatkan untuk tidak melakukan impor limbah B3 (Pasal 69 Ayat 1). Untuk menghindari perbedaan persepsi limbah dan barang bekas, didalam Peraturan Menteri Perdagangan Nomor 48/M-DAG/PER/12/2011 Tentang Ketentuan Impor Barang Modal Bukan Baru, disampaikan bahwa barang bekas dapat diimpor dengan beberapa kriteria yaitu: masih berfungsi, *lifetime* >5 tahun, teknologi baru (bukan CRT), harus dalam bentuk komplet/satu set, dan dikemas dengan baik.

Berdasarkan paparan yang dilakukan oleh KLHK pada *3<sup>th</sup> Global E-Waste Management US San Fransisco* (17 Juli 2013), salah satu konsep yang akan dikembangkan oleh pemerintah Indonesia ialah konsep EPR (*extended producer responsibility*) yaitu pemberian tanggung jawab lanjutan kepada para produsen barang elektronik untuk mengambil kembali barang bekasnya dari masyarakat/pasar. Skema terkait proses EPR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sementara penjabaran tugas masing-masing stakeholder untuk mengaplikasikan mekanisme EPR seperti yang didetilkkan pada Tabel 3.



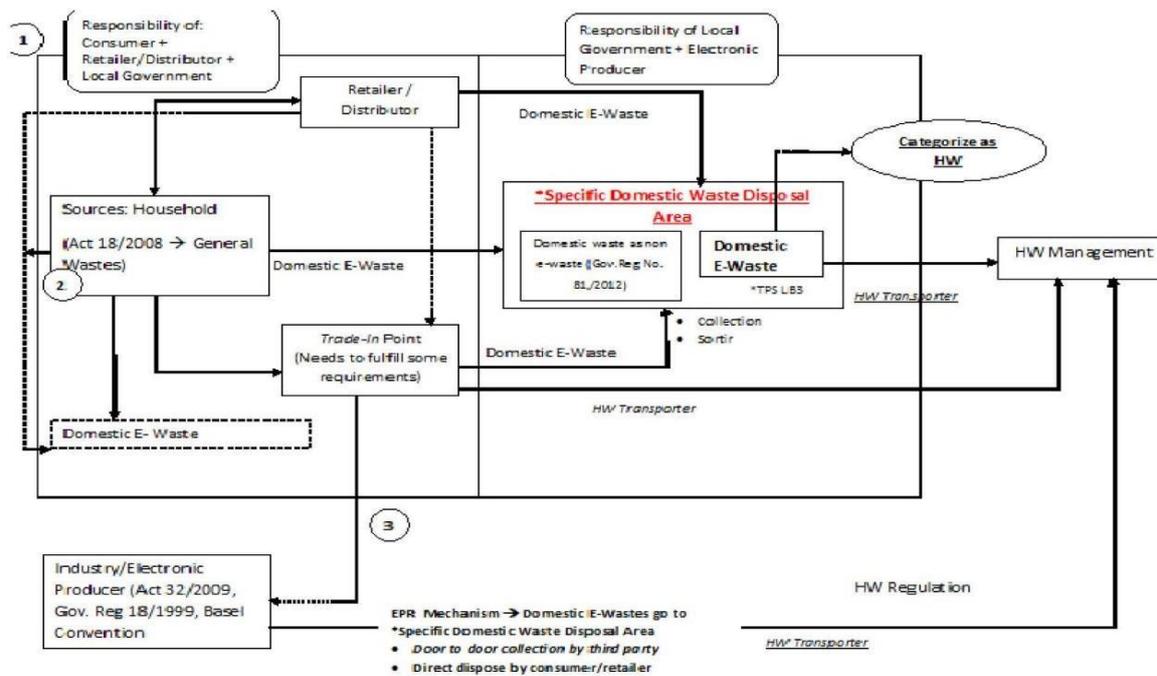
Gambar 4. Mekanisme EPR (KLHK, 2013)

Sementara itu, penjabaran tugas masing-masing stakeholder untuk mengaplikasikan mekanisme EPR seperti didetilkkan lebih lanjut pada Tabel 3.

Tabel 3. Pembagian Peran/Tanggung Jawab Stakeholder Terkait dalam Skema ERP

Stakeholder Terkait	Peran/Tanggung Jawab
Produsen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bertanggung jawab terhadap distribusi produk dan limbahnya</li> <li>Mengelola limbah elektroniknya</li> <li>Bertanggung jawab atas produksi produk yang ramah lingkungan</li> </ul>
Konsumen dan Distributor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bertanggung jawab untuk membawa limbah elektronik (<i>e-waste</i>) ke fasilitas pengumpulan</li> </ul>
Pengumpul	<ul style="list-style-type: none"> <li>Membuat kerja sama dengan produsen dan pemerintah lokal untuk memfasilitasi tempat pengumpulan</li> <li>Membangun mekanisme insentif untuk pengembalian limbah elektronik</li> </ul>
Industri Rekondisi/Daur Ulang	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melakukan daur ulang berdasarkan standar aturan produk yang berlaku</li> <li>Bertanggung jawab atas proses pendaur ulangan yang dilakukan</li> </ul>

Gambar 5 merupakan ilustrasi konsep bagan alir perjalanan limbah elektronik yang diusung oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2013).



Gambar 5. Konsep Daur Ulang Limbah Elektronik Indonesia (KLHK, 2013)

Terdapat beberapa hal yang masih perlu dimatangkan melalui peraturan atau kebijakan pengelolaan limbah elektronik ini seperti mekanisme insentif, kerja sama baik dengan produsen barang elektronik maupun dengan pemerintah daerah, dsb.

