

**PENGELOLAAN DAN DAUR ULANG
LIMBAH ELEKTRONIK**

TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Diajukan Oleh:

**REZEKI JUANDA PUTRA
NIM. 140702026
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2020 M / 1442 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGELOLAAN DAN DAUR ULANG LIMBAH ELEKTRONIK

TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Sesuai dengan Keputusan Rektor Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh Nomor 14 Tahun 2020 tentang Pedoman Pelaksanaan Penyelesaian Tugas Akhir Mahasiswa Strata (S-1) Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh pada Masa Tanggap Darurat Corona Virus Disease 2019 (Covid-19)

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh

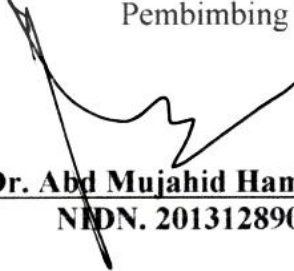
REZEKI JUANDA PUTRA

NIM. 140702026

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Disetujui Oleh:

Pembimbing I


Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
NIDN. 2013128901

Pembimbing II


Sri Wahyuni, M.T
NIDN. 2027058901

LEMBAR PENGESAHAN

PENGELOLAAN DAN DAUR ULANG LIMBAH ELEKTRONIK

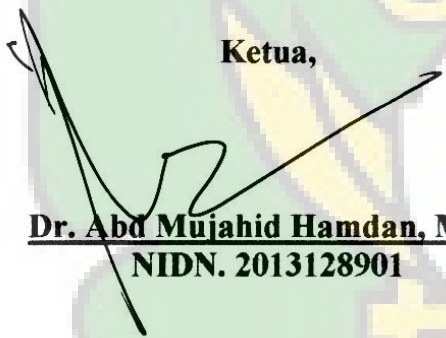
TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

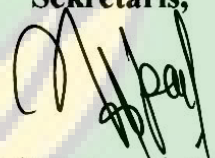
Pada Hari/Tanggal: Jum'at, 28 Agustus 2020
9 Muharam 1442 H

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir Terjemahan Artikel Jurnal Ilmiah

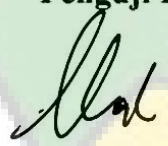
Ketua,


Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
NIDN. 2013128901

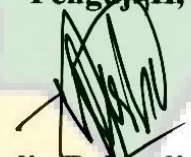
Sekretaris,


Sri Wahyuni, M.T
NIDN. 2027058901

Penguji I,


Malahayati, M.T
NIDN. 2027018303

Penguji II,


Aulia Rohendi, M.Sc.
NIDN. 2010048202

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh




Dr. Azhar Amsal, M.Pd
NIDN. 2001066802

**LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR TERJEMAHAN
ARTIKEL JURNAL ILMIAH**

Nama : Rezeki Juanda Putra
NIM : 140702026
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry
Banda Aceh
Judul Artikel : Management And Recycling Of Electronic Waste.
Judul Terjemahan : Pengelolaan dan Daur Ulang Limbah Elektronik

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan Terjemahan Artikel Jurnal Ilmiah ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 28 Agustus 2020

Yang menyatakan,



Rezeki Juanda Putra

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat Qudrah dan Iradah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pengganti Skripsi yaitu menerjemah jurnal berbahasa Inggris ke bahasa Indonesia dengan judul Artikel Ilmiah “Pengelolaan dan Daur Ulang Limbah Elektronik”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana pada Program Studi Strata-1 Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Perjalanan panjang telah penulis tempuh dalam rangka menyelesaikan Tugas Akhir ini, penyelesaian Skripsi mengalami kendala karena pandemi Virus Corona atau Covid-19. Namun berdasarkan keputusan Rektor UIN Ar-Raniry No. 14 Tahun 2020 tentang pedoman pelaksanaan penyelesaian Tugas Akhir mahasiswa Strata satu (S-1) Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh pada masa tanggap darurat Covid-19. Maka penulis mengambil pilihan untuk menerjemahkan Artikel Ilmiah.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis menerima banyak sekali bantuan, dukungan, kritik, saran dan doa, sehingga Tugas Akhir ini berhasil diselesaikan. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, pada kesempatan ini patutlah kiranya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, yang senantiasa memberikan doa dan dukungan selama penyelesaian Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Abdullah Mujahid Hamdan, M.Sc. Selaku Pembimbing I, yang telah berkenan memberikan motivasi dan solusi pada setiap kesulitan dalam penulisan Tugas Akhir.
3. Ibu Sri Wahyuni, M.T Selaku Pembimbing II, yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap permasalahan Tugas Akhir.
4. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si. Selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan.
5. Ibu Yeggi Darnas, S.T. M.T. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, juga dosen pengampu bidang TLPB3 yang telah berkenan memberikan ilmu dan arahan.

6. Ibu Zuraida, M.Si dan Ibu Eriawati, S.Pd.I, M.Pd. Selaku dosen wali yang telah banyak memberikan arahan, motivasi dan dukungan selama masa perkuliahan.
7. Ibu Husnawati Yahya S.Si., M.Sc. selaku dosen yang telah membimbing dalam pembuatan proposal penelitian sebelumnya.
8. Seluruh Dosen Prodi Teknik Lingkungan yang telah memberikan dan membagi ilmunya kepada penulis.
9. Teman-teman seperjuangan di Teknik Lingkungan yang selalu memberikan dorongan semangat serta motivasi.

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan limpahan berkah dan rahmat-Nya. Semoga penulisan ini bermanfaat untuk pengembangan keilmuan dan pengetahuan di masa depan.

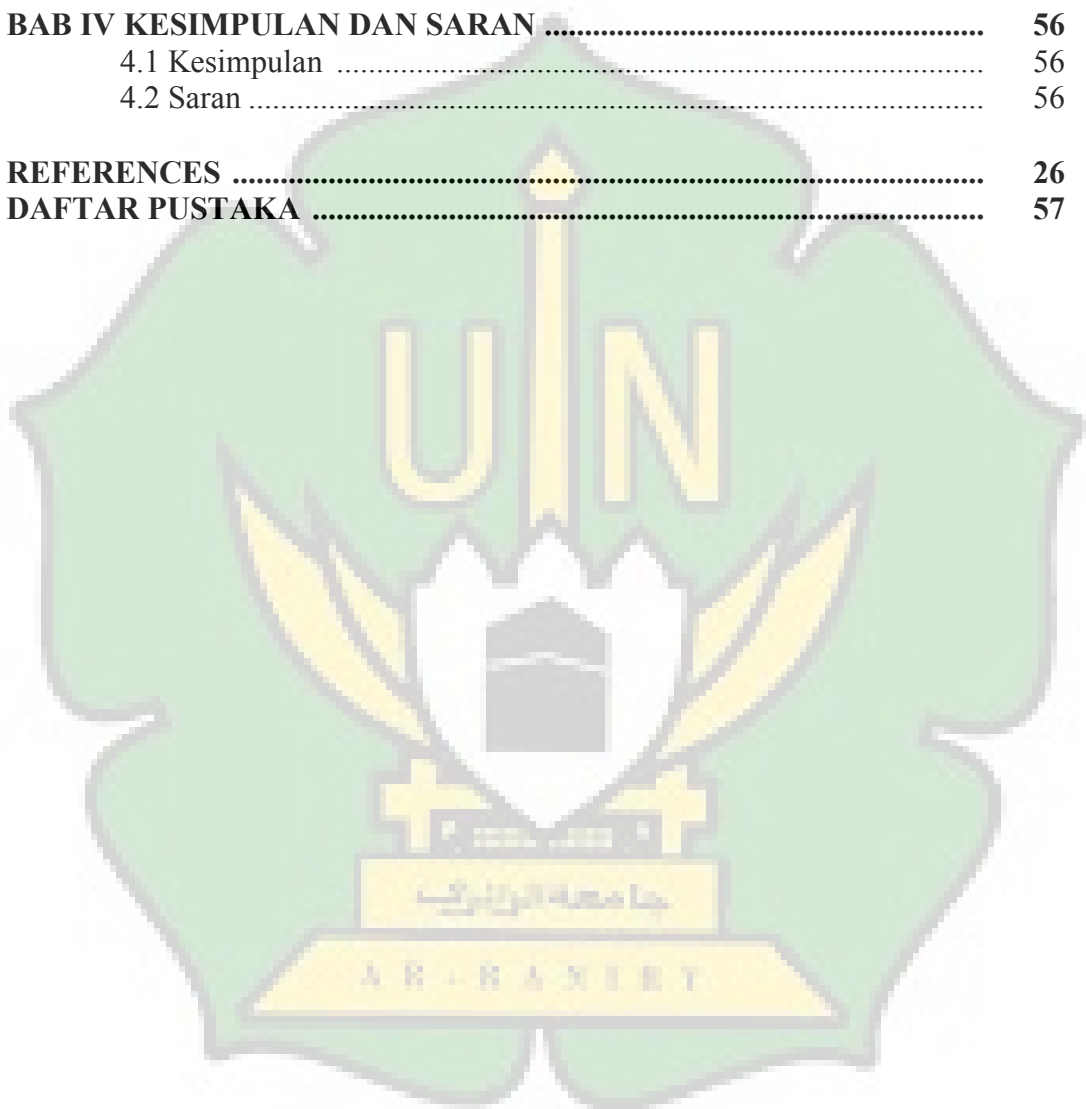
Banda Aceh, 15 Agustus 2020
Penulis,

Rezeki Juanda Putra

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH	iii
KATA PENGATAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xi
 BAB I ARTIKEL ASLI: <i>Management and Recyling Electronic Waste</i>	 1
1. Electronic Waste.....	1
1.1 Electronics waste definition and composition.....	1
1.2 Product lifetime and end of life	5
2. Electronic Waste Policies	8
2.1 Legislation	9
2.2 Policy Mechanisms	10
3. Management And Recycling Of Electronics Waste	11
3.1 Collection network and infrastructure	14
3.1.1 Collection of mobile phones.....	15
3.2 Recycling industry-technical processes for recycling E - waste	17
3.3. Raising awareness: the consumer's role in recycling	20
3.3.1 Recycling campaigns for mobile phones.....	22
4. Conclusions	24
 BAB II TERJEMAHAN ARTIKEL: <i>Pengelolaan dan Daur Ulang Limbah Elektronik</i>	 28
1. Limbah Elektronik	29
1.1 Definisi dan komposisi limbah elektronik.....	29
1.2 Masa Pakai Produk Dan Akhir Masa Pakai.....	32
2. Kebijakan Limbah Elektronik	35
2.1 Legislasi	36
2.2 Mekanisme Kebijakan	37
3. Pengelolaan Dan Daur Ulang Limbah Elektronik.....	39
3.1 Jaringan dan Infrastruktur Pengumpulan	41
3.1.1 Pengumpulan Ponsel.....	42
3.2 Daur Ulang Proses Teknis Industri Untuk Daur Ulang Limbah Elektronik.....	44
3.3 Meningkatkan Kesadaran: Peran Konsumen Dalam Daur Ulang.....	47
3.3.1 Kampanye Daur Ulang Untuk Ponsel.....	50
4. Kesimpulan	52

BAB III PEMBAHASAN	53
3.1 Data Jurnal dan Data Artikel	53
3.1.1 Identitas Jurnal Ilmiah	53
3.1.2 Identitas Artikel Ilmiah	53
3.2 <i>State Of The Art</i>	54
3.3 Kelemahan/Keterbatasan dari Penelitian	55
3.4 Kelebihan/Keunggulan dari Penelitian	55
3.4 Dampak Penelitian	55
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	56
4.1 Kesimpulan	56
4.2 Saran	56
REFERENCES	26
DAFTAR PUSTAKA	57



DAFTAR GAMBAR

Fig. 1	Example of the material content of a mobile phone in wt.% (Nokia)	7
Fig. 2	Different options for a product's life cycle and after it has reached the end of it life.....	9
Fig. 3	Results from a global study, in both developing and developed markets, of what people have done with their previous mobile phones [10].	10
Fig. 4	The three steps in the total recycling process with related product end-of-life processes and economic impacts [12].	14
Fig. 5	Recycling bins for mobile phones, size 350 mm × 350 mm × 1000 mm (Nokia).	18
Fig. 6	Example of a recycling envelope for mobile phones, distributed in post offices in Finland (Nokia)	18
Fig. 7	Process flow during the pre-treatment of e-waste (modified from Ref. [9])	21
Fig. 8	Statistics on recycling quota of mobile phones in 11 countries (Nokia Corporation [10]).	25
Fig. 9	Mean number of different items from a list with 11 items that are being recycled according to consumer surveys in the various countries (Nokia Corporation [10]).	25
Gambar 1	Contoh isi materi telepon genggam / wt.% (Nokia).	33
Gambar 2	Pilihan yang berbeda untuk siklus hidup produk dan setelah mencapai akhir hidupnya	35
Gambar 3	Hasil dari studi global, di pasar berkembang dan maju, tentang apa dilakukan orang dengan ponsel mereka sebelumnya (Perusahaan Nokia).	36
Gambar 4	Tiga langkah dalam proses daur ulang total dengan proses akhir masa pakai produk terkait dan dampak ekonomi (Tanskanen P, 2006)	40
Gambar 5	Tempat sampah daur ulang untuk ponsel, ukuran 350 mm 350 mm 1000 mm (Nokia).....	45
Gambar 6	Contoh amplop daur ulang untuk ponsel, di distribusikan di kantor pos di Finlandia (Nokia).	45
Gambar 7	Alur proses selama pengolahan awal limbah elektronik (dimodifikasi dari Ref. [9]).	47
Gambar 8	Statistik tentang kuota daur ulang ponsel di 11 negara (Perusahaan Nokia).	50
Gambar 9	Rata-rata jumlah item berbeda dari daftar dengan 11 item yang didaur ulang menurut survei konsumen di berbagai negara (Perusahaan Nokia)	51

DAFTAR TABEL

Table 1	Tonnages of WEEE collected and recycled in the UK (ICER 2000) [8].	6
Tabel 1	LPLE yang dikumpulkan dan didaur ulang di Inggris / Ton (DIDUPE 2000).....	32
Tabel 3.1	Tabel State of the art	54



DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment Directive
LPLE	Limbah peralatan listrik dan elektronik
PROs	Producer Responsibility Organizations
OTP	Organisasi Tanggung Jawab Produsen
EPR	Extended producer responsibility
TJP	Tanggung Jawab Produsen yang Diperluas
ICER	Industry Council for Electronic Equipment Recycling
DIDUPE	Dewan Industri untuk Daur Ulang Peralatan Elektronik
UE	Uni Eropa
AS	Amerika Serikat
UK	United Kingdom (Britania Raya)



BAB I
ARTIKEL ASLI

Management and Recycling Electronic Waste

Nokia Corporation, Keilalahdentie 2-4, Espoo 02150, Finland

ABSTRACT

Waste electrical and electronic equipment (WEEE) is one of the largest growing waste streams globally. Hence, for a sustainable environment and the economic recovery of valuable material for reuse, the efficient recycling of electronic scrap has been rendered indispensable, and must still be regarded as a major challenge for today's society. In contrast to the well-established recycling of metallic scrap, it is much more complicated to recycle electronics products which have reached the end of their life as they contain many different types of material types integrated into each other. As illustrated primarily for the recycling of mobile phones, the efficient recycling of WEEE is not only a challenge for the recycling industry; it is also often a question of as-yet insufficient collection infrastructures and poor collection efficiencies, and a considerable lack of the consumer's awareness for the potential of recycling electronics for the benefit of the environment, as well as for savings in energy and raw materials.

