

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Elektronik

Limbah elektronik dalam Bahasa Inggris biasanya disebut *e-waste*, selain itu juga dikenal dengan *WEEE (Waste Electronic and Electric Equipment)*. Kedua istilah ini memiliki makna yang sama berdasarkan pengertian limbah elektronik yang terdapat dalam *EU-Directive* (Mmereki et al, 2016). Limbah elektronik didefinisikan sebagai perangkat elektronik bekas yang hampir habis masa pakainya, dan dibuang, serta diberikan kepada orang lain atau diberikan ke pendaaur ulang (US EPA, 2014). Cakupan dari limbah elektronik merupakan segala perangkat elektronik dan termasuk bagian-bagiannya yang telah dibuang oleh si pemilik tanpa bermaksud untuk digunakan kembali (Step Initiative, 2019). Jadi makna limbah elektronik itu sendiri kembali lagi kepada si pemilik untuk menganggap itu limbah atau tidak. Limbah elektronik tergolong sebagai sampah spesifik yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3). Sampah elektronik dan elektrikal antara lain baterai kering, video kaset *recorder*, antena, pemutar DVD, alat komunikasi, personal *computer*, *laptop*, *stereo system*, *faxsimili*, *printer*, kipas angin, mesin pembersih udara, *mixer*, mesin pembuat roti, pernanggang roti, mesin cuci, AC, televisi, lampu, dan setrika (PP Nomor 27 Tahun 2020)

2.1.1 Klasifikasi Limbah Elektronik

Sistem pengelompokan jenis limbah elektronik atau klasifikasi limbah elektronik terkadang memiliki perbedaan di beberapa Negara. Hal ini dapat menghambat proses kalkulasi dasar statistik limbah elektronik yang dihasilkan. Sistem klasifikasi yang baik seharusnya tidak terlalu umum ataupun terlalu khusus. Apabila terlalu umum maka akan menimbulkan makna yang luas sehingga sulit ditafsirkan, misalnya pada negara tertentu mengelompokkan CRT (*Cathode Ray Tube*) ke dalam kelompok alat IT namun Negara lain mungkin dapat mengelompokkannya ke dalam alat rumah tangga dan juga dikelompokkan

sebagai layar (*screen*). Sistem klasifikasi yang terlalu khusus akan dapat menimbulkan beragamnya jenis alat elektronik yang belum tentu memiliki pengelompokan yang sama. Hal tersebut akan menyebabkan banyaknya kode yang tidak relevan (Balde et al., 2015).

Negara-negara Uni-Eropa memiliki system pengelompokan limbah elektronik yang diatur dalam *Directive 2012/19/EU of The European Parliament and of The Council*. Kebijakan tersebut merupakan hasil pembaharuan dari kebijakan sebelumnya yaitu *Directive 2002/96/EC*, yang memperbaharui cakupan limbah elektronik, yang awalnya terdiri dari 10 kategori, kini ditetapkan menjadi 6 kategori, yaitu (1) *temperature exchange equipment* (2) *screens and monitors*; (3) *lamps*; (4) *large equipment*; (5) *small equipment*; dan (6) *small IT and telecommunication equipment* dengan dimensi kurang dari 50 cm Meskipun kebijakan ini dibuat dan disahkan oleh negara-negara di Uni Eropa, namun pengelompokan limbah elektronik ini dapat digunakan diseluruh negara (V. Forti et al., 2018). Sistem pengelompokan tersebut didasarkan pada ukuran serta fungsi dari barang-barang elektronik yang umumnya mengandung komponen material yang berbeda.

Negara Kanada memiliki regulasi atau peraturan yang mengatur limbah elektronik. Peraturan tersebut dibuat pada tingkat provinsi. Adapun provinsi yang memiliki regulasi tersebut yaitu Alberta, British Columbia, Nova Scotia, Ontario, Saskatchewan. Pada regulasi yang terdapat di negara bagian Ontario, limbah elektronik dibagi menjadi 7 kategori yang mencakup 200 jenis limbah elektronik . Kategori tersebut yaitu *Household Appliances, IT Equipment, Telecommunications equipment, Audio-visual Equipment, Toys, Leisure Equipment and Sports Equipment, Electrical and Electronic tools, Navigational Measuring, Medical Monitoring or Control Equipments* (UNEP, 2017). Tidak semua negara memiliki kebijakan mengenai pengelompokan limbah elektronik atau apa apa saja yang termasuk dalam limbah elektronik. Cina menerapkan ruang lingkup yang lebih kecil yang mencakup lemari es monitor dan TV, mesin cuci dan pendingin udara (Balde et al., 2015). Namun sejak tahun 2015 regulasi mengenai limbah elektronik di Cina juga menambahkan *water heater*, mesin fax