### 3.5 Dampak limbah elektronik

#### 3.5.1 Aspek lingkungan

Sektor daur ulang limbah elektronik informal sejauh ini mendominasi di lapangan, namun menggunakan metodologi yang tidak tepat untuk ekstraksi logam seperti Kromium, Kadmium, Timbal, tembaga, dan perak yang menyebabkan polusi dan bahaya kesehatan (Tabel 3) (Awasthi & Li, 2017). Sektor informal ini bertanggung jawab atas pembuangan limbah elektronik secara terbuka, yang mengakibatkan kerusakan lingkungan yang tinggi. Penanganan dan pengolahan limbah elektronik secara informal sangat berbahaya terutama pembakaran dan rendaman asam untuk ekstraksi logam. Potensi dampak lingkungan yang terkait dengan kegiatan daur ulang limbah elektronik sebagai berikut (Sajid *et al.*, 2019):

- a. Kegiatan daur ulang yang sedang berlangsung dapat menyebabkan polusi tanah, udara dan air karena zat berbahaya yang dilepaskan selama pembongkaran dan pemrosesan peralatan elektronik bekas. Bahan berbahaya ini terutama merkuri, timbal, kadmium, nikel, polutan organik yang terdiri dari polutan yang tidak diinginkan.
- b. Zat berbahaya yang ada dalam limbah elektronik biasanya dibuang bersama dengan limbah normal di lokasi pembuangan, sehingga dapat melarutkan dan mencemari tanah dan badan air permukaan.
- c. Polusi Udara karena pembongkaran dan ekstraksi logam berharga melalui pembakaran dan penyolderan di udara terbuka merupakan masalah lingkungan yang serius dan menghasilkan emisi zat beracun seperti dioksin dan logam berat yang berlebihan

Tabel 4. Logam dalam daur ulang limbah elektronik dan resiko pada kesehatan manusia

Jenis Logam	Resiko Kesehatan
Antimony	Iritasi pada mata, kulit, paru-paru
Bismuth	Masalah kulit dan depresi
Kadmium	Kerusakan paru-paru, patah tulang, kerusakan sistem saraf pusat, merusak DNA, kanker.
Chromium	Kanker paru-paru, kerusakan ginjal dan hati; menyebabkan kematian.
Cobalt	Muntah, kehilangan penglihatan, masalah jantung, kerusakan tiroid, penyebab asma
Galium	Iritasi tenggorokan, gangguan pernapasan, nyeri di dada
Germanium	Dampak negatif pada kulit, mata & darah
Molibdenum	Nyeri sendi di lutut, tangan, kaki; sangat beracun
Nikel	Kanker paru, kanker hidung, gangguan jantung
Selenium	Sakit perut, demam, masalah jantung dan otot, asma, diare, pembesaran hati, bronkitis, sakit tenggorokan.
Perak	Kerusakan otak, ginjal, mata, paru-paru, dan hati
Timbal	Kesuburan pria melalui kerusakan sperma, kenaikan tekanan darah, kerusakan ginjal, keguguran, kerusakan otak, penurunan kemampuan belajar anak
Timah	Mata dan iritasi kulit, sakit dan pusing, sesak napas, masalah buang air kecil, sakit kepala.
Zat besi	Resiko tinggi terkena kanker paru-paru
Itrium	Berdampak negatif pada liver
Seng	Muntah, Iritasi kulit, penurunan indra perasa dan penciuman, cacat lahir, kram perut

(Awashi &amp; Li, 2017)

Sejumlah besar pekerja yang membongkar limbah elektronik menderita luka fisik saat merusak dan membongkar produk yang sudah habis masa pakainya. Dan Cedera fisik yang diderita saat menggunakan peralatan kasar saat memotong logam atau menginjak kepingan logam atau potongan logam yang tergeletak di tanah (Adanu et al., 2020). Dioksin dan furan dapat menyebabkan masalah neurologis, reproduksi, dan kanker. Debu adalah media transportasi, dan kontaminan ini dapat menyebabkan penyakit mata dan perut, iritasi pernapasan, tersedak, masalah kejiwaan, pneumonitis. Polutan seperti Polibrominasi Difenil Eter (PBDEs), Poliklorinasi Bifenil, dan logam berat dalam limbah elektronik dapat menyebabkan penyakit serius melalui paparan melalui kulit secara langsung, tanah dan debu. Sebagian besar bahaya kesehatan manusia yang disebabkan oleh pengolahan limbah elektronik yang tidak tepat disebabkan oleh penggunaan teknik primitif dan kurangnya tindakan pengendalian. Paparan banyak bahan kimia, misalnya, dapat meningkatkan risiko kanker dan bahkan (meski jarang) menyebabkan kematian langsung (Awasthi & Li, 2017).