Keywords: Recycling; E-waste; WEEE

1. Electronics waste

1.1 Electronics waste definition and composition

Over the last two decades, the amount of consumer and business electronic equipment has increased continuously. At the same time, rapid changes in information and communication technologies, the concomitant increasing versatility of most electronic devices together with the downward trend in prices have led to a drastically reduced lifespan for most electronic equipment. This holds true even though some electronic devices, e.g. mobile phones, may have several owners

during their lifespan prior to being discarded. In 2008, the number of personal computers had already surpassed 1 billion, the overwhelming majority of which have already reached the end of their life, or will reach it soon [1]. In consequence, there is an extremely rapidly growing amount of electronic products which have reached the end of their life, resulting in huge quantities of electronic waste (e-waste, or waste electrical and electronic equipment (WEEE)). Currently there is no clear definition for the term e-waste or when a product becomes waste. A Directive of the EU [2,3] defines e-waste as obsolete equipment that is dependent on electric currents or electromagnetic fields to work properly and equipment for the generation, transfer and measurement of such current. According to Pongra'cz et al. [5], any definition of e-waste needs to consider the aspects of both the product becoming obsolete and the decision of its owner to turn it into waste: electronic products become waste at the time and place when their structure and state are no longer capable of providing the expected performance with respect to the purpose assigned by their owners. The reasons why an electronic product is no longer able to perform with respect to the intended purpose can be manifold: it may simply be no longer functional because of being damaged; or its technology and design may no longer be state of the art or trendy [5]. Fortunately, what is considered waste by the user is often regarded as profitable by the recycling industry, which can recover the valuable materials contained therein and sell them for reuse as secondary raw materials in new products.

The amount of e-waste that is being generated in the USA and in the EU, as well as in developing countries, has increased significantly over the last 10 years. According to the US Environmental Protection Agency [1], on average, each household in the USA uses 34 electronic devices and electrical appliances, resulting in more than 5×10^6 t of e-waste annually. For the EU, it was estimated that, on average, each citizen contributes about 15 kg of e-waste annually, to give an estimated total of 7×10^6 t [1]. Thus, WEEE constitutes one of the fastest growing waste streams,

already accounting for about 8% of municipal waste [6]. In developing markets, like China and India, e-waste production per capita is still only about 1 kg year^{-1} [6], but this is increasing rapidly. In view of the huge population, the total e-waste generated in these two countries will surmount that produced in the western countries quite soon. In addition, the amount of e-waste in the newly industrialized and developing countries is also growing because of the import of e-waste from developed countries. Some studies show that up to 50–80% of the e-waste that has been generated in developed markets is being shipped to developing countries for reuse and recycling [6], often in violation of international laws [7].

As part of the WEEE, certain components of some electronic products contain hazardous substances, e.g. mercury and cadmium, which are harmful to the environment if inadequately treated and disposed of; others contain valuable materials which can be profitable if recovered. Thus, in order to cope with the huge and steadily increasing amounts of e-waste, sustainable recycling and reclamation of material and components for reuse have become major issues globally from both the ecological and economical points of view. Nevertheless, hitherto, even in the industrialized countries, depending on the product category, only a small fraction of e-waste is recycled, the overwhelming part being disposed of in landfills and through incineration. As precise statistics are scarce, data from a report by the Industry Council for Electronic Equipment Recycling (ICER) may serve as an illustration (Table 1) [8]:

The table reveals that the collection quota and related recycling quota for large-sized household appliances and TV sets is rather high whereas the recycling quota for small-sized electronic entertainment equipment is extremely low, i.e. only 4%. According to the same report [8], in 1998 the low collection and recycling quota resulted in an estimated loss of metals and other materials of:

- $2.4 \times 10^6 \text{ t}$ of ferrous metals,

- 0.652×10^6 t of copper,

Table 1

Tonnages of WEEE collected and recycled in the UK (ICER 2000) [8].

Type of WEEE	Arising	Collected	% Recycled
Television sets	8000	4000	50
Video/sound	72,000	3200	4
IT/computers	357,000	94,600	26
Large household appliances	392,000	345,300	88

- 0.336×10^6 t of aluminum,
- 0.336×10^6 t of glass and
- 1.2×10^6 t of plastic

not accounting for the losses of precious and rare earth metals.

The composition of e-waste varies from product type to another one, and even within the same product category there are differences in the material composition [4]. This is illustrated by means of the recycling issues of mobile phones. A mobile phone can have either plastic or metal cover parts but similar inner parts which are necessary for its functionality, e.g. the display, the printed wiring board and the rechargeable battery. An example of the material content of a mobile phone is shown in Fig. 1. Precious metals and rare earth metals are present in too low quantities (about 0.1 wt.%) for being displayed in Fig. 1.

When the whole WEEE group is being considered, the material composition is different compared to that of just mobile phones. Together, ferrous metals (iron/steel) represent the most abundant material group, accounting for about half of the materials. The next most abundant groups are plastics (21%) and non-ferrous metals (13%) [6]. It should be noted that these values may vary significantly with the particular product sample under consideration. As a general trend, the ferrous metal content has always been the largest fraction of e-waste, whereas the amount of copper, precious metals and pollutants has decreased [6].

1.2. Product lifetime and end of life

Recycling of WEEE can be profitable when the contained materials are recovered in the recycling process. However, there are huge differences between different types of products and, accordingly, the economic value of the waste depends heavily on the type of the equipment to be recycled.

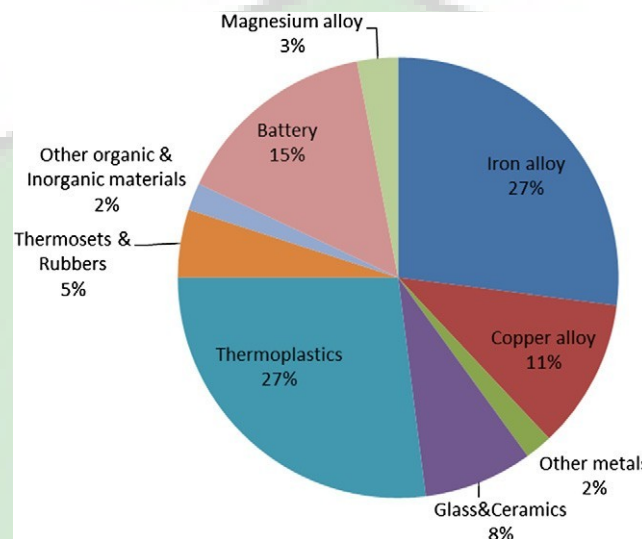


Fig. 1. Example of the material content of a mobile phone in wt.% (Nokia).

For instance, recycling of a mobile phone is much more profitable than that of a hairdryer, which contains less valuable materials to be recovered.

As shown in Section 1.1, e-waste contains relatively high amounts of valuable materials, such as ferrous metals, aluminum and copper, which can be recycled and reused in new products. E - waste also contains precious metals, which have wide applications as contact materials, as well as scarce materials such as indium, gallium and rare earth metals, e.g. neodymium. These metals are present in only very low quantities; for example, in a mobile phone the content of such materials is about 0.15 wt.%, making their recovery difficult. The recycling processes also need to be economically sustainable, meaning that the separation and recovery of the various materials are done only if they can profitably be sold as secondary material for the reuse in new products. Of course, rising market prices and restricted availability, e.g. of rare earth metals, are major driving forces

for the recovery of secondary metals and the development of efficient recycling processes.

Certain components of some electronic products contain hazardous substances, which can be harmful to the environment if inadequately treated and disposed of. Studies show that 70% of the mercury and cadmium in US landfills comes from e-waste [9]. Even though these substances are no longer being used in most of the more recent electronic products, the older products which reach the end of their life may continue to contaminate the environment if dumped into landfills. Uncontrolled e-waste processing, such as open air burning, may also cause negative impacts on the surrounding environment and the people handling the waste.

All electronic and electrical equipment sold in a market will eventually become obsolete and will need to undergo an appropriate recycling process in order to recover the embedded resources for reuse in new products, thus helping to avoid virgin resource extraction and resource depletion, and rendering significant energy savings. In order to slow down the increasing rate of the generation of WEEE, the credo for managing e-waste has become: Reduce (convergence – fewer products to begin with, maintenance) – Reuse (through donating or selling for further use, repair) – Recycle (products which no longer perform for any reason).

Fig. 2 illustrates the different options for the life cycle of typical electronic equipment, such as computers and mobile phones, once they have reached the end of their life. In each of the options there are also possible bad practices associated with them; for example, recycling at the end of their life can be done properly or improperly. During its lifetime, an electronic product can have many different users, as frequently it will be sold or passed on as a donation for further use. Sometimes there are maintenance or repair steps included in that reuse phase. Selling of the used product can occur directly, e.g. through internet sales channels, or indirectly, through companies that are specialized in selling used electronics.

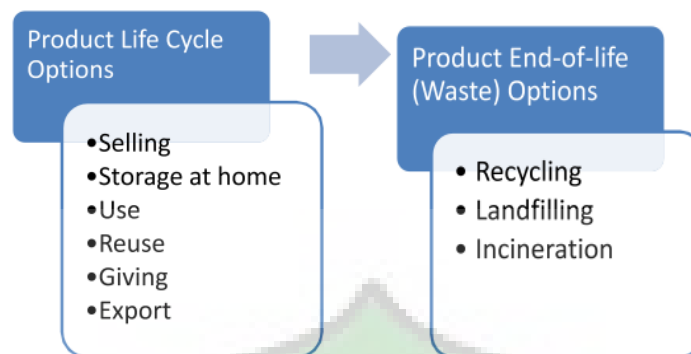


Fig. 2. Different options for a product's life cycle and after it has reached the end of its life.

However, many discarded electronic devices, in particular the smaller sized ones, e.g. mobile phones, laptops and entertainment electronics (cf. Table 1), are kept at home as spare devices, for nostalgic reasons or because the consumer overestimates their residual value and, hence, is not willing to give it away for reuse or recycling. As today's technological innovations come thick and fast, electronic products which are no longer state-of-the-art usually experience an immediate loss in their resale value [9]. Fig. 3 illustrates some recent statistics on the whereabouts of mobile phones after they have been discarded by their original owners [10]. In developed countries ~40% of discarded mobile phones are still kept as spares, and only ~12% are collected or returned for recycling.

The uncontrolled and often illegal export of used equipment to developing countries with non-existent or uncontrolled recycling practices is a concern. With the increasing availability and use of electronic equipment in developing countries, the amount of WEEE will increase in parallel in these countries regardless of the desirable (from an ecological point of view) stopping of illegal imports of electronic scrap. In consequence, there is an emerging need to set up adequate recycling infrastructures in these countries. When a product finally becomes waste and can no longer be used for its original purpose, there are two possible routes for it: recycling and recovery of the contained valuable materials, which is the preferred route, or landfilling or incineration, a route that should be avoided as far as possible for a sustainable environment and society.

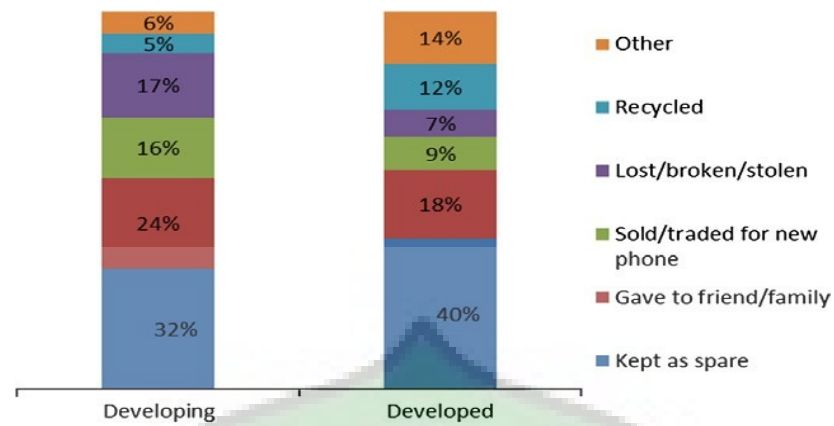


Fig. 3. Results from a global study, in both developing and developed markets, of what people have done with their previous mobile phones [10].

By definition recycling means processing of waste (i.e unwanted or useless materials) back to the material cycle so that contamination of the environment is minimized. In essence, adequate recycling allows the economic recovery of valuable materials as a source for secondary material supply and for reuse in new products. This leads to a reduction in the consumption of primary raw materials; it also leads to significant savings in energy, and helps to reduce air pollution and greenhouse gas emissions (from incineration), as well as water pollution (from land filling). The efficient collection and recycling of products made of only one material type, such as newspapers, glass or plastic bottles, or metallic tools and structures, has already become a well-established practice in many countries. Similar efficient collection and recycling practices still need to be established for electronics waste.

2. Electronics Waste Policies

The amount of household waste and e-waste is increasing globally, creating the need to find models for national waste management. Appropriate management of e-waste is being debated by many different stakeholder groups around the world, including international organizations, governments, academia, industry and non-governmental organizations (NGOs). The main reason for this is the concern that e-waste is causing health and environmental problems in developing countries. The problems are mainly caused by unsafe and environmentally risky

processes and bad or unprofessional practices applied by the informal sector when trying to extract the valuable metal content from the different end-of-life products.

The overall target when planning a national e-waste management policy must be the creation of a sustainable recycling society. This involves setting up robust models and infrastructures for collection and recycling, as well as efforts to raise awareness and facilitate changes in the behavior of the consumer. All the new practices will need time to develop, and the solutions will become more visible as recycling becomes everyday practice and products come back for recycling in much larger quantities

2.1 Legislation

EU legislation restricting the use of hazardous substances in electrical and electronic equipment (Directive 2002/95/EC, the RoHS Directive) and WEEE, and promoting the collection and recycling of such equipment (Directive 2002/96/EC), has been in force since February 2003 [2]. Similar legislation is in force or under development in many countries around the world. Collection schemes where consumers may return their used e-waste free of charge were therefore created in European countries. The objective of these schemes is to increase the recycling and/or reuse of such products. The RoHS Directive requires heavy metals, such as lead, mercury, cadmium and hexavalent chromium, and flame retardants, such as polybrominated biphenyls or polybrominated diphenyl ethers, to be substituted by less hazardous alternatives in electronics products [11].

Despite such regulations on collection and recycling, only one-third of electrical and electronic waste in the EU is reported as being collected separately and treated appropriately. A part of the other two-thirds is potentially still going to landfills and to sub-standard treatment sites in or outside the EU, often via illegal exports [11].

In European countries, as for other waste streams, such as packaging materials, batteries and wrecked cars, producer responsibility legislation is in place for electronic scrap (the WEEE Directive). With the objective of achieving

higher efficiencies and related cost-savings, certain producer responsibility organizations (PROs) have been set up to specifically manage and comply with the imposed responsibilities on behalf of several manufacturers of electronic equipment. Apart from the EU and some states in the US, similar legislation for e-waste or substance restrictions is either in force or at different stages of implementation in, for example, Canada, China, South Africa, Mexico, Argentina, Chile, Colombia, Ecuador, Morocco, Algeria, Tunis, Turkey, Saudi Arabia, Australia, New Zealand, Vietnam, Thailand and Indonesia.