dan telepon, telepon genggam, *printer*, *copier*, dan monitor sebagai alat elektronik (V. Forti et al., 2018)

2.1.2 Komposisi Limbah Elektronik

Limbah elektronik biasanya mengandung bahan yang berharga dan berpotensi beracun. Komposisi *e-waste* sangat bergantung pada faktor-faktor seperti jenis perangkat elektronik, model, pabrikan, tanggal pembuatan, dan usia kepingan (Mmreki, 2016). Limbah elektronik mengandung berbagai macam elemen yaitu 50% besi dan baja; 21% plastik; 13% logam non besi dan 16% konstituen lain (karet, beton dan keramik) (Debnath et al, 2016). Sumber lain mengatakan bahwa Secara umum, WEEE/limbah elektronik terdiri dari logam besi dan non-ferrous, plastik, kaca, kayu dan kayu lapis, sirkuit cetak papan, beton dan keramik, karet dan barang-barang lainnya. Besi dan baja merupakan sekitar 50% dari WEEE/limbah elektronik diikuti oleh plastik (21%), logam non-ferrous (13%) dan komponen lainnya. Limbah elektronik khususnya dengan jenis peralatan IT dan telekomunikasi terdiri dari 63% plastik, 25% logam, 8% logam dan plastik, 4% kaca, dan karet sebesar 0,17% (Lando et al., 2020).

Berbagai jenis logam yang terkandung di dalam limbah elektronik ada yang memiliki nilai ekonomi adapula yang berbahaya bagi lingkungan. Adanya logam seperti timbal, merkuri, arsenik, kadmium, selenium, kromium heksavalen dan penghambat api diluar batas yang diizinkan membuat limbah elektronik diklasifikasikan sebagai bahan berbahaya (Pant et al., 2012). Berikut ini adalah bahan kimia berbahaya yang terkandung pada alat elektronik serta dampak yang ditimbulkannya:

- a. Timbal: digunakan sebagai agen penyolder dan juga digunakan pada monitor kaca CRT, baterai timbal-asam dll., Efek buruk dari paparan timbal termasuk gangguan fungsi kognitif, gangguan perilaku, defisit perhatian, hiperaktif, melakukan masalah dan menurunkan IQ (Singh et al. 2016).
- b. Merkuri (Hg): terdapat dalam lampu *Fluorescent lamps* yang pada pencahayaan latar belakang LCD (Sadah et al, 2015). Logam ini dapat meracuni manusia dan merusak sistem saraf otak, serta menyebabkan cacat bawaan. Selain itu juga berpengaruh terhadap ginjal dan dapat

dengan mudah beredar melalui rantai makanan yang bersifat presisten, bioakumulasi dan toksik yang terpapar karena pembakaran dan presos landfill (Singh et al., 2016)