Keberlanjutan Lingkungan dari setiap proses umumnya dicirikan oleh beberapa faktor. LCA (Life Cycle Assessment) adalah suatu metode utama dalam menilai dampak lingkungan. Ekstraksi logam dari limbah elektronik mampu memberikan keuntungan dan juga kompleks. Daur ulang bahan kimia merupakan pilihan yang baik untuk mengurangi dampak lingkungan. Jumlah emisi yang besar dapat berasal dari pengangkutan limbah elektronik dari pusat pengumpulan ke fasilitas daur ulang. Setelah daur ulang mekanis, logam tersebut

dikirim ke perusahaan sejenis atau fasilitas pihak ketiga untuk pemrosesan dan ekstraksi logam. Hal ini akan meningkatkan konsumsi bahan bakar dan akhirnya akan berkontribusi pada perubahan iklim dan penggunaan bahan bakar fosil. Jika tingkat pengumpulan secara substansial tinggi maka disarankan fasilitas pengolahan tersebut didirikan di sekitar atau di dekat fasilitas yang ada, hal ini bertujuan agar menurunkan emisi GRK (Gas Rumah Kaca) oleh sektor transportasi. Namun, jika tingkat pengumpulan tidak sesuai dengan kapasitas pengolahan maka lebih baik menggunakan fasilitas yang ada karena pembebasan lahan baru juga akan berdampak buruk terhadap lingkungan (Debnath et al., 2018).

### 3.5.2 Aspek ekonomi

Pengumpulan dan pemrosesan limbah elektronik membutuhkan pengetahuan perawatan dan penanganan khusus karena adanya bahan berbahaya di dalamnya. Meskipun beberapa pedagang barang bekas dan pengolah limbah elektronik menyadari bahaya, tetapi mereka masih terlibat dalam bisnis karena nilai ekonomi dan manfaatnya yang cukup besar. Peralatan komputer bekas atau skrap dikumpulkan dengan harga minimal dari pengguna, dibongkar secara lokal dan selanjutnya dijual ke pendaur ulang tertentu untuk pemulihan logam dan ekspor ke luar negeri untuk pemrosesan penyulingan dan ekstraksi sumber daya bernilai tinggi. Daur ulang limbah elektronik adalah bisnis yang menarik karena kisaran keuntungan murni antara 200-300 persen dan bahkan lebih. Selain itu, bisnis ini menarik karena tidak memerlukan keahlian atau investasi khusus untuk peralatan dan oleh karena itu banyak anak di bawah umur dan wanita terlibat dalam bisnis ini (Sajid et al., 2019).

Keberlanjutan ekonomi mungkin merupakan aspek terpenting dari keberlanjutan dalam hal bisnis. Hal terpenting dari pertumbuhan harga limbah elektronik adalah recoveri logam. Bisnis limbah elektronik yang berkembang pesat dan mendapatkan keuntungan maksimum dengan menggunakan kembali logam dan mendaur ulangnya. Proses hidrometalurgi bermanfaat dari sudut pandang ekonomi. Proses ini tidak memerlukan sumber energi karena kebutuhan energinya cukup rendah dan tidak ada biaya tambahan yang terkait dengan pembuangan sisa pembakaran di TPA atau di Fasilitas Penyimpanan dan Pembuangan Pengolahan (TSDF). Dalam proses hidrometalurgi, penggunaan bahan kimia, regenerasi pelarut dan pengolahan air limbah dalam jumlah besar yang dihasilkan merupakan masalah utama dan menambah bahan tambahan dan biaya pengoperasian. Regenerasi adsorben dan pembuangan adsorben bekas di TSDF dapat menimbulkan biaya lebih (Debnath et al., 2018).

### 3.5.3 Aspek sosial

Dari perspektif sosial, pengolahan limbah elektronik mampu menciptakan kesejahteraan masyarakat, mengurangi pengangguran, membangun hubungan antara bisnis dan masyarakat, serta menciptakan lapangan kerja yang luas. Pemerintah merasa tidak mungkin menangani jumlah limbah elektronik dan mengatur proses daur ulang. Oleh karena itu diperlukan kerjasama dengan pihak lain dari beberapa pemangku kepentingan. Untuk menghindari pencemaran lingkungan, pemerintah sebagai fasilitator perlu menyediakan sarana dan prasarana teknologi. Pemerintah juga perlu melakukan koordinasi dan menegakkan aturan dalam pengumpulan limbah elektronik untuk memudahkan pemantauan kegiatan pembongkaran atau daur ulang (Maheswari et al., 2020).

Keberlanjutan sosial cukup kompleks untuk dijalankan. Perilaku, mental, dan indikator sosial lainnya berubah sesuai wilayah geografis. Social-LCA adalah cara terbaik untuk memahami dampak sosial. Penerapan proses daur ulang limbah elektronik secara industri akan menciptakan lapangan kerja. Masyarakat akan diuntungkan dengan penggunaan bahan bakar produk daur ulang dan penggunaan teknologi hijau di industri. Secara

keseluruhan, seiring waktu dan kemajuan teknologi, semakin banyak produk yang akan dikomersialkan, semakin banyak produk yang diterima secara sosial (Debnath et al., 2018).

### 3.6. Strategi Pengelolaan Limbah Elektronik

#### 3.6.1 Contoh pengelolaan limbah elektronik di negara lain

Permasalahan limbah elektronik merupakan masalah global yang kini mulai nyata dan mendapat perhatian serius. Beberapa negara bahkan telah mengimplementasikan strategi pengelolaan limbah elektronik ke dalam peraturan-peraturan yang berlaku. Dalam pengelolaan limbah elektronik di negara-negara lain, yang menjadi perhatian adalah bahwa limbah elektronik dipandang sebagai suatu keutuhan masalah yang menjadi tanggungjawab bersama pihak-pihak terkait, mulai dari produsen, konsumen, pihak pendaur ulang hingga pemerintah.