2.2 Policy Mechanisms

In order to solve “the e-waste problem”, over the past decade many countries have adopted extended producer responsibility (EPR) regulations. EPR requires “producers” of electrical and electronic equipment to take back and recycle their products once these have reached the end of their life.

EPR builds on the assumption that, when a producer is made responsible for the costs of dealing with the product as waste, the producer will have incentives to design the product in such a way that these costs are minimized. When put into practice, this should mean that the producer pays only for costs related to his own product, i.e. individual producer responsibility (producer responsibility is called “individual” when each producer pays only for the recycling of its own products and is called “collective” when producers share all end-of-life costs).

Currently, many different models are applied for financing the particular costs in the recycling chain, with regard to what is to be financed, how to assess the costs for the different product categories and the resulting share for the different manufacturers which are participating in the same collection scheme but are manufacturing different kind of electronics products. Usually the setting up of collection systems is most effective if it is organized in a collective manner, meaning that many producers together share the same collection system and the associated costs. This is typically achieved in Europe by setting up PROs.

Different stakeholders are involved and have to play specific roles in the total recycling process, ranging from the collection of obsolete products to the final disposal of non-recyclable components in landfills. It is therefore necessary to ensure that they all participate in the e-waste management system in order to follow a strategy that optimizes the collection efficiency, maximizes the recovery of the contained valuable materials and minimizes the amount of material which has to be disposed of. In this context, it is not sufficient to confine the responsibility only to the producer, as retailers and sellers, governments and local authorities, end-users (be they organizations or individuals) and the recycling industry are all involved, and in a position to act and influence the effectiveness of the recycling system. In order to be able to develop an efficient and sustainable solution, financing and cost-sharing has to be agreed between all relevant actors. All stakeholders, from governments to consumers and NGOs, have their role in ensuring that recycling of WEEE can happen in a way that is sustainable, cost-efficient, accessible and fair to all.

3. Management And Recycling Of Electronics Waste

The product end-of-life process can be divided into different sub-processes that all aim at recovery of the material and energy content of obsolete products. Optimization of the whole value chain is important in order to achieve the best result for both the environment and the economy. This means that a system perspective needs to be taken into account when working to improve the parts of the recycling process as all phases have an impact on the others. To increase the e-waste recycling efficiency, not all the recycling challenges are technical. There are challenges related to politics, legislation and economics, as well as society and culture. One of the major obstacles to recycling is still the lack of consumer awareness of the potential for recycling of electronic scrap and its beneficial impact on the environment, and the creation of a sustainability-minded society. This evident lack of awareness account for the rather low collection rates for end-of-life electronic products, e.g. only 10% for mobile phones in Germany [10].

After having reached the end of its life, the total recycling process of a product can be subdivided into three steps (Fig. 4), each of which requires different management methods and technical approaches for its optimization.

The first step comprises the collection and consolidation of waste, the so-called take-back, in the case of launched consumer recycling initiatives. This is very much a logistics challenge, and requires a high awareness level and readiness on the consumer's side for returning obsolete electronic products for recycling. In the second step, pre-treatment of the electronic scrap is carried out by specialized recycling companies.

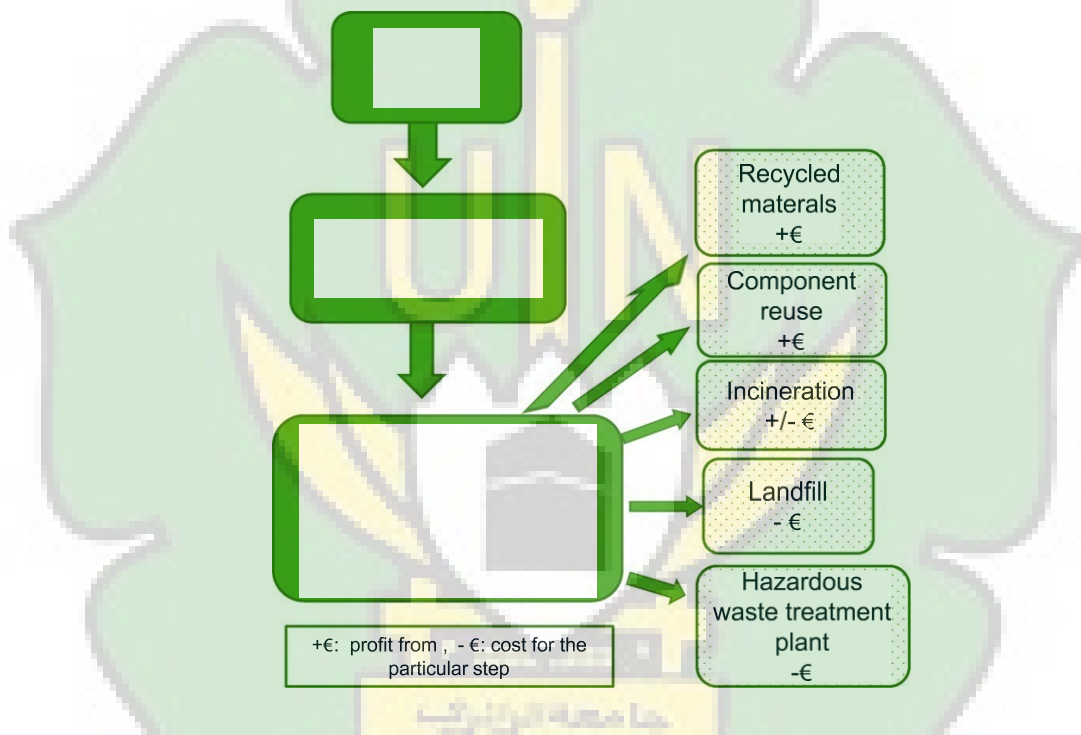


Fig. 4. The three steps in the total recycling process with related product end-of-life processes and economic impacts [12].

They sort the various electronic commodities and electrical appliances; they separate the different materials in a product prior to reselling them further for final recycling and recovery of specific valuable materials, and their refining. Non-recyclable material can be used for energy generation through incineration or will finally be disposed of in landfills. Each step implies a minor side flow of disposal of the fractions that cannot be further processed, such as wet cardboard packaging.

The specific product design can render the second and third steps easier or more difficult; therefore, the product design, which has an impact on the recycling costs and efficiency, ought already to be aimed at the most efficient recycling at the end of the life of the product. The second step can include the usage of different techniques ranging from manual disassembly to mechanical and chemical pre-processing [3,9]. In the third step, feeding back into the market, recycled materials are often mixed with materials coming from other sources, and their origin can no longer be recognized [12]. The first step, collection, always occurs on a local scale. The second step, pre-treatment, can be done locally or regionally, depending on the availability of the recycling facilities, while part of the third step usually involves special techniques, e.g. for the refining of precious metals or rare earth metals, hence can be done properly only on a national or even international level. An economic assessment (Fig. 4) reveals that collection and pre-treatment are associated with certain costs. The third step will yield profit through the sale of material recovered from the recycling process for reuse in new products. From the point of economics, incineration of residual material for energy generation is typically a zero sum activity, whereas landfilling or hazardous waste treatment of the materials that cannot be recycled will generate costs.

Efficient management of electronics waste requires a similar infrastructure to the management of any other kind of “classical” waste. The three major cornerstones for efficient waste management are collection infrastructure, recycling industry and supporting activities, like awareness raising, monitoring and reporting systems. These all need to be in place before recycling of electronics waste can happen in an efficient and sustainable manner of “classical” waste. The three major cornerstones for efficient waste management are collection infrastructure, recycling industry and supporting activities, like awareness raising, monitoring and reporting systems. These all need to be in place before recycling of electronics waste can happen in an efficient and sustainable manner.

3.1 Collection network and infrastructure

Collection and transportation of the waste incur the main costs of the entire recycling process. The cost for collection can skyrocket if the spending for raising the awareness of the consumers by media companies is being considered in the calculation. Optimization of the collection process, together with establishing cost-effective ways to communicate for users on existing recycling programs, are therefore of paramount importance for the efficient recycling of WEEE. For example, curbside collection and mail collection are very convenient for the consumer, but the cost of the logistics is rather high. Many of the collection schemes that allow the consumer to return his obsolete electronic equipment at any time lead to an accumulation of electronic scrap, which requires a lot of expensive extra sorting. Convenient collection sites, e.g. at retail or other places where people pass frequently, require extra space and supervision from the retail personnel. Convenience and operating cost do not always go hand in hand when organizing the collection [9]. Different products (from mobile phones to televisions or refrigerators) are also not necessarily best managed in the same way.

The building-up of a cost-effective collection scheme for WEEE which is widely accepted by consumers takes time. Introducing the recycling agenda and building up the necessary infrastructure are the first steps to establishing a collection network for e-waste. Once the program has been tested and assessed, it can be expanded through cooperation with partners such as retail companies, educational institutes, NGOs and local or regional authorities. The next phase is the improvement and further development of the program through data collection and analysis, and through better understanding of the local consumer behavior. In EU countries, producers have formed PROs that have set up a permanent collection infrastructure for e-waste on behalf of the producers to fulfill the requirements imposed by the European WEEE Directive [2].

3.1.1 Collection of mobile phones

Although collection infrastructures for mobile phones have been in place for quite some time in many countries, most consumers are still not aware of the recycling potential of their obsolete phones. Much more communication, together with easy take - back options, are considered necessary means to increase the consumer's awareness in order to significantly increase the number of mobile phones which are returned for recycling.

A visible collection method which, at the same time, is quite effective in communicating the "recycling message" for owners of end-of-life mobile phones, is the take-back kiosk or take-back bin (Fig. 5). In this approach, the location of the bins must be easily accessible and secure. It is often difficult to estimate when the bin is full and needs to be emptied; therefore an effective logistics solution that is economically viable also needs to be in place. People tend to put all kinds of rubbish, from empty cans and paper cups to apples, in the recycling bins that are located in shopping malls or cafeterias. This increases the need of material sorting at the recycling facility.

For a consumer, one of the easiest ways to return his obsolete mobile phone for recycling is to use postal services. With a pre-paid postage envelope (e.g. Fig. 6), one can drop off the phone at the nearest mailbox and it will be sent for proper recycling. Envelopes can be distributed by many ways. Prepaid postage and addresses can be downloaded and printed from the internet, while envelopes can be mailed directly to the consumers upon request, distributed in retail shops or included in the sales package of a new product. Envelopes provide an easy return process, but are costly in terms of reverse logistics.



Fig. 5. Recycling bins for mobile phones, size 350 mm × 350 mm × 1000 mm (Nokia).

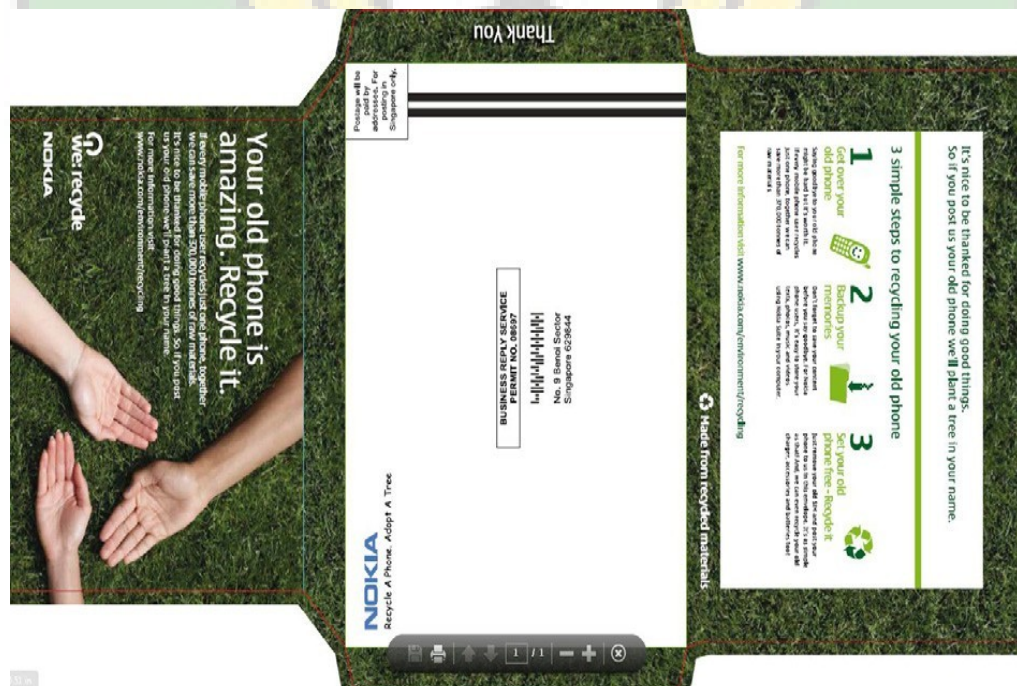


Fig. 6. Example of a recycling envelope for mobile phones, distributed in post offices in Finland (Nokia).

3.2 *Recycling industry-technical processes for recycling e-waste*

The recycling of bulk metals, e.g. ferrous alloys or aluminum, has a long history. Metal recycling technology is quite well developed and has become efficient. In contrast, technologies are less well established. Electronics products are first of all complex the recycling technology of electronic scrap and the related recovery of metals as the source for secondary raw materials has a rather short history, and the available recycling, containing materials of all different types. The various materials are highly integrated into each other, are present in low quantities and are often embedded in thin layers. This renders separation of the different groups of materials rather difficult in the recycling processes of e-waste. In addition, there is a huge variety of electronic commodities and electrical appliances, each having different materials and components. Even all mobile phones are not the same, so the variety of the product types and structures in the recycling process is huge.

As outlined in Section 3 and Fig. 4, the technical process for recycling of e-waste consists of the following two steps [13]:

- Pre - treatment
 - Sorting and separation by components and material
 - Disassembly – removal of hazardous or valuable parts as a whole (e.g. batteries)
 - Upgrading – preparing material for refining by using mechanical or metallurgical processes
- Feedback to market
 - Recycling through refining – certain materials are returned as secondary materials sources for further use
 - Incineration – the energy content is utilized
 - Disposal of the materials that cannot be utilized

Typically, electronics recycling companies take care of the pre-treatment process, e.g. they sort the WEEE, separate the materials and prepare them for the

final step, i.e. feeding back to the markets as secondary sources of raw materials, energy generation through incineration or disposal in landfills.

In the pre-treatment phase, different technological processes are utilized for separating the integrated material content in the product so that different material fractions can be directed to the appropriate recycling processes. This process is explained in Fig. 7. Disassembly of complex electronic equipment is done only if either the equipment contains valuable parts which must not be diluted with less valuable ones and that will render profit when being separately recycled, like printed wiring boards, or it does contain hazardous materials that need to be separated for special hazardous waste treatment, such as mercury-containing lamps. In most cases disassembly is still done manually, making it a bottleneck phase in the treatment of high volumes of e-waste. Many efforts have been made to remove potentially hazardous substances in the production of electronics products. For example, materials such as lead, brominated flame retardants and polyvinyl chloride are no longer used in Nokia mobile phones.

The next phase in the pre-treatment process is typically size reduction by using shredders. The next steps in the process aim at separating ferrous metals, aluminum and plastic from the shredded material, and entail the use of magnetic, eddy-current and density separation. It should be noted that the process is always adapted according to the product mixture that is being processed, so that the separation is done only to the extent that is necessary. For example, mobile phones do not need an extensive pre-treatment process, and the risk of losing precious metals would rise during the process.