- c. Arsenik (Ar): logam ini dapat ditemukan pada *microchips*, papan sirkuit, monitor LCD maupun LED. Selain itu, logam arsenik dapat dilepaskan selama proses daur ulang limbah elektronik secara informal (Yang et al, 2020). Logam ini sangat berbahaya bagi Kesehatan dengan paparan jangka panjang (Verma dan Prakash, 2020).
- d. Belerang: Ditemukan dalam baterai timbal-asam. Efek kesehatan termasuk kerusakan pada organ vital seperti hati, ginjal dan jantung dan juga menyebabkan iritasi mata dan tenggorokan. Ketika dilepaskan ke lingkungan, itu meningkatkan masalah hujan asam (Singh et al. 2016).
- e. BFR (*Brominated Flame Retardants*) merupakan campuran bahan kimia buatan yang ditambahkan ke berbagai macam produk, termasuk untuk keperluan industri, agar tidak mudah terbakar. Bahan ini biasanya digunakan dalam plastik, tekstil dan peralatan listrik/elektronik. Produk yang diolah menggunakan BFR apabila dibuang ke lingkungan akan mencemari udara, tanah, dan air. Kontaminan ini kemudian dapat memasuki rantai makanan di mana mereka terutama terjadi pada makanan yang berasal dari hewan, seperti ikan, daging, susu dan produk turunannya (EFSA, 2014).
- f. Kadmium: Ditemukan di resistor peka cahaya, paduan tahan korosi untuk lingkungan laut dan penerbangan, dan baterai nikel kadmium. Bila tidak didaur ulang dengan benar, ia dapat larut ke dalam tanah, merusak mikroorganisme dan mengganggu ekosistem tanah. Kekhawatiran utama pencemaran lingkungan kromium muncul ketika e-waste dibakar untuk mereduksi logam menjadi partikel kecil yang terhirup oleh biota (Varshney et al, 2018)
- g. Kromium heksavalen: Karsinogen yang diketahui setelah paparan inhalasi di tempat kerja. Efek kesehatan di atas menunjukkan bahwa

tindakan pencegahan harus diambil dalam menangani limbah elektronik untuk mengatasi bahaya kesehatan (Singh et al. 2016)

2.1.3 Potensi Ekonomi Limbah Elektronik

Limbah elektronik memiliki potensi nilai ekonomi yang cukup tinggi berdasarkan kandungan logam yang dapat diperbaiki dan bernilai secara ekonomi. Logam-logam berharga yang terdapat di dalam limbah elektronik yaitu emas (Au), perak (Ag), Paladium (Pd), Platinum (Pt) serta logam lainnya yang membuat daur ulang limbah elektronik memiliki nilai dari segi ekonomi (Khaliq et al, 2014). Nilai pertukaran logam di London adalah sebesar US\$ 6,45/kg Cu, US\$ 2020/kg Ag, US\$ 66.500/kg Au, US\$ 2.184/kg Pd dan US\$ 974/kg Pt. Berdasarkan nilai tersebut, Indonesia berpotensi untuk menghasilkan 1,8 miliar US\$, dimana pada kenyataannya hanya 5% limbah elektronik yang di daur ulang sehingga Indonesia hanya memperoleh sebesar 93.787.009 US\$ dari logam berharga yang ada pada limbah elektronik (Mairizal et al, 2021)

Komponen selain logam dalam limbah elektronik juga memiliki nilai jual, seperti plastik, kaca, besi dan baja. Nilai ekonomi pada daur ulang limbah elektronik dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Harga Material yang terdapat dalam Limbah Elektronik

No.	Kategori	Nilai Jual (Rp/Kg)
1.	Plastik	Rp. 1.300
2.	Logam	Rp. 13.0000
3.	Komponen Elektronik	Rp. 30.0000
4.	Kaca	Rp. 4.500
5.	Besi	Rp. 2.000

Sumber : Rahmadani, 2019

2.1.4 Metode Perhitungan Limbah Elektronik

Metode untuk mengetahui timbulan limbah elektronik secara umum dibagi menjadi empat metode, yaitu *Disposal Related Analysis*, *Time Series Analysis*, *Factor Models* dan *Input-Output Analysis* (Santoso et al., 2019). Metode yang sering digunakan yaitu *Input Output Analysis*. Metode ini secara

kuantitatif mengevaluasi sumber, aliran, serta tempat penampungan akhir dari limbah elektronik. Terdapat beberapa variasi dari metode Input-Output ini, yaitu (F. Wang et al., 2013):

1) *Time Step Model*

Pada metode ini, perubahan stok dalam suatu periode pada sistem sama dengan perbedaan antara total arus masuk dan arus keluar. Metode ini dapat digambarkan dalam persamaan berikut :

$$W(n) = POM(n) - [S(n) - S(n - 1)] \dots\dots\dots(2.1)$$

$W(n)$ merupakan timbulan limbah elektronik pada tahun n , $POM(n)$ merupakan jumlah produk yang terjual pada tahun n , sementara $S(n)$ dan $S(n-1)$ adalah jumlah stok barang elektronik pada tahun berturut-turut n dan $n-1$.