Terdapat beberapa komponen kegiatan dalam pengelolaan limbah elektronik yang menjadi fokus pada negara maju, maupun negara berkembang. Pada beberapa negara maju, selain memiliki peraturan yang secara khusus mengatur mengenai pengelolaan limbah elektronik juga menjadikan biaya pengangkutan dan daur ulang limbah elektronik sebagai komponen biaya yang menjadi tanggungjawab konsumen, produsen, dan distributor (Baldé et al., 2015). Pada tinjauan arus ekspor-impor limbah elektronik yang dilakukan di penelitian terdahulu seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4, bahwa dalam skala global negara maju kerap melakukan ekspor limbah elektronik ke negara berkembang (Osibanjo et al., 2016). Hal ini menjadi masalah karena pada beberapa negara berkembang, kapasitas pengelolaan untuk limbah elektronik, terutama aspek teknis dan kesiapan regulasi, tidak terlalu diperhatikan. Selain itu, ekspor komoditas limbah elektronik oleh negara maju ke negara berkembang seringkali tidak melalui uji fungsional yang tepat (Ongondo et al., 2011). Pada bagian ini, Penulis berupaya menjelaskan contoh-contoh pengelolaan limbah elektronik di beberapa negara sebagai gambaran yang dapat menjadi bahan rujukan dalam implementasi strategi yang tepat dalam pengelolaan limbah elektronik di Indonesia.



Gambar 6. Alur 'transfer' limbah elektronik secara global.  
(Osibanjo et al., 2016)

Amerika Serikat (AS), sejak 2007 telah menerapkan pengelolaan limbah elektornik dengan perlindungan berupa peraturan yang disahkan. Regulasi khusus yang mengatur pengelolaan limbah elektronik AS dituangkan pada peraturan khusus (EPA-HQ-RCRA2004-0012), yaitu Hazardous Waste Management System; Modification of the Hazardous Waste Program; Cathode Ray Tubes; Final Rule (Nindyapuspa, 2018). Selain itu, penerapan kebijakan Extended Producer Responsibility (EPR) di AS yang juga mengatur mengenai tanggungjawab daur ulang limbah elektronik turut memberikan perlindungan dalam pengelolaan limbah elektronik di AS. Konsep EPR adalah sebuah sistem yang menjadikan

produsen memiliki tanggungjawab pada alat elektroniknya hingga menjadi bentuk limbah, setelah dibeli dan digunakan oleh konsumen. Biaya pengambilan beserta daur ulang dari alat elektronik bekas dalam skema dibebankan kepada konsumen (Bouvier & Wagner, 2011).

Dalam melakukan pengendalian terhadap ekspor limbah elektronik, AS juga memiliki program khusus. National Strategy for Electronics Stewardship (NSES) merupakan program yang memungkinkan pengelolaan limbah elektronik yang aman bagi lingkungan. NSES juga mengarahkan terhadap pengurangan ekspor limbah elektronik ke negara-negara berkembang serta mendorong konsep seperti desain ramah lingkungan dalam manufaktur elektronik. Kerangka kerja NSES telah diadopsi secara luas untuk pengembangan rencana aksi pengelolaan limbah elektronik di berbagai negara bagian di AS (Balde et al., 2017). Di negara maju seperti AS, pengelolaan limbah elektronik telah mendapat perhatian yang serius. Hal tersebut bisa diindikasikan dari lengkapnya regulasi dan program yang diterapkan dalam skema pengelolaan limbah elektronik. Peraturan terhadap pengelolaan limbah elektronik di AS telah secara komprehensif melihat limbah elektronik sebagai entitas yang menjadi tanggungjawab bersama semua pihak terkait.

Relatif sama dengan AS sebagai negara maju, beberapa negara di Eropa juga menerapkan skema EPR. Inggris dan Jerman juga mengadopsi skema EPR dalam pengelolaan limbah elektronik. Inggris mulai melakukan implementasi kebijakan pengelolaan limbah elektronik pada tahun 2007. Jerman bahkan mempunyai undang-undang yang mengatur penjualan, pengembalian, dan pembuangan peralatan listrik dan elektronik lainnya yang berwawasan lingkungan. Pada peraturan tersebut, produsen harus terdaftar ke dalam Elektro-Altgeraete, semacam daftar nasional untuk memudahkan dalam penelusuran peralatan listrik terbuang (Walther et al., 2010; Rotter et al., 2011; Forti et al., 2020).

Contoh lain dalam pengelolaan limbah elektronik di Eropa bisa dilihat dari implementasi regulasi di Swiss, sebagai negara pertama di dunia yang memiliki regulasi tersendiri terkait manajemen limbah elektronik. Peraturan pengelolaan terhadap limbah elektronik telah mulai diimplementasikan di Swiss sejak tahun 1998, melalui kebijakan yang dikeluarkan oleh Swiss Federal Office for the Environment (FOEN) yaitu Ordinance on "The Return, the Taking Back and the Disposal of Electrical and Electronic Equipment" (ORDEE) (Duygan & Meylan, 2015). Swiss bahkan membagi manajemen dan pengelolaan empat kategori limbah elektronik menjadi tanggungjawab masing-masing organisasi. Keempat kategori limbah elektronik tersebut yaitu: (1) Limbah elektronik rumah tangga/limbah 'cokelat' (meliputi perangkat audio, televisi, dsb), (2) Limbah elektronik 'putih', yang lebih mencakup alat-alat elektronik yang digunakan di dapur (kulkas, mesin cuci, dsb), (3) Limbah lampu, dan (4) limbah baterai (Gaidajis et al., 2010).