The material fractions separated by the pre-treatment which have the potential to be fed back into the market, i.e. for reuse in new products, will be sold to the same companies which are producing those materials both from primary raw material sources and secondary sources resulting from recycling.

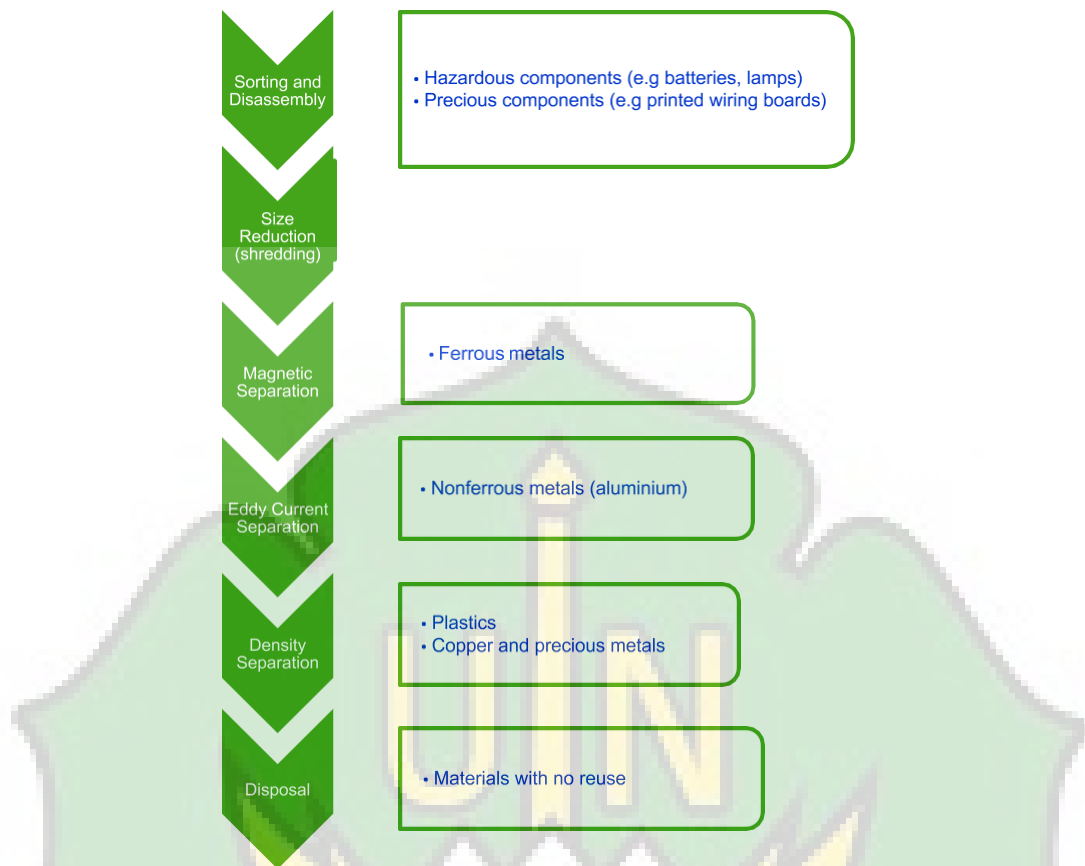


Fig. 7. Process flow during the pre-treatment of e-waste (modified from Ref. [9]).

With regard to recovering the most precious material content, i.e. precious metals and copper, integrated copper smelters report high recovery yields of more than 95% [14]. Organic materials are utilized in this process as substitutes for coke as a reducing agent and as fuel (energy source). Iron and aluminium are transferred into the slag in the integrated copper smelting, and are thus not recovered as metals; rather, they are disposed of, e.g. in landfills. Many electronics products contain halogenated flame retardants that can form dioxins unless special measures are taken in dealing with them. In integrated copper smelters e-waste can be treated without dioxin emissions [14]. Plastic recycling is more complicated than metal recycling. First of all, e-waste contains a variety of different plastics, which must be identified and separated for recycling. Plastics are often coated, painted and made flame retardant, all of which are considered impurities in recycling, making the material less valuable, i.e. less profitable. Plastics can also be used as fuel in the recycling process of copper and precious metals.

Consideration of efficient recycling at the design stage of electronic equipment can favor the efficient pre-treatment of WEEE, and therefore will have an impact on the recycling cost. Because electronics products are diverse in composition and structure, it is challenging to develop advanced recycling technologies that are suitable for all different product types. A major factor hindering the development of advanced recycling technologies are the small amounts of e-waste collected. These facts together may explain why there are not yet many facilities that are specialized in the recycling of specific types of e-waste, and why existing facilities have to accept all different kinds of WEEE for treatment. As the volumes of each of the different products are still low, automation levels remain low and waste treatment cannot be optimized for each product type separately. This is a limiting factor, for example in the recovering of special elements, such as precious and/or rare earth metals, from a specific component in an electronic product.

Products vary not only in their material content, but also in their recycling economics. Some of the products contain relatively large amounts of valuable materials, and recycling of these products generates value and profit. These are typically products with precious metal containing printed wiring board or large metal parts. Some products contain hazardous parts that need to be disassembled and treated in specialized waste treatment facilities, like cooling agents in old refrigerators or toner cartridges. Products may also be constructed of materials with no reselling value, and in these cases recycling becomes a cost. It has been shown that for products containing relatively high amounts of precious metals, such as mobile phones, separate collection and treatment, even including higher costs for logistics, will bring greater environmental and economic value. For products containing more than about 250 ppm gold and 150 ppm palladium, separate collection is always more eco-efficient than mixing these products with others containing smaller amounts of precious metals [15].

3.3. Raising awareness: the consumer's role in recycling

The consumer plays a big part in the first phase of the value chain, i.e. a positive attitude of the individual towards recycling of e-waste is crucial for

rendering the whole recycling process efficient and successful. On the envisaged way to a sustainable society, the efficient recycling of e-waste will play a major and continuously increasing role. In essence, it rests on the following three pillars:

- Consumer awareness for the benefit of recycling resulting in high collection rates;
- Efficient recycling technologies, and
- Optimum recovery of the material contained in e-waste for further use.

Rising awareness is currently the key to successful electronics waste management, as participation in ongoing collection/recycling programs has not yet become common practice in today's society. In general, consumers are appreciative of information on how and where to recycle their old electronic equipment. The success of consumer collection programs is based not only on awareness and convenience, but also on longevity: the programs need to be in place for years before recycling becomes a habit to everybody.

A consumer study by Nokia [10] has yielded that, on the global scale, less than 10% of people have recycled their old mobile phones. As shown in Fig. 8, even in the highly industrialized countries such as the US and the UK, only about 15% of owners returned their obsolete mobile phones for recycling; for some developing countries, that ratio is as low as 1%. Most of the phones which are no longer being used remain at home and represent a huge recycling potential as, on average, an individual has already owned five mobile phones. The lack of awareness that recycling is feasible and the lack of information on recycling locations must be seen as the main reasons for the reluctance of most consumers to give back their obsolete phones for recycling. This means that the first challenge in motivating people to recycle electronics is to get them to understand that there is a huge ecological benefit and that it is technically feasible, and to inform them of how it can be done. Other reasons for not returning a phone at its end of life for recycling may be found in the owner's perception that the old phone has still a considerable monetary or sentimental value, and in his concern about the security of personal data stored in the obsolete phone.

General recycling habits were also assessed in the same study by interviewing 500 people in 11 different countries [10]. The interviewees were asked which of the following 11 items they have given back for recycling: paper/card- board, plastic bottles, cans, glass, metals, clothes/shoes, mobile phones, batteries, televisions, refrigerators and computers. Fig. 9 shows the average number of listed items which were returned for recycling in the particular country. In a country like Germany, which already has a well-developed recycling culture, on average, each interviewee had returned 7.4 out of the 11 items listed, whereas in Indonesia the corresponding figure was only 1.4. From the list, the most commonly recycled materials were paper/cardboard, plastic bottles, glass and cans. More sophisticated products, like electronics, were reported to be recycled less than other materials in both developed and developing countries. It is no surprise that, in general, the awareness and positive attitude towards recycling is much more distinct in the developed countries compared to the developing countries, essentially because of the already existing recycling programs, infrastructure and legislation.

3.3.1 Recycling campaigns for mobile phones

The first take-back pilot program for mobile phones took place in Europe in 1997. It was run in Sweden and the UK, and executed by member companies of the European Telecommunications and Professional Electronics Industry Association group, consisting of six mobile phone manufactures [16]. Since the first program there have been many collection initiatives aimed at raising consumer awareness of the need and benefits of electronics recycling on a global scale. The campaigns have intended to either support the already existing recycling infrastructure or foster discussion on recycling issues in countries where sustainability has not yet been given high priority. As an example, Nokia Corporation is presently offering a permanent take-back of obsolete phones in almost 100 countries. Based on the consumer feedback and the experience gained from the operation of various recycling programs, it was concluded that the recycling programs need to become more convenient and efficient to attract more consumers to participate. Cooperation with different stakeholders is important in

creating an efficient recycling system. For example, recycling programs for mobile phones are being carried out in cooperation with PROs, telecommunication operators, retail chains, recycling companies, environmental NGOs, and schools and universities. These are the sorts of partners who can help in getting the recycling programs closer to the people, not least through education.

A recycling program for mobile phones was initiated by Nokia in China at the end of 2005. The program was launched in association with the telecommunication operator China Mobile and Motorola. By the following year, six other mobile phone manufacturers had joined the program.

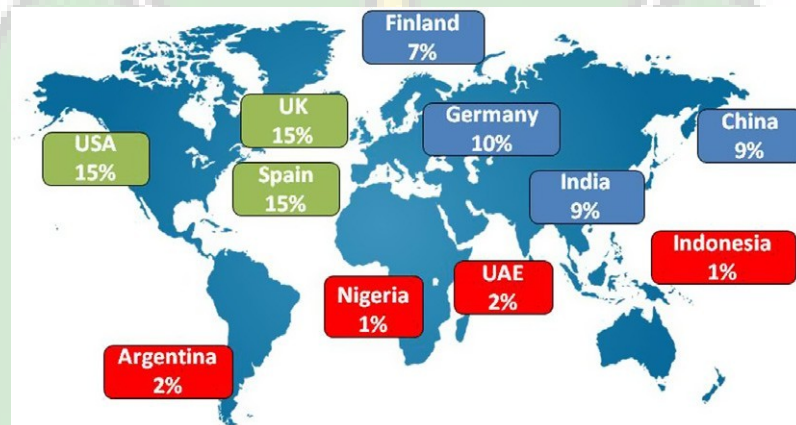


Fig. 8. Statistics on recycling quota of mobile phones in 11 countries (Nokia Corporation [10]).



Fig. 9. Mean number of different items from a list with 11 items that are being recycled according to consumer surveys in the various countries (Nokia Corporation [10]).

The program has been growing every year since then. It started with the participation of 40 big cities and about 1500 take-back locations; after only 6 years it is covering 300 cities. By the end of 2010, more than 160 tons of e- waste was collected within the framework of that program. Different incentives have been offered over the years to attract consumers to participate in the program, ranging from prepaid phone cards to eco-friendly shopping bags and tree planting.

In Latin American countries, the first joint recycling program with telecoms operators was launched in Mexico in 2006; such programs have now been expanded to Peru, Brazil, Chile, Colombia, Ecuador and Argentina, comprising 564 collection sites in 2011. The Latin American countries have already collected 375 tons of e-waste on the grounds of these programs. The success of these programs may serve as a good example of the effort and time it takes to increase the awareness of consumers in developing countries, but also for the rapid expansion of a successful concept from one country to another.

Nokia has also raised recycling awareness in cooperation with environmental NGOs in many countries. Recycling programs have been launched in cooperation with the World Wide Fund for Nature in Finland, Thailand, South-Africa, Indonesia and Lower Gulf countries. In the UAE there is an ongoing collaboration with the Emirates Environmental Group, various schools and corporations. Posters created by a well-known film maker in the UAE help to “change” children into “recycling heroes”. For the same purpose, Nokia India published two educational books for children in cooperation with The Energy and Resource Institute.

4. Conclusions

All electronics sold in a market will eventually become obsolete. The resulting e-waste, which on the global scale is rapidly increasing, contains both materials which can be recovered as secondary raw material as well as hazardous materials and substances. Thus, for a sustainable environment, e-waste needs to be directed to proper end-of-life processes, i.e. recycling and disposal. Presently, in Europe up to two-thirds of the generated e-waste is still being either landfilled or

exported to developing countries which often lack proper recycling and disposal facilities. Even in the industrialized countries less than 15% of mobile phones are returned for recycling. This must be considered as a huge loss of valuable materials and a waste of energy. Adequate legislation for the treatment of e-waste and collection campaigns initiated by the manufacturers are seen as the key to more efficient return and collection rates of end-of-life electronics and electrical appliances. In turn, significantly increased amounts of collected e-waste will render the recycling process economically more profitable; increased revenues will provide an incentive for the recycling companies to develop and invest in new and more efficient recycling technologies. Due to the inherent complexity in the design and composition of electronic equipment, its recycling is much more complicated than that of iron and aluminum scrap originating in huge quantities from bulk construction materials in civil engineering.



REFERENCES

- [1] Bastiaan C, Zoeteman J, Krikke HR, Venselaar J. *Int J Adv Manuf Technol* 2010;47:415.
- [2] Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of the 27 January 2003 on waste of electrical and electronic equipment O *Journal of the EU L3*; 2003. p. 24–38.
- [3] Jirang Cui, Roven J. *Waste – a handbook for management*. Elsevier: Academic Press; 2011. p. 281–96.
- [4] Chancerel P, Rotter S. *Waste Manage* 2009;29:2336.
- [5] Pongrácz E, Ylä-Mella J, Tanskanen P, Keiski RL. In: *Proceedings of the 23rd international conference on solid waste technology and management*, Philadelphia, PA; March 30–April 2, 2008 *Journal of solid waste technology and management*, Department of Civil Engineering, Widener University; 2008. p. 359–65.
- [6] Widmer R, Oswald-Krapf H, Sinha-Khetriwal D, Schenellmann M, Böni H. *Environ Impact Assess Rev* 2005;25:436.
- [7] Greenpeace Intl. Where does e-waste end up? 24 February, 2009. <<http://www.greenpeace.org>>.
- [8] WasteOnline. <<http://www.wasteonline.org.uk>>.
- [9] Kanga Hai-Yong, Schoenung JM. *Resour Conserv Recycl* 2005;45: 368.
- [10] Nokia Corporation. *Consumer study*; 2011.
- [11] European Commission/Recast of WEEE Directive. <http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm> [2..42012].
- [12] Tanskanen P, Takala R. *J Cleaner Prod* 2006;14:1326–32.
- [13] Cui J, Forssberg E. *J Hazard Mater* 2003;B99:243.
- [14] Hagelucken C. In: *Proceedings of the 2006 IEEE international symposium on electronics and the environment*, 8–11 May, 2006. USA: Curran Associates Incorporated; 2006. p. 218–23.
- [15] Huisman J. *Design for Sustainability program publication no 8*, Thesis Delft University of Technology, Delft, the Netherlands;

2003.

- [16] Tanskanen P, Butler E. In: Proceedings of IEEE electronics and environment, Orlando; 7–10 May, 2007. p. 206–9.