2) *Market Supply Model*

Metode ini memperkirakan timbulan limbah elektronik pada tahun-tahun sebelumnya dengan tingkat keusangannya masing-masing pada tahun yang dievaluasi. Persamaan matematika dari metode ini yaitu :

$$W(n) = \sum_{t=t_0}^n POM(t) \cdot L^{(p)}(t, n) \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana $POM(t)$ merupakan produk elektronik yang terjual pada tahun-tahun terdahulu t ; t_0 merupakan tahun awal pada saat produk elektronik pernah berada dipasaran.

3) *Stock and Lifespan Model*

Metode ini mengkombinasikan stok produk data secara *time series* dengan masa pakai produk untuk menentukan timbulan limbah elektronik. Persamaan dari metode ini untuk menghitung timbulan limbah elektronik pada tahun awal (t_0) dapat dilihat pada persamaan 2.3

$$W(t_0) = POM(t_0) - S(t_0) = POM(t_0) \cdot L^{(p)}(t_0, t_0) \dots\dots\dots(2.3)$$

4) *Leaching Model*

Pada metode ini menghitung limbah elektronik sebagai persentase tetap dari total stok dibagi dengan rata-rata umur produk. Persamaan matematika dari metode ini yaitu:

$$W(n) = S(n)/L^{(p)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Selain beberapa metode yang telah disebutkan, terdapat metode lain dalam menghitung timbulan limbah elektronik, yaitu *Sales Method* (Bogar et al., 2019), *Simple Delay Method*, *Mass Ballance Method*, *Approximation method*, *Consumption and use* (Ikhlayel, 2016), serta *Material Flow Analysis*, *Econometric Analysis*, dan *Questionnaire Based Survey* (Yedla & Kapoor, 2011). Metode *Counsumption and Use* merupakan metode yang paling umum digunakan pada negara-negara berkembang karena keterbatasan data (Ikhlayel, 2016).

2.2 Peraturan tentang Limbah Elektronik

Peraturan mengenai limbah elektronik bermula dari kasus adanya pencemaran limbah B3 yang terjadi di Laut Khian pada tahun 1986 dan di Nigeria. Kasus pencemaran tersebut muncul akibat terjadinya aliran limbah B3 dari negara maju ke negara berkembang. Berdasarkan kasus tersebut, Amerika Serikat Bersama 186 negara lainnya pada Konvensi Basel membahas mengenai limbah berbahaya dengan topik bahasan “*Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal*” yang menjadi awal dibahasnya limbah elektronik pada Konvensi Basel (Wahyono, 2012).

Peraturan tentang limbah elektronik dibuat sebagai dasar pengelolaan limbah elektronik. Hingga tahun 2019, terdapat 78 negara yang sudah memiliki regulasi yang mengenai limbah elektronik, jumlah ini meningkat dari tahun sebelumnya (2018) yaitu total yang telah memiliki regulasi sebanyak 66 negara (Tiseo, 2020). Beberapa negara diantaranya yaitu, negara-negara Uni Eropa, Britania Raya, dan Amerika Serikat, New Zealand, Australia, serta beberapa negara di Asia seperti Cina, India, Jepang, Korea Selatan, Taiwan, dan Singapura (Patil dan Ramakrishna, 2020).

Negara berkembang umumnya belum memiliki peraturan yang secara spesifik membahas mengenai limbah elektronik, sehingga menyebabkan sulitnya pendataan mengenai jumlah maupun alur limbah elektronik yang dapat terjadi secara luas dikarenakan adanya kegiatan ekspor-impor limbah elektronik. Hal ini dapat mempersulit sebuah negara dalam merancang pengelolaan limbah elektronik yang tepat. kegiatan ekspor-impor limbah

elektronik dilarang dalam Konvensi Basel, Konvensi Stokholm dan juga UU No. 32 tahun 2009. Walaupun kegiatan tersebut dilarang, namun masih saja terjadi karena kurang ketatnya pengawasan. Kegiatan ekspor-impor limbah elektronik misalnya terjadi di Kawasan Industri di Jawa Timur, Batam dan Pare-pare (Wahyono, 2012).