Keseriusan beberapa negara di Eropa dalam mengelola limbah elektronik juga mengadopsi skema EPR yang dituangkan ke dalam peraturan yang berlaku pada masing-masing negara. Lebih lanjut, Swiss bahkan telah secara spesifik membagi tanggungjawab pengelolaan masing-masing kategori limbah elektronik. Konsep tersebut memberikan keuntungan untuk pengelolaan limbah elektronik yang lebih terstruktur, sehingga pemilahan limbah elektronik yang kerap menjadi masalah dalam lingkungan dapat dimulai sedini mungkin, yaitu dari tahapan pengumpulan limbah.

Pada negara-negara di Asia, tingginya konsumsi penduduk terhadap alat-alat elektronik tidak diimbangi dengan manajemen pengelolaan limbah elektronik yang memadai. Meski Jepang, China, dan beberapa negara maju di Asia telah memiliki peraturan yang secara khusus mengatur mengenai pengelolaan limbah elektronik, namun pelaksanaannya tidak begitu berjalan dengan lancar. Jepang merupakan salah satu negara pertama di Asia dan secara global yang mengembangkan dan menerapkan sistem manajemen limbah elektronik berbasis EPR. Undang-undang tentang daur ulang limbah elektronik juga mulai diterapkan di tahun 2001. Undang-undang tersebut mewajibkan produsen elektronik untuk mengambil kembali produk yang telah mencapai akhir masa

pakainya melakukan 'perlakuan' untuk digunakan kembali atau didaur ulang (Zhang & Kimura, 2006; Aizawa et al., 2008; Sugimura & Murakami, 2016).

Sementara itu di China, penerapan undang-undang tentang pengelolaan limbah elektronik sudah dilakukan sejak tahun 2011. Undang-undang nasional yang mencakup pengumpulan dan perawatan peralatan listrik kecil dan besar (misal: TV, lemari es, mesin cuci; layer monitor dan peralatan komputer lainnya) berhasil mengumpulkan limbah-limbah tersebut sebanyak 1,3 juta ton pada tahun 2016 (Balde et al., 2017). Selain pengumpulan limbah elektronik secara resmi yang dilakukan oleh penerapan stasiun pengumpulan limbah dan pendaur ulang berlisensi, eksistensi dan aktivitas pengepul informal di China justru mempersulit pengelolaan limbah elektronik yang lebih ramah lingkungan. Penadahan limbah elektronik yang dilakukan oleh pengepul-pengepul informal dilakukan secara masif dan telah lama menjadi sistem pengumpulan limbah yang lebih 'dikenal' masyarakat, terutama di wilayah-wilayah padat penduduk (Wang et al., 2017; Cao et al., 2018).

Contoh serupa seperti di China, juga bisa disimak dari bagaimana India dihadapkan pada sulitnya melakukan kontrol terhadap pengepul-pengepul limbah informal. India memberlakukan undang-undang terkait pengelolaan dan pengaturan limbah elektronik mulai tahun 2012. Secara umum, undang-undang tersebut juga didasarkan pada kerangka kerja EPR (Borthakur & Singh, 2012). Peraturan tersebut mewajibkan produsen untuk mencapai target pengumpulan yang ditetapkan dalam upaya meningkatkan tingkat pengumpulan dan daur ulang di negara yang masih memiliki sektor pengepul dan pengolahan limbah elektronik informal yang dominan. Di bawah peraturan tersebut, produsen (termasuk pendaur ulang dan pengepul) diharuskan untuk mendaftar ke regulator lingkungan yang dikontrol oleh negara. Dalam mengatasi kesenjangan yang ada pada pengepul informal dan formal, pemerintah India kini giat melakukan kolaborasi untuk mengajak sektor informal berangsur beralih menjadi formal dan mulai melakukan pengelolaan limbah elektronik sesuai standar dan baku mutu yang ditetapkan di negara tersebut (Awasthi et al., 2016; Turaga et al., 2019).

Meski beberapa negara di Asia telah mulai mengadopsi langkah-langkah strategis dalam pengelolaan limbah elektronik, misal dalam adopsi skema EPR, tantangan yang harus diselesaikan adalah bagaimana merangkul sektor informal (terutama dalam pengumpulan limbah) agar lebih bisa menerapkan pengolahan serta pengelolaan limbah elektronik sesuai standar dengan tidak merusak lingkungan. Pada beberapa contoh seperti yang telah dielaborasi oleh Penulis berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, keberhasilan pengelolaan limbah elektronik di negara-negara maju, baik dari segi teknis maupun regulasi, dapat menjadi inspirasi dalam menentukan rekomendasi strategi yang tepat untuk diadopsi di Indonesia.

### *3.7 Optimalisasi peran seluruh stakeholder terkait limbah elektronik*

Dalam strategi pengelolaan limbah elektronik, terdapat empat skenario utama seperti yang pernah dijelaskan pada studi sebelumnya (Williams, 2016) yaitu sebagai berikut.

- a. Limbah elektronik yang dikumpulkan secara formal, sesuai dengan persyaratan hukum yang disediakan oleh undang-undang terkait. Pengumpulan limbah elektronik dalam skenario ini biasanya dilakukan melalui titik pengumpulan yang disebar di wilayah perkotaan, serta langsung menysasar kepada produsen untuk bertanggungjawab terhadap limbah elektronik mereka melalui program-program yang dibentuk.
- b. Jika limbah elektronik bercampur dengan limbah rumah tangga, maka sampah yang tercampur kemudian dapat dialihkan ke TPA atau insinerasi, tergantung pada metode pembuangan yang lazim. Skenario ini dilakukan lebih banyak oleh pemerintah.