BAB II

TERJEMAHAN ARTIKEL

Pengelolaan dan Daur Ulang Limbah Elektronik

Perusahaan Nokia, Keilalahdentie 2-4, Espoo 02150, Finlandia

ABSTRAK

Limbah Peralatan Listrik dan Elektronik (LPLE) adalah salah satu aliran limbah terbesar yang berkembang secara global. Oleh karena itu, untuk lingkungan yang keberlanjutan dan pemulihan ekonomi bahan berharga untuk digunakan kembali, daur ulang limbah elektronik yang efisien menjadi sangat diperlukan, dan harus tetap dianggap sebagai tantangan utama bagi masyarakat saat ini. Berbeda dengan daur ulang barang bekas logam yang sudah mapan, mendaur ulang produk elektronik yang telah mencapai akhir masa pakainya jauh lebih rumit karena mengandung berbagai jenis bahan yang terintegrasi satu sama lain.

Seperti yang diilustrasikan terutama untuk daur ulang ponsel, daur ulang LPLE yang efisien tidak hanya menjadi tantangan bagi industri daur ulang; ini juga sering merupakan pertanyaan tentang infrastruktur pengumpulan yang belum mencukupi dan efisiensi pengumpulan yang buruk, dan kurangnya kesadaran konsumen akan potensi daur ulang elektronik untuk kepentingan lingkungan, serta untuk penghematan energi dan bahan baku.

Kata Kunci : Daur ulang, Limbah elektronik, LPLE

1. Limbah Elektronik

1.1 Definisi dan komposisi limbah elektronik

Selama dua dekade terakhir, jumlah peralatan elektronik konsumen dan bisnis terus meningkat. Pada saat yang sama, teknologi informasi dan komunikasi berubah cepat, peningkatan keserbagunaan yang terjadi bersamaan dari sebagian besar perangkat elektronik bersama dengan tren penurunan harga telah menyebabkan berkurangnya masa pakai secara drastis untuk sebagian besar peralatan elektronik. Ini berlaku meskipun beberapa perangkat elektronik, mis. ponsel, mungkin memiliki beberapa pemilik selama masa pakainya sebelum dibuang. Pada tahun 2008, jumlah komputer pribadi telah melampaui 1 miliar, yang sebagian besar telah mencapai akhir masa pakainya, atau akan segera mencapainya (Bastiaan C, 2010). Akibatnya, jumlah produk elektronik yang telah mencapai akhir masa pakainya sangat pesat, menghasilkan Limbah Peralatan Listrik Elektronik (LPLE) dalam jumlah besar. Saat ini tidak ada definisi yang jelas untuk istilah limbah elektronik atau saat suatu produk menjadi limbah. Arahannya Uni Eropa (Arahannya Parlemen Eropa, 2002) mendefinisikan limbah elektronik sebagai peralatan usang yang bergantung pada arus listrik atau medan elektromagnetik untuk bekerja dengan baik dan peralatan untuk pembangkitan, transfer dan pengukuran arus. Menurut Pongra'cz dkk 2008, setiap definisi limbah perlu mempertimbangkan aspek produk yang menjadi usang dan keputusan pemiliknya untuk mengubahnya menjadi limbah: produk elektronik menjadi limbah pada waktu dan tempat ketika struktur dan keadaannya tidak lagi mampu memberikan kinerja yang diharapkan sehubungan dengan tujuan yang diberikan oleh pemiliknya. Alasan mengapa sebuah produk elektronik tidak lagi mampu bekerja sehubungan dengan tujuan yang dimaksudkan dapat bermacam-macam: itu mungkin tidak lagi berfungsi karena rusak; atau teknologi dan desainnya mungkin tidak lagi canggih atau trendi (Pongra'cz dkk, 2008). Untungnya, apa yang dianggap limbah oleh pengguna sering dianggap menguntungkan oleh industri daur ulang, yang dapat memulihkan bahan berharga yang terkandung di dalamnya dan menjualnya untuk digunakan kembali sebagai bahan mentah sekunder dalam produk baru.

Jumlah limbah elektronik yang dihasilkan di AS dan di UE, serta di negara berkembang, telah meningkat secara signifikan selama 10 tahun terakhir. Menurut Badan Perlindungan Lingkungan AS (Bastiaan C, 2010), rata-rata, setiap rumah tangga di AS menggunakan 34 perangkat elektronik dan peralatan listrik, menghasilkan lebih dari 5×10^6 ton limbah elektronik setiap tahun. Untuk UE, diperkirakan bahwa, rata-rata, setiap warga negara menyumbang sekitar 15 kg limbah elektronik setiap tahun, sehingga menghasilkan total 7×10^6 ton (Bastiaan C, 2010). Dengan demikian, LPLE merupakan salah satu aliran limbah yang tumbuh paling cepat, sudah menyumbang sekitar 8% dari sampah kota (Widmer, R, dkk, 2005). Di pasar berkembang, seperti Cina dan India, produksi limbah elektronik per kapita masih hanya sekitar 1 kg per tahun, tetapi ini meningkat pesat. Mengingat populasi yang sangat besar, total limbah elektronik yang dihasilkan cukup besar di kedua negara ini melebihi yang diproduksi di negara - negara barat. Selain itu, jumlah limbah elektronik di negara industri dan berkembang juga meningkat karena impor limbah elektronik dari negara maju. Beberapa studi menunjukkan bahwa 50-80% dari limbah elektronik yang dihasilkan di negara maju dikirim ke negara berkembang untuk digunakan kembali dan didaur ulang (Widmer, R, dkk, 2005), merupakan pelanggaran hukum internasional (Greenpeace.org).

Sebagian komponen tertentu dari beberapa LPLE mengandung zat berbahaya, contoh, merkuri dan kadmium, berbahaya bagi lingkungan jika diolah dan dibuang secara tidak benar; lainnya berisi bahan berharga yang bisa menguntungkan jika diolah kembali. Jadi, untuk mengatasi jumlah limbah elektronik yang besar dan terus meningkat, daur ulang dan reklamasi bahan komponen yang berkelanjutan untuk digunakan kembali telah menjadi masalah utama secara global baik dari sudut pandang ekologi maupun ekonomi. Walau demikian, hingga saat ini, di negara - negara industri, hanya sebagian kecil kategori produk limbah elektronik yang didaur ulang, sebagian besar dibuang ke tempat pembuangan sampah dan melalui pembakaran. Tepatnya karena statistik yang tidak cukup, data dari laporan oleh Dewan Industri untuk Daur Ulang Peralatan Elektronik (DIDUPE) dapat dijadikan sebagai ilustrasi (Tabel. 1) (Wasteonline.org.uk).

Tabel tersebut menunjukkan bahwa kuota pengumpulan dan kuota daur ulang terkait untuk peralatan rumah tangga berukuran besar dan perangkat TV agak tinggi sedangkan kuota daur ulang untuk peralatan hiburan elektronik berukuran kecil sangat rendah, yaitu hanya 4%. Menurut laporan yang sama (Wasteonline.org.uk), pada tahun 1998, rendahnya kuota pengumpulan dan daur ulang mengakibatkan hilangnya logam dan bahan lain dari:

- $2,4 \times 10^6$ t logam besi,
- 0.652×10^6 t tembaga,

Tabel 1. LPLE yang dikumpulkan dan didaur ulang di Inggris / Ton (DIDUPE 2000) (Wasteonline.org.uk)

Jenis dari LPLE	Timbulan	Terkumpul	% diDaur ulang
Perangkat TV	8000	4000	50
Video/sound	72,000	3200	4
IT/Komputer	357,000	94,600	26
Perangkat besar RT	392,000	345,300	88

- 0.336×10^6 t Aluminium
- 0.336×10^6 t Kaca dan
- 1.2×10^6 t Plastik

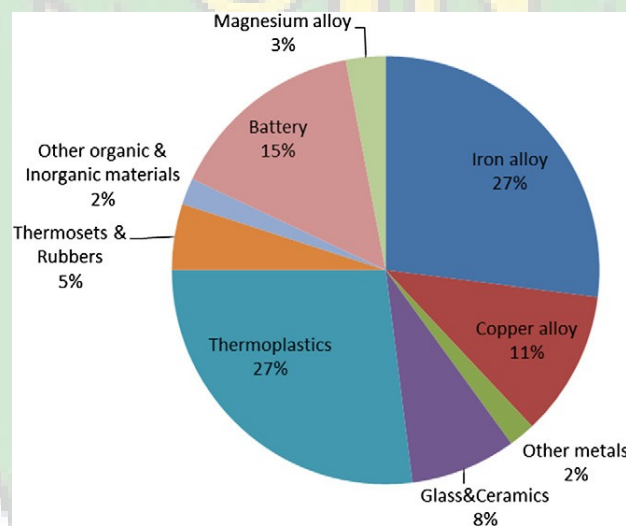
tidak memperhitungkan kerugian dan logam langka.

Komposisi limbah elektronik bervariasi dari jenis produk hingga satu sama lain, dan bahkan dalam kategori produk yang sama ada perbedaan komposisi material (Chancerel, P, 2009). Hal ini diilustrasikan melalui masalah daur ulang ponsel. Telepon seluler memiliki bagian penutup plastik atau logam tetapi bagian dalam serupa yang diperlukan untuk fungsinya, contoh, layar, papan kabel yang dicetak dan baterai isi ulang. Contoh kandungan material telepon seluler ditunjukkan pada Gambar 1. Logam mulia dan logam langka terdapat dalam jumlah yang rendah (sekitar 0,1%) ditampilkan pada Gambar 1. Ketika seluruh kelompok LPLE sedang dipertimbangkan, komposisi materialnya berbeda

dibandingkan dengan ponsel biasa. Bersama-sama, logam besi (besi / baja) mewakili kelompok bahan yang paling melimpah, terhitung sekitar setengah dari bahan tersebut. Kelompok paling melimpah berikutnya adalah plastik (21%) dan logam bukan besi (13%) (Widmer, R, dkk, 2005). Perlu dicatat bahwa nilai-nilai ini mungkin berbeda secara signifikan dengan sampel produk tertentu yang sedang dipertimbangkan. Sebagai tren umum, kandungan logam besi selalu menjadi bagian terbesar dari limbah elektronik, sedangkan jumlah tembaga, logam mulia dan polutan telah menurun. (Widmer, R, dkk, 2005).

1.2 Masa Pakai Produk Dan Akhir Masa Pakai

Daur ulang LPLE dapat menguntungkan bila bahan yang terkandung dipulihkan saat proses daur ulang. Akan tetapi, terdapat perbedaan besar antara berbagai jenis produk, oleh karena itu nilai ekonomis limbah sangat bergantung pada jenis peralatan yang akan didaur ulang.



Gambar 1. Contoh isi materi telepon genggam / berat% (Nokia).

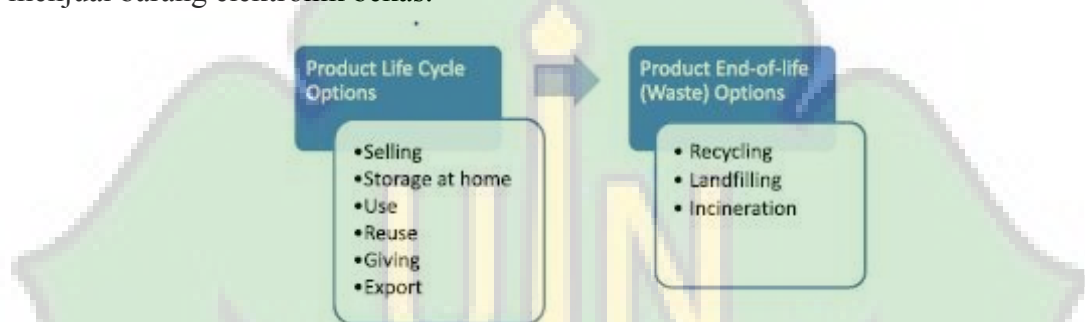
Misalnya, daur ulang ponsel jauh lebih menguntungkan daripada pengering rambut, yang mengandung bahan yang kurang berharga untuk dipulihkan. Seperti yang ditunjukkan di Bagian 1.1, limbah elektronik mengandung bahan berharga dalam jumlah yang relatif tinggi, seperti logam besi, aluminium, dan tembaga, yang dapat didaur ulang dan digunakan kembali dalam produk baru. Limbah elektronik juga mengandung logam mulia, yang memiliki aplikasi luas sebagai

bahan kontak, serta bahan langka seperti indium, galium, dan logam tanah langka, contoh, neodimium. Logam-logam ini hanya ada dalam jumlah yang sangat rendah; misalnya, di telepon seluler, kandungan berat materi tersebut sekitar 0,15%, membuat pemulihannya sulit. Proses daur ulang juga harus berkelanjutan secara ekonomi, artinya pemisahan dan pemulihan berbagai bahan dilakukan hanya jika bahan tersebut dapat dijual secara menguntungkan sebagai bahan sekunder untuk digunakan kembali dalam produk baru. Tentu saja harga pasar naik dan ketersediaannya terbatas, misal logam tanah langka, merupakan kekuatan pendorong utama untuk pemulihan logam sekunder dan pengembangan proses daur ulang yang efisien. Komponen tertentu dari beberapa produk elektronik mengandung zat berbahaya yang dapat berbahaya bagi lingkungan jika tidak ditangani dan dibuang dengan benar. Studi menunjukkan bahwa 70% merkuri dan kadmium di tempat pembuangan sampah AS berasal dari limbah elektronik (Kanga, 2009). Meskipun zat ini tidak lagi digunakan di sebagian besar produk elektronik yang lebih baru, produk lama yang mencapai akhir masa pakainya dapat terus mencemari lingkungan jika dibuang ke tempat pembuangan sampah. Pengolahan limbah elektronik yang tidak terkontrol, seperti pembakaran di udara terbuka, juga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar dan masyarakat yang menangani limbah.

Semua peralatan elektronik dan listrik yang dijual di pasar pada akhirnya akan menjadi usang dan perlu menjalani proses daur ulang yang sesuai untuk memulihkan sumber daya yang melekat untuk digunakan kembali dalam produk baru, sehingga membantu menghindari ekstraksi sumber daya yang tak tersentuh dan terjadi penipisan sumber daya, dan memberikan penghematan energi yang signifikan. Untuk memperlambat laju perkembangan LPLE, dasar pengelolaan limbah elektronik telah menjadi: Reduce (konvergensi - lebih sedikit produk untuk memulai, pemeliharaan), Reuse (melalui menyumbang atau menjual untuk digunakan lebih lanjut, diperbaiki), Recycle (produk yang tidak lagi berfungsi untuk apa pun alasan) dan memberikan penghematan energi yang signifikan.

Gambar. 2 mengilustrasikan opsi berbeda untuk siklus hidup peralatan elektronik seperti komputer dan ponsel, setelah mereka mencapai akhir pemakaian. Di

masing-masing opsi ada juga kemungkinan praktik buruk yang terkait dengannya; Misalnya, daur ulang di akhir masa pakainya dilakukan dengan tidak tepat. Selama masa pakainya, suatu produk elektronik dapat memiliki banyak perbedaan penggunaan, mungkin akan dijual atau diteruskan sebagai sumbangan untuk digunakan lebih lanjut. Terkadang ada langkah perawatan atau perbaikan yang termasuk penggunaan kembali. Penjualan produk bekas dapat terjadi secara langsung, misalnya melalui saluran penjualan internet, atau tidak langsung, melalui perusahaan yang memiliki spesialisasi melalui perusahaan yang khusus menjual barang elektronik bekas.