2.3 Pihak yang Berperan dalam Pengelolaan Sampah Elektronik

a. Jasa Perbaikan Produk Elektronik

Jasa perbaikan produk elektronik umumnya menggunakan keterampilan dan pengetahuan yang mereka miliki untuk memperbaiki produk elektronik. Layanan perbaikan alat elektronik ini dipilih untuk memperpanjang masa pakai dari produk elektronik. Reparasi produk elektronik selain memperbaiki juga mengambil bagian dalam komponen dari produk elektronik yang telah rusak dan akan digunakan dalam produk serupa. Selain itu, jasa perbaikan juga akan datang ke kolektor untuk mencari komponen elektronik sebagai pilihan kedua jika harga komponen ini mahal (Rimantho et al., 2019). Pada jasa perbaikan ini juga dihasilkan limbah elektronik yang berasal dari komponen barang elektronik yang sudah tidak dapat digunakan lagi. Pada dua kecamatan di Kota Yogyakarta, rata-rata limbah elektronik yang dihasilkan dari jasa perbaikan telepon seluler yaitu 2,03 kg/hari. Limbah elektronik dari jasa perbaikan telepon seluler tersebut sebagian besar berupa LCD, papan sirkuit, dan baterai yang merupakan limbah B3 (Rezki, 2019). Sedangkan untuk jasa perbaikan laptop dan komputer perlakuan terhadap limbah elektronik yang dihasilkan yaitu 45,21% disimpan jasa perbaikan dan 54,79% dibawa oleh konsumen (Tulus, 2019).

b. Jasa Pengumpul Barang Bekas (Elektronik)

Pengumpul merupakan pihak pertama yang memiliki peran dalam mengelola limbah elektronik. Para pengumpul ini biasanya bekerja untuk mencari barang bekas yang di dalamnya termasuk limbah elektronik dari rumah ke rumah. Setelah mengumpulkan barang bekas tersebut, kondisi dari limbah elektronik akan diperiksa. Apabila masih dalam kondisi baik, maka akan dipisahkan dan dikumpulkan untuk

dijual kepada jasa perbaikan atau kolektor yang menerima barang elektronik. Limbah elektronik yang kondisinya benar-benar rusak akan dibongkar untuk diambil komponen yang masih berfungsi atau mengambil material lain yang masih memiliki nilai ekonomis. Misalnya, kaca di televisi yang akan dibongkar dan dipisahkan kemudian akan dijual kepada para kolektor. Begitu juga untuk kabel dalam produk elektronik yang hanya akan digunakan untuk tembaga atau logam kuningan. Tidak semua produk dijual ke pengepul karena ada beberapa yang tidak memiliki nilai jual sama sekali sehingga menjadi residu dan dibuang di TPA (Rimantho et al., 2019).

- c. Para pengepul menerima produk elektronik yang telah rusak baik langsung dari masyarakat maupun dari para pengumpul. Secara umum, perlakuan produk elektronik pada pengumpul tidak jauh berbeda dengan apa yang dilakukan pada pengumpul. Mereka akan membongkar produk elektronik ini untuk mengambil bahan yang masih memiliki nilai jual. Selain itu, tidak semua material memiliki nilai ekonomi dan dapat dijual pada tingkat pengepul besar. Bahan yang tidak memiliki nilai jual akan dibuang di tempat sampah dan kemudian akan dibawa ke TPA (Rimantho et al., 2019). Pengepul berperan dalam pengelolaan limbah elektronik, dibuktikan bahwa 23% masyarakat Surabaya Utara memilih untuk menjual barang elektronik bekasnya ke pengepul (Jayanti & Mirwan, 2018)
- d. Pihak terakhir yang juga berperan dalam pengelolaan limbah elektronika adalah pabrik. Pabrik ini akan menerima material-material yang akan dilebur menjadi bahan baku lagi dan dijual ke produsen untuk diolah menjadi komponen produk elektronik. Misalnya, body produk elektronik terbuat dari plastik dan diperoleh dari pengepul akan digabung dengan jenis plastik yang sama dan kemudian diolah menjadi biji plastik. Selanjutnya, biji plastik akan dijual ke pabrik lainnya untuk dicetak menjadi produk baru. Namun, dalam penelitian ini hanya terbatas atau dihitung aliran bahan untuk produk elektronik dari rumah tangga ke tempat pembuangan akhir (Rimantho et al., 2019).