- c. Pengumpulan limbah elektronik lewat sektor informal, melibatkan makelar dan dealer limbah elektronik. Hasil pengumpulan bisa diolah lebih lanjut untuk dimusnahkan atau didaur ulang. Kesulitan dari skenario ini adalah kemungkinan tidak terdatanya limbah secara baik. Selain itu, proses pengolahan limbah elektronik sulit diawasi sehingga tidak terjamin standar kerjanya.
- d. Terakhir adalah pengumpulan limbah elektronik oleh pengepul yang tidak legal. Kegiatan ini sangat sulit untuk diawasi apabila tidak didukung dengan implementasi peraturan terhadap limbah elektronik. Skenario ini banyak dijumpai di negara-negara berkembang, di mana masih belum adanya peraturan yang khusus dalam mengatur pengelolaan limbah elektronik.

Indonesia sebagai negara yang masih belum memiliki peraturan yang secara spesifik tentang pengelolaan limbah elektronik, memiliki tantangan besar dalam mengatasi persoalan tersebut. Peraturan tersebut diharapkan nantinya bisa menjadi dasar dan memberikan perlindungan yang kuat terhadap pengelolaan limbah elektronik. Berdasarkan pembahasan yang dilakukan sebelumnya pada tulisan ini, maka Penulis berpendapat bahwa peraturan terkait limbah elektronik setidaknya dapat mencakup fokus-fokus sebagai berikut:

- a. Klasifikasi yang jelas terhadap limbah elektronik
- b. Penerapan/adopsi sistem Extended Producer Responsibility (EPR) untuk membantu memudahkan dalam pengumpulan dan pengelolaan limbah elektronik
- c. Penyusunan standar pengolahan limbah elektronik
- d. Legalisasi terhadap makelar dan pihak-pihak pengepul limbah elektronik untuk memudahkan pengumpulan, pemilahan, dan pengolahan limbah elektronik
- e. Pelibatan seluruh stakeholder dari produsen, distributor, konsumen, pengepul, hingga pemerintah sendiri dalam manajemen pengelolaan limbah elektronik

Limbah elektronik perlu dipandang sebagai tanggungjawab bersama yang melibatkan peran stakeholder dari hulu hingga hilir. Selain menyiapkan regulasi yang tepat, Pemerintah juga perlu melihat potensi pengembangan teknologi dalam pengelolaan limbah elektronik, terutama dalam pemilahannya, sehingga dampak terhadap lingkungan dapat dikurangi. Permasalahan lain yang perlu dipertimbangkan oleh pemerintah adalah aspek sosio-ekonomi, di mana limbah elektronik dipandang sebagai 'harta karun', khususnya oleh makelar-makelar limbah elektronik. Hal itu, meskipun bisa menjadi keuntungan namun juga menjadi hambatan dalam upaya pengumpulan limbah elektronik. Tidak kalah penting, penyediaan layanan pengelolaan limbah elektronik perlu dipercepat dari tingkat daerah hingga pusat. Ketersediaan layanan pengelolaan limbah elektronik yang memadai diharapkan bisa menjadi modal awal untuk membentuk budaya masyarakat dalam merelakan perangkat elektronik yang sudah rusak dan tidak terpakai lagi untuk kemudian dibuang dan dikelola lebih lanjut secara formal. Penguatan kapasitas dalam pengelolaan limbah elektronik pada semua stakeholder yang terlibat akan membawa optimasi pada kegiatan ini. Oleh karena itu, dibutuhkan kerja konkret yang terukur secara jelas dan melibatkan peran seluruh pemangku kepentingan dalam upaya pengelolaan limbah elektronik di Indonesia.

#### 4. Kesimpulan

Perkiraan total limbah elektronik di Indonesia pada tahun 2019 sebesar 1,62 juta ton, dan jumlah tersebut pasti akan mengalami peningkatan dimasa mendatang. Kegiatan

penanganan, pemrosesan dan pembuangan limbah elektronik di Indonesia sebagian besar bersifat informal karena tidak adanya kerangka kerja secara kelembagaan dan menimbulkan ancaman kesehatan dan lingkungan yang serius. Di sisi lain, terdapat daya tarik ekonomi dalam bisnis limbah elektronik sehingga menarik banyak orang. Mengingat manfaat ekonomi dalam bisnis daur ulang, teknologi yang aman dapat dieksplorasi untuk mendapatkan manfaat maksimal dengan cara yang ramah lingkungan. Ada kebutuhan mendesak untuk pemantauan dan pengendalian yang efektif dari sektor daur ulang limbah elektronik informal di Indonesia walaupun secara regulasi sudah terdapat undang-undang maupun peraturan tentang pembuangan limbah elektronik sebagai kategori limbah B3.

Pengelolaan limbah elektronik yang berwawasan lingkungan merupakan masalah kritis di Indonesia, maka sudah saatnya limbah elektronik dipandang sebagai tanggungjawab bersama yang melibatkan peran para stakeholder dari hulu hingga hilir. Peraturan mengenai limbah elektronik harus dilaksanakan dengan sangat baik dan perlu adanya insentif terkait pengelolaan limbah elektronik. Sektor daur ulang formal harus mengadopsi teknologi terbaik yang tersedia dan ramah lingkungan. Kapasitas daur ulang formal perlu ditingkatkan, tetapi harus dilengkapi dengan baik untuk menghindari risiko lingkungan dan kesehatan, dan harus mengintegrasikan pendekatan secara teknis. Oleh karena itu, dalam memaksimalkan pengelolaan limbah elektronik perlu juga untuk membangun infrastruktur daur ulang yang lebih maju dan dukungan peran pembuat kebijakan dalam mempertimbangkannya.