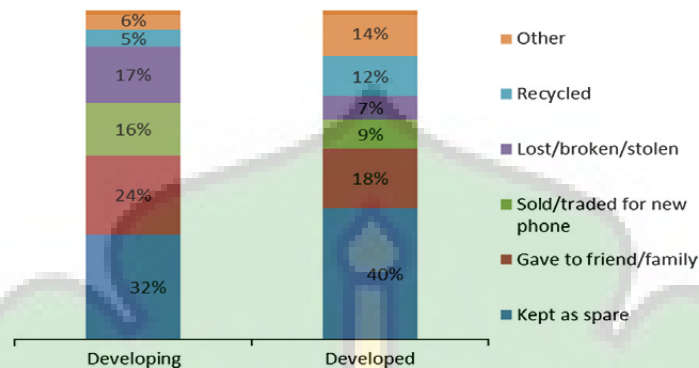


Gambar 2. Pilihan yang berbeda untuk siklus hidup produk dan setelah mencapai akhir hidupnya

Namun, banyak perangkat elektronik yang dibuang, khususnya yang berukuran lebih kecil, misalnya ponsel, laptop dan elektronik hiburan (lihat Tabel 1), disimpan di rumah sebagai perangkat cadangan, untuk alasan nostalgia atau karena konsumen melebih - lebihkan nilai residu mereka dan, tidak bersedia memberikan untuk digunakan kembali atau didaur ulang. Karena inovasi teknologi saat ini semakin kental dan cepat, produk elektronik yang tidak lagi canggih biasanya langsung kehilangan nilai jualnya (Kanga, 2005) Gambar. 3 mengilustrasikan beberapa statistik terbaru tentang keberadaan ponsel setelah dibuang oleh pemilik aslinya (Perusahaan Nokia, 2011). Di negara maju, 40% ponsel bekas masih disimpan sebagai cadangan, dan hanya 12% yang dikumpulkan atau dikembalikan untuk didaur ulang.

Ekspor peralatan bekas yang tidak terkendali dan seringkali secara ilegal ke negara berkembang dengan tidak terkontrol atau praktik daur ulang menjadi perhatian. Akibatnya, ada kebutuhan yang muncul untuk menyiapkan infrastruktur daur ulang yang memadai di negara - negara ini. Ketika suatu produk

akhirnya menjadi limbah dan tidak dapat lagi digunakan untuk tujuan aslinya, ada dua kemungkinan: daur ulang dan pemulihan bahan berharga yang terkandung, merupakan yang dipilih, atau penimbunan dan pembakaran, yang harus dilalui. Se jauh mungkin dihindari lingkungan dan masyarakat yang berkelanjutan.



Gambar 3. Hasil dari studi global, di pasar berkembang dan maju, tentang apa dilakukan orang dengan ponsel mereka sebelumnya (Perusahaan Nokia).

Menurut definisi, daur ulang berarti mengolah limbah (yaitu bahan yang tidak diinginkan atau tidak berguna) kembali ke siklus bahan sehingga pencemaran lingkungan diminimalkan. Intinya, daur ulang yang memadai memungkinkan pemulihan ekonomi bahan berharga sebagai sumber pasokan bahan sekunder dan untuk digunakan kembali dalam produk baru. Hal ini menyebabkan penurunan konsumsi bahan baku primer; ini juga mengarah pada penghematan energi yang signifikan, dan membantu mengurangi polusi udara dan emisi gas rumah kaca (dari pembakaran), serta polusi udara (dari penimbunan). Pengumpulan dan daur ulang produk yang efisien hanya terbuat dari satu produk jenis bahan, seperti koran, gelas atau botol plastik, atau alat dan struktur logam, telah menjadi praktik yang didirikan di banyak negara. Praktik pengumpulan yang efisien dan daur ulang serupa masih perlu dilakukan untuk limbah elektronik.

2. Kebijakan Limbah Elektronik

Jumlah sampah rumah tangga dan limbah elektronik yang semakin meningkat secara global, sehingga perlu dicari model penanganan limbah. Secara nasional. Pengelolaan limbah elektronik yang tepat sedang diperdebatkan oleh berbagai kelompok pemangku kepentingan di seluruh dunia, termasuk organisasi

internasional, pemerintah, akademisi, industri, dan Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM). Alasan utamanya adalah kekhawatiran bahwa limbah elektronik menyebabkan masalah kesehatan dan lingkungan di negara berkembang. Masalah tersebut terutama disebabkan oleh proses yang tidak aman dan berisiko terhadap lingkungan dan praktik buruk atau tidak profesional yang diterapkan oleh sektor informal saat mencoba mengekstraksi kandungan logam berharga dari berbagai produk akhir masa pakainya.

Target keseluruhan ketika merencanakan kebijakan pengelolaan limbah elektronik nasional haruslah terciptanya daur ulang yang berkelanjutan dari masyarakat. Ini melibatkan pembuatan model dan infrastruktur yang kuat untuk pengumpulan dan daur ulang, serta upaya untuk meningkatkan kesadaran dan memfasilitasi perubahan perilaku konsumen. Semua praktik baru akan membutuhkan waktu untuk berkembang, dan solusinya akan menjadi lebih terlihat karena daur ulang menjadi praktik sehari-hari dan produk kembali untuk di daur ulang dalam jumlah yang jauh lebih besar.

2.1. Legislasi

Undang-undang uni eropa yang membatasi penggunaan zat berbahaya dalam peralatan listrik dan elektronik (Petunjuk 2002/95/EC, Petunjuk RoHS) dan LPLE, mempromosikan pengumpulan dan daur ulang peralatan tersebut (Petunjuk 2002/96/EC), telah diberlakukan. Sejak Februari 2003 (Arahan Parlemen Eropa, 2002). Undang - undang serupa sedang berlaku atau sedang dikembangkan di banyak negara di seluruh dunia. Oleh karena itu, skema pengumpulan dimana konsumen dapat mengembalikan limbah elektronik bekas mereka secara gratis dibuat di negara-negara eropa. Tujuan dari skema ini adalah untuk meningkatkan daur ulang dan/atau penggunaan kembali produk tersebut. Pedoman RoHS memerlukan logam berat, seperti timbal, merkuri, kadmium, dan kromium heksavalen, serta penghambat api, seperti *bifenil poli brominasi* atau *difenil terpolibrominasi*, untuk diganti dengan alternatif yang kurang berbahaya dalam produk elektronik (Komisi Eropa).

Terlepas dari peraturan tentang pengumpulan dan daur ulang semacam itu, hanya sepertiga limbah listrik dan elektronik di UE yang dilaporkan dikumpulkan secara terpisah dan diolah dengan tepat. Sebagian dari dua pertiga lainnya berpotensi masih pergi ke tempat pembuangan sampah dan ke lokasi pengolahan di bawah standar di dalam atau di luar UE, sering kali melalui ekspor ilegal (Komisi Eropa).

Di negara - negara eropa, aliran limbah lainnya seperti bahan kemasan, baterai, dan mobil yang rusak, undang - undang tanggung jawab produsen diberlakukan untuk skrap elektronik (Petunjuk LPLE). Dengan tujuan mencapai efisiensi yang lebih tinggi dan terkait penghematan biaya, organisasi tanggung jawab produsen (OTP) tertentu telah dibentuk untuk secara khusus mengelola dan mematuhi tanggung jawab yang dikenakan atas nama beberapa produsen peralatan elektronik.

Selain UE dan beberapa negara bagian di AS, undang-undang serupa untuk limbah elektronik atau pembatasan zat berlaku pada tahap penerapan yang berbeda, misalnya, Kanada, China, Afrika Selatan, Meksiko, Argentina, Chili, Kolombia, Ekuador, Maroko, Aljazair, Tunisia, Turki, Arab Saudi, Australia, Selandia Baru, Vietnam, Thailand dan Indonesia.

2.2. Mekanisme Kebijakan

Untuk mengatasi "masalah limbah elektronik", selama dekade terakhir banyak negara telah mengadopsi peraturan Tanggung Jawab Produsen yang diperluas (TJP). TJP mengharuskan "produsen" peralatan listrik dan elektronik untuk mengambil kembali dan mendaur ulang produk mereka setelah barang tersebut mencapai batas masa pakai.

TJP dibangun dengan asumsi bahwa, ketika produsen dibuat bertanggung jawab atas biaya penanganan produk sebagai limbah, produsen akan memiliki insentif untuk merancang produk sedemikian rupa sehingga biaya ini diminimalkan. Jika dipraktekkan, ini berarti bahwa produsen hanya membayar biaya yang terkait dengan produknya sendiri, yaitu tanggung jawab produsen individu (tanggung jawab produsen disebut "individu" ketika setiap produsen

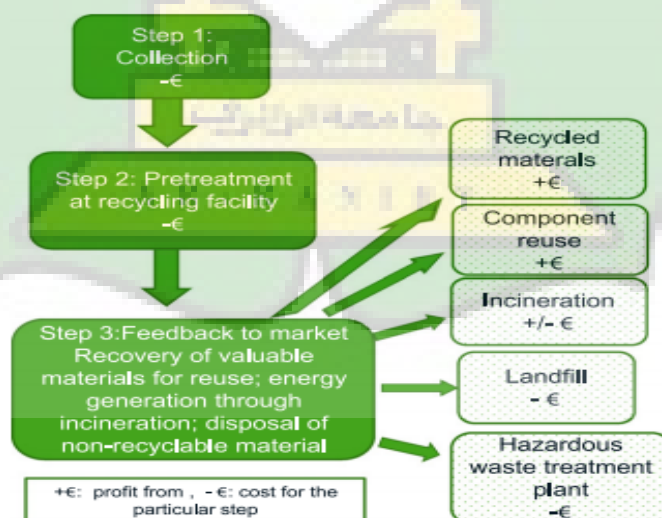
hanya membayar untuk daur ulang produknya sendiri dan disebut "kolektif". Ketika produsen berbagi semua biaya akhir masa pakai).

Saat ini, banyak model berbeda diterapkan untuk membiayai biaya tertentu dalam rantai daur ulang, berkenaan dengan apa yang akan dibiayai, bagaimana menilai biaya untuk berbagai kategori produk dan bagian yang dihasilkan untuk berbagai produsen yang berpartisipasi dalam hal yang sama. Skema pengumpulan tetapi memproduksi berbagai jenis produk elektronik. Biasanya pengaturan sistem pengumpulan paling efektif jika diatur secara kolektif, yang berarti bahwa banyak produsen bersama-sama berbagi sistem pengumpulan dan biaya terkait yang sama. Ini biasanya dicapai di Eropa dengan menyiapkan OTP. Berbagai pemangku kepentingan dilibatkan dan harus memainkan peran khusus dalam proses daur ulang total, mulai dari pengumpulan produk usang hingga pembuangan akhir komponen yang tidak dapat didaur ulang di tempat pembuangan sampah. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa mereka semua berpartisipasi dalam sistem pengelolaan limbah elektronik untuk mengikuti strategi yang mengoptimalkan efisiensi pengumpulan, memaksimalkan pemulihan bahan berharga yang terkandung dan meminimalkan jumlah bahan yang harus dibuang. Dalam konteks ini, tidak cukup hanya membatasi tanggung jawab hanya pada produsen, karena pengecer dan penjual, pemerintah dan otoritas lokal, pengguna akhir (baik organisasi atau individu) dan industri daur ulang semuanya terlibat, dan dalam posisi untuk bertindak dan mempengaruhi efektivitas sistem daur ulang. Untuk dapat mengembangkan solusi yang efisien dan berkelanjutan, pembiayaan dan pembagian biaya harus disepakati di antara semua pelaku terkait. Semua pemangku kepentingan, mulai dari pemerintah hingga konsumen dan LSM, memiliki peran mereka dalam memastikan bahwa daur ulang LPLE dapat terjadi dengan cara berkelanjutan, hemat biaya, dapat diakses dan adil untuk semua. Semua pemangku kepentingan, mulai dari pemerintah hingga konsumen dan LSM, memiliki peran mereka dalam memastikan bahwa daur ulang LPLE dapat terjadi dengan cara seperti itu berkelanjutan, hemat biaya, dapat diakses dan adil untuk semua.

3. Pengelolaan Dan Daur Ulang Limbah Elektronik

Proses akhir masa pakai produk dapat dibagi menjadi beberapa sub proses yang semuanya bertujuan untuk memulihkan kandungan bahan dan energi dari produk usang. Pengoptimalan seluruh rantai nilai penting untuk dicapai hasil terbaik untuk lingkungan dan ekonomi. Ini berarti bahwa perspektif sistem perlu dipertimbangkan ketika bekerja untuk meningkatkan bagian-bagian dari proses daur ulang karena semua fase berdampak pada fase lainnya. Untuk meningkatkan efisiensi daur ulang limbah elektronik, tidak semua tantangan daur ulang bersifat teknis. Ada tantangan terkait politik, perundang-undangan dan ekonomi, serta masyarakat dan budaya. Salah satu kendala utama daur ulang adalah masih kurangnya kesadaran konsumen akan potensi daur ulang barang bekas elektronik dan dampaknya yang menguntungkan bagi lingkungan, serta terciptanya masyarakat yang berwawasan berkelanjutan. Kurangnya kesadaran yang jelas ini menyebabkan tingkat pengumpulan yang agak rendah untuk produk elektronik akhir masa pakainya, contoh hanya 10% untuk ponsel di Jerman (Perusahaan Nokia, 2011).

Setelah mencapai akhir masa pakainya, proses daur ulang total suatu produk dapat dibagi lagi menjadi tiga langkah (Gambar. 4), yang masing-masing memerlukan metode manajemen dan pendekatan teknis yang berbeda untuk optimasi.



Gambar. 4. Tiga langkah dalam proses daur ulang total dengan proses akhir masa pakai produk terkait dan dampak ekonomi (Tanskanen P, 2006)

Langkah pertama terdiri dari pengumpulan dan konsolidasi limbah, yang disebut pengambilan kembali, dalam kasus inisiatif daur ulang konsumen yang diluncurkan. Ini merupakan tantangan logistik yang sangat besar, dan membutuhkan tingkat kesadaran dan kesiapan yang tinggi di sisi konsumen untuk mengembalikan produk elektronik usang untuk di daur ulang.

Pada langkah kedua, perlakuan awal terhadap skrap elektronik dilakukan oleh perusahaan daur ulang khusus. Mereka menyortir berbagai komoditas elektronik dan peralatan listrik; mereka memisahkan bahan yang berbeda dalam suatu produk sebelum dijual kembali untuk daur ulang akhir dan pemulihan bahan berharga tertentu, dan pemurniannya. Digunakan untuk pembangkit energi melalui pembakaran atau akhirnya dibuang di tempat pembuangan akhir. Setiap langkah kecil menyiratkan efek samping dari pecahan yang tidak dapat diproses lebih lanjut, seperti pengemasan karton basah. Desain produk yang spesifik dapat mempermudah langkah kedua dan ketiga atau lebih sulit; Oleh karena itu, desain produk, yang berdampak pada biaya dan efisiensi daur ulang, seharusnya sudah ditujukan untuk daur ulang yang paling efisien di akhir masa pakai produk. Langkah kedua dapat mencakup penggunaan teknik yang berbeda mulai dari pembongkaran manual hingga pengolahan awal mekanis dan kimiawi (Jirang Cui, 2011). Pada langkah ketiga, umpan balik ke pasar, bahan daur ulang sering dicampur dengan bahan asal sumber lain, dan asalnya tidak dapat lagi dikenali (Tanskanen P, 2006). Langkah pertama, pengumpulan, selalu terjadi dalam skala lokal. Langkah kedua, pengolahan awal, dapat dilakukan secara lokal atau regional, tergantung pada ketersediaan fasilitas daur ulang, sedangkan langkah ketiga biasanya melibatkan teknik khusus, misalnya untuk pemurnian logam mulia atau logam tanah langka, maka dapat dilakukan dengan baik hanya pada tingkat nasional atau bahkan internasional. Penilaian ekonomi (Gambar. 4) mengungkapkan bahwa pengumpulan dan pengolahan awal dikaitkan dengan biaya tertentu. Langkah ketiga akan menghasilkan keuntungan melalui penjualan bahan yang diperoleh dari proses daur ulang untuk digunakan kembali dalam produk baru. Dari sudut ekonomi, pembakaran bahan sisa untuk pembangkit energi biasanya merupakan kegiatan *zero sum*, sedangkan penimbunan atau

pengolahan limbah berbahaya dari bahan yang tidak dapat didaur ulang akan menimbulkan biaya.

Pengelolaan limbah elektronik yang efisien memerlukan infrastruktur yang serupa dengan pengelolaan limbah "klasik" lainnya. Tiga landasan utama untuk pengelolaan limbah yang efisien adalah infrastruktur pengumpulan, industri daur ulang, dan aktivitas pendukung, seperti peningkatan kesadaran, sistem pemantauan dan pelaporan. Ini semua harus ada sebelum daur ulang limbah elektronik dapat terjadi secara efisien dan berkelanjutan.

3.1. Jaringan dan Infrastruktur Pengumpulan

Pengumpulan dan pengangkutan limbah menimbulkan biaya utama dari seluruh proses daur ulang. Biaya pemungutan bisa melonjak jika pengeluaran untuk meningkatkan kesadaran konsumen oleh perusahaan media dipertimbangkan dalam penghitungan. Pengoptimalan proses pengumpulan, bersama dengan menetapkan cara hemat biaya untuk berkomunikasi dengan pengguna tentang program daur ulang yang ada, oleh karena itu sangat penting untuk daur ulang LPLE yang efisien. Misalnya, pengumpulan di tepi jalan dan pengumpulan surat sangat nyaman bagi konsumen, tetapi biaya logistiknya agak tinggi. Banyak skema pengumpulan yang memungkinkan konsumen mengembalikan peralatan elektronik usang kapan saja menyebabkan penumpukan barang bekas elektronik, yang memerlukan banyak penyortiran ekstra yang mahal. Lokasi wadah pengumpulan yang nyaman. Misalnya, di retail atau tempat lain yang sering dilalui orang, memerlukan ruang ekstra dan pengawasan dari personel retail. Kenyamanan dan biaya pengoperasian tidak selalu berjalan seiring saat mengatur pengumpulan (Kanga, 2005). Produk yang berbeda (dari ponsel hingga televisi atau lemari es) juga belum tentu dikelola dengan baik dengan cara yang sama.

Membangun skema pengumpulan hemat biaya untuk LPLE yang diterima secara luas oleh konsumen membutuhkan waktu. Memperkenalkan agenda daur ulang dan membangun infrastruktur yang diperlukan adalah langkah pertama untuk membangun jaringan pengumpulan limbah elektronik. Setelah program

diuji dan dinilai, maka dapat diperluas melalui kerjasama dengan mitra seperti perusahaan ritel, lembaga pendidikan, LSM dan otoritas lokal atau regional. Tahap selanjutnya adalah perbaikan dan pengembangan lebih lanjut program melalui pengumpulan dan analisis data, dan melalui pemahaman yang lebih baik tentang perilaku konsumen lokal. Di negara-negara UE, produsen telah membentuk OTP yang menyiapkan infrastruktur pengumpulan permanen untuk limbah atas nama produsen untuk memenuhi persyaratan yang diberlakukan oleh Petunjuk LPLE Eropa (Arahan Parlemen Eropa).

3.1.1. Pengumpulan Ponsel

Meskipun infrastruktur pengumpulan telepon seluler telah tersedia cukup lama di banyak negara, sebagian besar konsumen masih belum menyadari potensi daur ulang telepon lama mereka. Lebih banyak komunikasi, bersama dengan opsi pengambilan kembali yang mudah, dianggap sebagai sarana yang diperlukan untuk meningkatkan kesadaran konsumen untuk secara signifikan meningkatkan jumlah ponsel yang dikembalikan untuk didaur ulang. Untuk pemilik ponsel yang masa pakainya sudah habis, ada kios atau tempat pengembalian (Gambar. 5). Dalam pendekatan ini, lokasi wadah penampung limbah harus mudah diakses dan aman. Seringkali sulit untuk memperkirakan kapan wadah penampung limbah penuh dan perlu dikosongkan; oleh karena itu solusi logistik yang efektif itu layak secara ekonomi juga perlu di tempatnya. Orang cenderung membuang segala jenis sampah, dari kaleng kosong dan gelas kertas hingga apel, di tempat sampah daur ulang yang terdapat di mall atau kafetaria. Hal ini meningkatkan kebutuhan pemilahan material di fasilitas daur ulang.



Gambar. 5. Tempat penampung limbah daur ulang untuk ponsel, ukuran 350 mm 350 mm 1000 mm (Nokia).

Bagi konsumen, salah satu cara termudah untuk mengembalikan ponsel usang miliknya untuk didaur ulang adalah dengan menggunakan layanan pos. Dengan amplop prabayar (misalnya Gambar. 6), seseorang dapat meletakkan telepon di kotak surat terdekat dan akan dikirim untuk didaur ulang dengan benar. Amplop dapat didistribusikan dengan berbagai cara. Perangkat dan alamat prabayar dapat diunduh dan dicetak dari internet, sedangkan amplop dapat dikirimkan langsung ke konsumen berdasarkan permintaan, didistribusikan di toko ritel atau dimasukkan dalam paket penjualan produk baru. Amplop memberikan proses pengembalian yang mudah, tetapi mahal dalam hal logistik terbalik.



Gambar. 6. Contoh amplop daur ulang untuk ponsel, di distribusikan di kantor pos di Finlandia (Nokia).

3.2. Daur Ulang Proses Teknis Industri Untuk Daur Ulang Limbah Elektronik

Daur ulang logam dengan jumlah banyak, misalnya paduan besi atau aluminium, memiliki sejarah yang panjang. Teknologi daur ulang logam berkembang cukup baik dan menjadi efisien. Sebaliknya, teknologi daur ulang barang bekas elektronik dan pemulihan logam terkait sebagai sumber bahan baku sekunder memiliki sejarah yang agak singkat, dan teknologi daur ulang yang tersedia kurang stabil. Produk elektronik pertama-tama rumit/kompleks, mengandung bahan dari semua jenis yang berbeda. Berbagai bahan sangat terintegrasi satu sama lain, hadir dalam jumlah rendah dan sering kali tertanam dalam lapisan tipis. Ini membuat pemisahan kelompok bahan yang berbeda agak sulit dalam proses daur ulang limbah elektronik. Selain itu, terdapat berbagai macam komoditas elektronik dan peralatan listrik, masing-masing memiliki bahan dan komponen yang berbeda. Bahkan semua ponsel tidak sama, sehingga variasi jenis dan struktur produk dalam proses daur ulang sangat besar.

Seperti diuraikan di Bagian 3 dan Gambar 4, proses teknis untuk daur ulang limbah elektronik terdiri dari dua langkah berikut:

- Pengolahan awal
 - Memilah dan pemisahan berdasarkan komponen dan bahan
 - Pembongkaran, pelepasan bagian berbahaya atau berharga secara keseluruhan (misalnya baterai)
 - Peningkatan, menyiapkan bahan untuk pemurnian dengan menggunakan proses mekanis atau metalurgi.
- Kembalikan ke pabrik
 - Daur ulang melalui pemurnian bahan tertentu dikembalikan sebagai sumber bahan sekunder untuk digunakan lebih lanjut
 - Insinerasi, kandungan energi digunakan
 - Pembuangan bahan yang tidak bisa dimanfaatkan

Biasanya, perusahaan daur ulang elektronik menangani proses pengolahan awal, misalnya mereka menyortir LPLE, dipisahkan bahan dan dipersiapkan untuk langkah terakhir, yaitu memberikan umpan balik ke perusahaan sebagai

sumber sekunder bahan baku pembangkit energi melalui sistem pembakaran atau pembuangan di tempat pembuangan sampah.

Pada tahap pengolahan awal, proses teknologi yang berbeda digunakan untuk memisahkan kandungan bahan terintegrasi dalam produk sehingga fraksi bahan yang berbeda dapat diarahkan ke proses daur ulang yang sesuai. Proses ini dijelaskan pada Gambar 7. Pembongkaran peralatan elektronik yang kompleks dilakukan hanya jika peralatan tersebut mengandung bagian-bagian yang berharga yang tidak boleh diencerkan dengan bagian yang kurang berharga dan yang akan menghasilkan keuntungan jika terpisah. didaur ulang, seperti papan kabel yang dicetak, atau memang mengandung bahan berbahaya yang perlu dipisahkan untuk pengolahan limbah berbahaya khusus, seperti lampu yang mengandung merkuri. Dalam banyak kasus, pembongkaran masih dilakukan secara manual, menjadikannya fase *bottleneck* dalam pengolahan limbah elektronik dalam jumlah besar. Berbagai upaya telah dilakukan untuk menghilangkan zat yang berpotensi berbahaya dalam produksi produk elektronik. Misalnya, bahan seperti timbal, penghambat api brominasi dan polivinil klorida tidak lagi digunakan pada ponsel Nokia. Fase selanjutnya dalam proses pengolahan awal biasanya pengurangan ukuran dengan menggunakan *shredders*. Langkah selanjutnya dalam proses tersebut bertujuan untuk memisahkan logam besi, aluminium dan plastik dari bahan perobek, dan memerlukan penggunaan magnet, pemisahan arus eddy dan pemisahan padatan. Perlu diperhatikan bahwa proses selalu disesuaikan dengan campuran produk yang sedang diproses, sehingga terjadi pemisahan dilakukan hanya sejauh yang diperlukan. Misalnya, ponsel tidak memerlukan proses pengolahan awal yang ekstensif, dan risiko kehilangan logam mulia akan meningkat selama proses tersebut. Fraksi material dipisahkan dengan perlakuan awal yang berpotensi untuk dimasukkan kembali ke pasar, yaitu untuk digunakan kembali dalam produk baru, akan dijual ke perusahaan yang sama yang memproduksi bahan tersebut baik dari sumber bahan baku primer maupun sumber sekunder hasil daur ulang.



Gambar. 7. Alur proses selama pengolahan awal limbah elektronik

Berkenaan dengan pemulihan kandungan material yang paling berharga, yaitu logam mulia dan tembaga, peleburan tembaga terintegrasi melaporkan hasil pemulihan yang tinggi lebih dari 95% (Hagelugen C. 2006)

Bahan organik digunakan dalam proses ini sebagai pengganti kokas sebagai agen pereduksi dan sebagai bahan bakar (sumber energi). Besi dan aluminium dipindahkan ke terak dalam peleburan tembaga terintegrasi, dan dengan demikian tidak diperoleh kembali sebagai logam; sebaliknya, mereka dibuang, mis. di tempat pembuangan akhir. Banyak produk elektronik mengandung penghambat api terhalogenasi yang dapat membentuk dioksin kecuali jika tindakan khusus diambil untuk menanganinya. Dalam peleburan tembaga terintegrasi, limbah elektronik dapat diolah tanpa emisi dioksin (Hagelugen C, 2006). Daur ulang plastik lebih rumit daripada daur ulang logam. Pertama-tama, limbah elektronik mengandung berbagai jenis plastik, yang harus diidentifikasi dan dipisahkan untuk didaur ulang. Plastik sering kali dilapisi, dicat dan dibuat tahan api, yang kesemuanya dianggap sebagai kotoran dalam proses daur ulang, membuat bahan menjadi kurang berharga, yaitu kurang menguntungkan. Plastik juga dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam proses daur ulang tembaga dan logam mulia. Pertimbangan daur ulang yang efisien pada tahap desain peralatan elektronik dapat mendukung perawatan awal yang efisien dari LPLE, dan karena itu akan berdampak pada biaya daur ulang. Karena produk elektronik memiliki

komposisi yang beragam dan struktur, merupakan tantangan untuk mengembangkan teknologi daur ulang canggih yang sesuai untuk semua jenis produk yang berbeda. Faktor utama yang menghambat pengembangan teknologi daur ulang canggih adalah sedikit limbah elektronik yang dikumpulkan. Fakta-fakta ini bersama-sama dapat menjelaskan mengapa belum banyak fasilitas yang mengkhususkan diri dalam daur ulang limbah elektronik jenis tertentu, dan mengapa fasilitas yang ada harus menerima semua jenis LPLE untuk perawatan. Karena volume setiap produk yang berbeda masih rendah, tingkat otomatisasi tetap rendah dan pengolahan limbah tidak dapat dioptimalkan untuk setiap jenis produk secara terpisah. Ini adalah faktor pembatas, misalnya dalam perolehan kembali unsur-unsur khusus, seperti logam mulia dan/atau logam tanah langka, dari komponen tertentu dalam suatu produk elektronik.

Produk bervariasi tidak hanya dalam kandungan materialnya, tetapi juga dalam ekonomi daur ulangnya. Beberapa produk mengandung bahan berharga dalam jumlah yang relatif besar, dan daur ulang produk ini menghasilkan nilai dan keuntungan. Ini biasanya produk dengan logam mulia yang mengandung papan kabel yang dicetak atau bagian logam besar. Beberapa produk mengandung komponen berbahaya yang perlu dibongkar dan ditangani di fasilitas pengolahan limbah khusus, seperti zat pendingin di lemari es lama atau kartrid toner. Produk juga dapat dibuat dari bahan yang tidak memiliki nilai jual kembali, dan dalam kasus ini daur ulang menjadi biaya. Telah terbukti bahwa untuk produk yang mengandung logam mulia dalam jumlah yang relatif tinggi, seperti ponsel, pengumpulan dan pengolahan terpisah, bahkan termasuk biaya logistik yang lebih tinggi, akan memberikan nilai lingkungan dan ekonomi yang lebih besar. Untuk produk yang mengandung lebih dari sekitar 250 ppm emas dan 150 ppm palladium, pengumpulan terpisah selalu lebih ramah lingkungan daripada mencampurkan produk ini dengan produk lain yang mengandung logam mulia dalam jumlah yang lebih kecil (Huisman J., 2003).

3.3. Meningkatkan Kesadaran: Peran Konsumen Dalam Daun Ulang

Konsumen memainkan peran besar dalam fase pertama rantai nilai, yaitu sikap positif individu terhadap daur ulang limbah elektronik sangat penting untuk

menjadikan seluruh proses daur ulang efisien dan berhasil. Dengan cara yang dibayangkan untuk masyarakat yang berkelanjutan, daur ulang limbah elektronik yang efisien akan memainkan peran utama dan terus meningkat. Intinya, itu bertumpu pada tiga pilar berikut:

- Kesadaran konsumen akan manfaat daur ulang yang menghasilkan tingkat pengumpulan yang tinggi;
- Teknologi daur ulang yang efisien, dan
- Pemulihan optimal bahan yang terkandung dalam limbah elektronik untuk digunakan lebih lanjut.