### **Kontribusi Penulis**

Semua penulis berkontribusi penuh atas penulisan artikel ini.

### **Pernyataan Dewan Peninjau Etis**

Tidak berlaku.

### **Pernyataan Persetujuan yang Diinformasikan**

Tidak berlaku.

### **Pernyataan Ketersediaan Data**

Tidak berlaku.

### **Konflik kepentingan**

Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

### **Akses Terbuka**

©2024. Artikel ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution 4.0, yang mengizinkan penggunaan, berbagi, adaptasi, distribusi, dan reproduksi dalam media atau format apa pun. selama Anda memberikan kredit yang sesuai kepada penulis asli dan sumbernya, berikan tautan ke lisensi Creative Commons, dan tunjukkan jika ada perubahan. Gambar atau materi pihak ketiga lainnya dalam artikel ini termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel tersebut, kecuali dinyatakan lain dalam batas kredit materi tersebut. Jika materi tidak termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel dan tujuan penggunaan Anda tidak diizinkan oleh peraturan perundang-undangan atau melebihi penggunaan yang diizinkan, Anda harus mendapatkan izin langsung dari pemegang hak cipta. Untuk melihat salinan lisensi ini, kunjungi: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Daftar Pustaka

- Adanu, S. K., Gbedemah, S. F., & Attah, M. K. (2020). Challenges of adopting sustainable technologies in e-waste management at Agbogbloshie, Ghana. *Heliyon*, 6(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04548>
- Aizawa, H., Yoshida, H., & Sakai, S. ichi. (2008). Current results and future perspectives for Japanese recycling of home electrical appliances. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(12), 1399–1410. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.07.013>
- Andarani, P., & Goto, N. (2012). Preliminary Assessment of Economic Feasibility for Establishing a Households ' E-Waste Treating Facility in Serang, Indonesia. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(6). <https://doi.org/10.7763/IJESD.2012.V3.286>
- Awasthi, A. K., & Li, J. (2017). Management of electrical and electronic waste: A comparative evaluation of China and India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76(January), 434–447. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.067>
- Awasthi, A. K., Zeng, X., & Li, J. (2016). Environmental pollution of electronic waste recycling in India: A critical review. *Environmental Pollution*, 211, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.027>
- Balde, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2017). The Global E-waste Monitor 2017 Quantities, Flows, and Resources. In *United Nations University*. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2014.05.148>
- Baldé, C. P., Wang, F., & Huisman. (2015). *The Global E-waste Monitor - 2014*. United Nations University, IAS - SCYCLE, Bonn, Germany.
- Borthakur, A., & Singh, P. (2012). Electronic waste in India: Problems and policies. *International Journal of Environmental Science*, 3(1), 353–362. <https://doi.org/10.6088/ijes.2012030131033>
- Bouvier, R., & Wagner, T. (2011). The influence of collection facility attributes on household collection rates of electronic waste: The case of televisions and computer monitors. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 1051–1059. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.019>
- Cao, J., Xu, J., Wang, H., Zhang, X., Chen, X., Zhao, Y., Yang, X., Zhou, G., & Schnoor, J. L. (2018). Innovating collection modes for waste electrical and electronic equipment in China. *Sustainability (Switzerland)*, 10(5), 1–33. <https://doi.org/10.3390/su10051446>
- Chandra, I., & Trihadiningrum, Y. (2017). Kajian Pengelolaan Limbah Elektronik di Unit Pendidikan ITS. *JURNAL TEKNIK ITS*, 6(2).
- Debnath, B., Chowdhury, R., & Ghosh, S. K. (2018). Sustainability of metal recovery from E-waste. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 12(6), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11783-018-1044-9>
- Duygan, M., & Meylan, G. (2015). Strategic management of WEEE in Switzerland - Combining material flow analysis with structural analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.06.005>
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). *The Global E-waste Monitor 2020 Quantities, flows, and the circular economy potential*. <https://www.iswa.org/home/news/newsdetail/article/-21c8325490/109/>
- Gaidajis, G., Angelakoglou, K., & Aktsoylou, D. (2010). E-waste: Environmental Problems and Current Management Engineering Science and Technology Review. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 3(1), 193–199.
- Hanafi, J., Kristina, H. J., Jobiliong, E., Christiani, A., & Halim, A. V. (2011). The Prospects of Managing WEEE in Indonesia. *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing: Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany, May 2nd - 4th, 2011*, 492– 496. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-19692-8>
- International Labour Organization. (2019). *Decent work in the management of electrical and electronic waste ( e-waste )*. [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/ed\\_dialogue/sector/documents/publi](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/ed_dialogue/sector/documents/publi)

- cation/wcms\_673662.pdf
- Jakarta Smart City. (2017). *Pengelolaan e-Waste Melalui Pengumpulan dan Penjemputan Sampah Elektronik*. <https://smartcity.jakarta.go.id/>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2013). *E-Waste Management in Indonesia (National Regulation Draft)*. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/indonesia.pdf>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2018). *Pengelolaan Limbah B3 di Indonesia: E-Waste Management*. 2018.
- Maheswari, H., Yudoko, G., Adhiutama, A., & Agustina, H. (2020). Sustainable reverse logistics scorecards for the performance measurement of informal e-waste businesses. *Heliyon*, 6(9), e04834. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04834>
- Peraturan Menteri Perdagangan Republik Indonesia Nomor 48/M-DAG/PER/12/2011 Tentang Ketentuan Impor Barang Modal Bukan Baru, (2011).
- Nindyapuspa, A. (2018). Kajian Tentang Pengelolaan Limbah Elektronik Di Negara Maju Dan Negara Berkembang. *Infomatek*, 20(1), 41. <https://doi.org/10.23969/infomatek.v20i1.880>
- Ongondo, F. O., Williams, I. D., & Cherrett, T. J. (2011). How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste Management*, 31(4), 714–730. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.023>
- Osibanjo, O., Nnorom, I. C., Adie, G. U., Ogundiran, M. B., & Adeyi, A. A. (2016). Global Management of Electronic Wastes: Challenges Facing Developing and Economy-in-Transition Countries. *Metal Sustainability: Global Challenges, Consequences, and Prospects, 2005*, 52–84. <https://doi.org/10.1002/9781119009115.ch3>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, (2009).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, (2014).
- Priambodo, D. S. (2019). *INOVASI KEBIJAKAN PENGELOLAAN LIMBAH (Studi pada Pengelolaan Limbah Elektronik oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta Tahun 2017-2019)*. Univeristas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Rimantho, D., & Nasution, S. R. (2016). The Current Status of E-waste Management Practices in DKI Jakarta. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 11(December). <http://www.ripublication.com>
- Rotter, V. S., Chancerel, P., & Schill, W. P. (2011). Practicalities of individual producer responsibility under the WEEE directive: Experiences in Germany. *Waste Management and Research*, 29(9), 931–944. <https://doi.org/10.1177/0734242X11415753>
- Sajid, M., Syed, J. H., Iqbal, M., Abbas, Z., Hussain, I., & Baig, M. A. (2019). Assessing the generation, recycling and disposal practices of electronic/electrical-waste (E-Waste) from major cities in Pakistan. *Waste Management*, 84(xxxx), 394–401. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.026>
- Sugimura, Y., & Murakami, S. (2016). Problems in Japan's governance system related to end-of-life electrical and electronic equipment trade. *Resources, Conservation and Recycling*, 112, 93–106. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.04.009>
- Turaga, R. M. R., Bhaskar, K., Sinha, S., Hinchliffe, D., Hemkhaus, M., Arora, R., Chatterjee, S., Khetriwal, D. S., Radulovic, V., Singhal, P., & Sharma, H. (2019). E-Waste Management in India: Issues and Strategies. *Vikalpa*, 44(3), 127–162. <https://doi.org/10.1177/0256090919880655>
- Vats, M. C., & Singh, S. K. (2014). E-Waste characteristic and its disposal. *International Journal of Ecological Science and Environmental Engineering*, 1(December), 49–61. <http://www.aascit.org/journal/ijesee>
- Wahyono, S. (2012). Kebijakan pengelolaan limbah elektronik dalam lingkup global dan lokal. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 14, 17–23.
- Walther, G., Steinborn, J., Spengler, T. S., Luger, T., & Herrmann, C. (2010). Implementation of the WEEE-directive-economic effects and improvement potentials for reuse and

- recycling in Germany. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47(5–8), 461–474. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2243-0>
- Wang, M., Tan, Q., Chiang, J. F., & Li, J. (2017). Recovery of rare and precious metals from urban mines—A review. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 11(5), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0963-1>
- Williams, I. D. (2016). Global Metal Reuse, and Formal and Informal Recycling from Electronic and Other High-Tech Wastes. *Metal Sustainability: Global Challenges, Consequences, and Prospects*, 23–51. <https://doi.org/10.1002/9781119009115.ch2>
- Wulandari, R. (2020). *Menangani Sampah Elektronik, Bagaimana Seharusnya?* Mongabay. <https://www.mongabay.co.id/2020/07/22/menangani-sampah-elektronik-bagaimana-seharusnya/>
- Zhang, B., & Kimura, F. (2006). Network based evaluation framework for EEE to comply with environment regulations. *2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2006, 2006*, 797–802. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2006.257711>

**Biografi Penulis**

**ARI KABUL PAMINTO** , mahasiswa Program Studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.

- Email: [ari.kabul@ui.ac.id](mailto:ari.kabul@ui.ac.id)
- ORCID: -
- Web of Science ResearcherID: -
- Scopus Author ID: -
- Homepage: -

**LISA M. LAUTETU** , mahasiswa Program Studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.

- Email: [lisa.meidiyanti@ui.ac.id](mailto:lisa.meidiyanti@ui.ac.id)
- ORCID: -
- Web of Science ResearcherID:
- Scopus Author ID: -
- Homepage: -

**M. BAYU RIZKY PRAYOGA** , mahasiswa Program Studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.

- Email: [m.bayu01@ui.ac.id](mailto:m.bayu01@ui.ac.id)
- ORCID: -
- Web of Science ResearcherID: -
- Scopus Author ID: -
- Homepage: -

**CAECILIA MEYTA R** , mahasiswa Program Studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.

- Email: [cmaxmeyta@gmail.com](mailto:cmaxmeyta@gmail.com)
- ORCID: -
- Web of Science ResearcherID: -
- Scopus Author ID: -
- Homepage: -

**DEFI DARYLIANTY DEBORA** , mahasiswa Program Studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.

- Email: [defi.debora@gmail.com](mailto:defi.debora@gmail.com)
- ORCID: -
- Web of Science ResearcherID: -
- Scopus Author ID: -
- Homepage: -