Meningkatnya kesadaran saat ini merupakan kunci keberhasilan pengelolaan limbah elektronik, karena partisipasi dalam program pengumpulan/daur ulang yang sedang berlangsung belum menjadi praktik umum di masyarakat saat ini. Secara umum, konsumen menghargai informasi tentang bagaimana dan dimana mendaur ulang peralatan elektronik lama mereka. Keberhasilan program pengumpulan konsumen tidak hanya didasarkan pada kesadaran dan kenyamanan, tetapi juga untuk waktu yang panjang: program harus dilakukan selama bertahun-tahun sebelum daur ulang menjadi kebiasaan semua orang.



Gambar 8. Statistik tentang kuota daur ulang ponsel di 11 negara (Perusahaan Nokia).

Sebuah studi konsumen oleh Nokia, menunjukkan bahwa, dalam skala global, kurang dari 10% orang telah mendaur ulang ponsel lama mereka. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 8, bahkan di negara-negara industri maju seperti

AS dan Inggris, hanya sekitar 15% pemilik yang mengembalikan ponsel lama mereka untuk didaur ulang; untuk beberapa negara berkembang, rasionya serendah 1%. Sebagian besar telepon yang tidak lagi digunakan tetap berada di rumah dan menunjukkan potensi daur ulang yang besar karena, rata-rata, seseorang telah memiliki lima telepon seluler. Kurangnya kesadaran bahwa daur ulang dapat dilakukan dan kurangnya informasi tentang lokasi daur ulang harus dilihat sebagai alasan utama keengganan sebagian besar konsumen untuk mengembalikan telepon usang mereka untuk didaur ulang. Ini berarti bahwa tantangan pertama dalam memotivasi orang untuk mendaur ulang barang elektronik adalah membuat mereka memahami bahwa ada manfaat ekologis yang sangat besar dan secara teknis memungkinkan, serta memberitahu mereka tentang cara melakukannya. Alasan lain untuk tidak mengembalikan ponsel di akhir masa pakainya untuk didaur ulang dapat ditemukan dalam persepsi pemilik bahwa ponsel lama masih memiliki nilai moneter atau sentimental yang cukup besar, dan dalam kekhawatirannya tentang keamanan data pribadi yang disimpan di ponsel usang tersebut.

Kebiasaan umum mendaur ulang juga dinilai dalam studi yang sama dengan mewawancarai 500 orang di 11 negara berbeda (Perusahaan Nokia). Orang yang diwawancarai ditanya mana dari 11 barang berikut yang telah mereka kembalikan untuk didaur ulang: kertas/karton, botol plastik, kaleng, kaca, logam, pakaian/sepatu, telepon genggam, baterai, televisi, lemari es dan komputer. Gambar. 9 menunjukkan jumlah rata-rata item yang terdaftar dikembalikan untuk didaur ulang di negara tertentu. Di negara seperti Jerman yang sudah memiliki budaya daur ulang yang berkembang dengan baik, rata-rata setiap narasumber telah mengembalikan 7,4 dari 11 item yang terdaftar, sedangkan di Indonesia angka yang sesuai hanya 1,4. Dari daftar tersebut, bahan yang paling sering didaur ulang adalah kertas/karton, botol plastik, gelas dan kaleng. Produk yang lebih canggih, seperti elektronik, dilaporkan lebih sedikit didaur ulang dibandingkan bahan lain di negara maju dan berkembang. Tidak mengherankan jika secara umum kesadaran dan sikap positif terhadap daur ulang jauh lebih berbeda di negara maju dibandingkan dengan negara berkembang, pada dasarnya

karena program daur ulang, infrastruktur dan peraturan perundang-undangan sudah ada.



Gambar 9. Rata-rata jumlah item berbeda dari daftar dengan 11 item yang didaur ulang menurut survei konsumen di berbagai negara (Perusahaan Nokia)

3.3.1. Kampanye Daur Ulang Untuk Ponsel

Program percontohan pengembalian pertama untuk telepon seluler terjadi di Eropa pada tahun 1997. Program ini dijalankan di Swedia dan Inggris, dan dilaksanakan oleh perusahaan anggota grup Asosiasi Industri Elektronik dan Telekomunikasi Eropa, yang terdiri dari enam pabrik telepon seluler (Tanskanen P, 2007). Sejak program pertama, terdapat banyak inisiatif pengumpulan yang bertujuan untuk meningkatkan kesadaran konsumen akan kebutuhan dan manfaat daur ulang elektronik dalam skala global. Kampanye tersebut dimaksudkan untuk mendukung infrastruktur daur ulang yang sudah ada atau mendorong diskusi tentang masalah daur ulang di negara-negara di mana keberlanjutan belum mendapat prioritas tinggi. Sebagai contoh, Perusahaan Nokia saat ini menawarkan pengembalian permanen ponsel usang di hampir 100 negara. Berdasarkan umpan balik konsumen dan pengalaman yang diperoleh dari pengoperasian berbagai program daur ulang, disimpulkan bahwa program daur ulang perlu dibuat lebih nyaman dan efisien untuk menarik lebih banyak konsumen untuk berpartisipasi. Kerja sama dengan berbagai pemangku kepentingan penting dalam menciptakan sistem daur ulang yang efisien. Misalnya, program daur ulang untuk telepon

seluler dilakukan bekerja sama dengan OTP, operator telekomunikasi, rantai ritel, perusahaan daur ulang, LSM lingkungan, serta sekolah dan universitas. Ini adalah jenis mitra yang dapat membantu mendekatkan program daur ulang kepada masyarakat, tidak terkecuali melalui pendidikan.

Program daur ulang untuk ponsel diprakarsai oleh Nokia di Cina pada akhir tahun 2005. Program ini diluncurkan bekerja sama dengan operator telekomunikasi China Mobile dan Motorola. Pada tahun berikutnya, enam produsen ponsel lainnya telah bergabung dengan program tersebut. Program ini berkembang setiap tahun sejak saat itu. Dimulai dengan partisipasi dari 40 kota besar dan sekitar 1500 lokasi *take-back*; setelah hanya 6 tahun mencakup 300 kota. Hingga akhir 2010, lebih dari 160 ton sampah terkumpul dalam kerangka program itu. Berbagai insentif telah ditawarkan selama bertahun-tahun untuk menarik konsumen berpartisipasi dalam program ini, mulai dari kartu telepon prabayar hingga tas belanja ramah lingkungan dan penanaman pohon.

Di negara-negara Amerika Latin, program daur ulang bersama pertama dengan operator telekomunikasi diluncurkan di Meksiko pada tahun 2006; Program semacam itu sekarang telah diperluas ke Peru, Brasil, Chili, Kolombia, Ekuador, dan Argentina, yang terdiri dari 564 lokasi pengumpulan pada tahun 2011. Negara-negara Amerika Latin telah mengumpulkan 375 ton limbah elektronik berdasarkan program-program ini. Keberhasilan program-program ini dapat menjadi contoh yang baik tentang upaya dan waktu yang diperlukan untuk meningkatkan kesadaran konsumen di negara berkembang, tetapi juga untuk perluasan yang cepat dari konsep yang berhasil dari satu negara ke negara lain.

Nokia juga telah meningkatkan kesadaran daur ulang bekerja sama dengan LSM lingkungan di banyak negara. Program daur ulang telah diluncurkan bekerja sama dengan *World Wide Fund for Nature* di Finlandia, Thailand, Afrika Selatan, Indonesia dan negara-negara Teluk Hilir. Di UEA, terdapat kolaborasi berkelanjutan dengan *Emirates Environmental Group*, berbagai sekolah dan perusahaan. Poster yang dibuat oleh pembuat film terkenal di UEA membantu "mengubah" anak-anak menjadi "pahlawan daur ulang". Untuk tujuan yang sama,

Nokia India menerbitkan dua buku pendidikan untuk anak-anak bekerja sama dengan *The Energy and Resource Institute*.

4. KESIMPULAN

Semua barang elektronik yang dijual di pasar pada akhirnya akan menjadi usang. Limbah elektronik yang dihasilkan, dalam skala global meningkat pesat, mengandung bahan yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan mentah sekunder serta bahan dan zat berbahaya. Karenanya, untuk lingkungan yang berkelanjutan, limbah elektronik perlu diarahkan dengan benar proses akhir masa pakainya, yaitu daur ulang dan pembuangan. Saat ini, di Eropa hingga dua pertiga dari limbah elektronik yang dihasilkan masih ditimbun atau diekspor ke negara-negara berkembang yang seringkali kekurangan fasilitas daur ulang dan pembuangan yang tepat. Bahkan di negara industri kurang dari 15% ponsel dikembalikan untuk didaur ulang. Ini harus dianggap sebagai kehilangan besar bahan berharga dan pemborosan energi. Undang-undang yang memadai untuk penanganan limbah elektronik dan kampanye pengumpulan yang diprakarsai oleh produsen dipandang sebagai kunci untuk pengembalian dan pengumpulan barang elektronik dan peralatan listrik yang masa pakainya lebih efisien. Sebaliknya, peningkatan jumlah limbah elektronik yang dikumpulkan secara signifikan akan membuat proses daur ulang lebih menguntungkan secara ekonomi; Peningkatan pendapatan akan memberikan insentif bagi perusahaan daur ulang untuk mengembangkan dan berinvestasi dalam teknologi daur ulang yang baru dan lebih efisien. Karena kompleksitas yang melekat pada desain dan komposisi peralatan elektronik, daur ulangnya jauh lebih rumit daripada daur ulang besi dan aluminium yang berasal dari jumlah besar dari bahan konstruksi curah di teknik sipil.

BAB III PEMBAHASAN

3.1 Data Jurnal dan Data Artikel

3.1.1 Identitas Jurnal Ilmiah

Jurnal	Acta Materialia
Cite Score	13.8
Impact Factor	7.656
5-Year Impact Factor	7.826
Source Normalized Impact per Paper (SNIP)	3.037
SCImago Journal Rank (SJR)	3.662
Abstracting and Indexing	• Materials Science Citation Index • Current Contents • Chemical Abstracts • Engineering Index • INSPEC • Pascal Francis • Applied Mechanics Reviews • Cambridge Scientific Abstracts • Metals Abstracts • Scopus

3.1.2 Identitas Artikel

Judul Artikel Ilmiah	Management And Recycling Of Electronic Waste
Nomor	61
Tahun	2013
Halaman	1001-1011
Penerbit	Elsevier
Penulis	Pia Tanskanen ¹

Institusi Penulis	¹ Nokia Corporation, Keilalahdentie 2-4, Espoo 02150, Finland
-------------------	--

3.2 *State of the Art*

State of the art dari jurnal ini merupakan beberapa jurnal yang ini diambil dari beberapa contoh penelitian terdahulu sebagai panduan ataupun contoh untuk penelitian yang dilakukan saat ini. Contoh yang diambil berupa jurnal-jurnal mengenai pengendalian limbah elektronik dapat dilihat pada (Tabel 3.2):

Tabel 3.2. State of the art

No.	Deskripsi Jurnal	Pembahasan
1.	<i>Handling WEEE waste Hows: On the effectiveness of producer responsibility in a globalizing world.</i> Penulis: B. C. J. Zoeteman, Jan Venselaar, H.R. Krikke Tahun: 2010 Jurnal: International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Makalah ini menganalisis faktor-faktor eksogen, termasuk membuat undang-undang yang mempromosikan Tanggung Jawab Produsen yang Diperluas, yang mendukung regionalisasi rantai pasokan (sebaliknya) sebagai langkah selanjutnya. Alasan Menjadi Tinjauan Penelitian: Analisis menunjukkan bahwa dalam dekade mendatang, dua opsi akan bersaing dalam skala global: (1) perluasan lebih lanjut dari sistem pemulihan tingkat rendah daur ulang limbah elektronik, dan (2) pendekatan regional dengan aplikasi pemulihan tingkat yang lebih tinggi.
2.	<i>Waste: A Handbook for Management</i> Penulis: Jirang Cui dan Hans J. Røven Tahun: 2011 ISBN: 9780123814753	Tujuan bab ini adalah memberikan gambaran umum limbah elektronik, status terkini dari pengelolaan limbah elektronik, dan daur ulang teknologi untuk pemulihan logam dari peralatan elektronik yang habis masa pakainya Alasan Menjadi Tinjauan Penelitian: Karakterisasi limbah elektronik menunjukkan bahwa limbah elektronik sangat heterogen dan kompleks dalam hal jenis komponen dan bahan.
3.	<i>Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options</i>	Manfaat perangkat elektronik konsumen relatif singkat, dan menurun sebagai akibat dari perubahan yang cepat pada fitur dan kemampuan peralatan. Ini menciptakan aliran

Penulis: Hai-Yong Kang, Julie M. Schoenung Tahun: 2005 Jurnal: Resources, Conservation and Recycling	limbah yang besar dari peralatan elektronik usang, limbah elektronik (limbah elektronik). Alasan Menjadi Tinjauan Penelitian: Menjelaskan berbagai metode yang tersedia untuk memulihkan bahan dari limbah elektronik. Secara khusus, berbagai teknologi daur ulang
--	--

3.3 Kekurangan/Kelemahan dari Penelitian

Adapun kekurangan dalam artikel ini adalah tidak menjelaskan lebih lanjut tentang perkembangan dalam teknologi daur ulang limbah elektronik. Dan tidak menjelaskan bagaimana proses daur ulang yang dilakukan secara tidak benar yang dilakukan oleh pihak informal di negara berkembang.

3.4 Kelebihan/Keunggulan dari Penelitian

Adapun kelebihan yang disampaikan dalam artikel ini adalah bahwa banyak skema yang bisa dilakukan dalam melakukan pengolahan daur ulang limbah elektronik. Pengolahan limbah elektronik mampu mengurangi dalam pengambilan sumber daya alam yang ada. Dengan pengolahan daur ulang limbah elektronik mampu pemasukan bagi kelompok daur ulang.

3.5 Dampak Penelitian

Adapun dampak penelitian artikel ini, maka dengan adanya pengelolaan dan daur ulang limbah elektronik harus lebih banyak dilakukan komunikasi bersama dengan opsi pengambilan yang mudah, karena dianggap sebagai sarana yang diperlukan untuk meningkatkan kesadaran konsumen untuk secara signifikan meningkatkan jumlah ponsel yang dikembalikan untuk didaur ulang.

BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 KESIMPULAN

Semua barang elektronik yang dijual di pasar pada akhirnya akan menjadi usang. Limbah elektronik yang dihasilkan, mengandung bahan yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan mentah serta mengandung bahan dan zat berbahaya. Karenanya, untuk lingkungan yang berkelanjutan, limbah elektronik perlu diarahkan dengan benar proses akhir masa pakainya, yaitu daur ulang dan pembuangan. Kesadaran konsumen akan manfaat daur ulang yang menghasilkan tingkat pengumpulan yang tinggi. Undang - undang yang memadai untuk penanganan limbah elektronik dan kampanye pengumpulan yang diprakarsai oleh produsen dipandang sebagai kunci untuk pengembalian dan pengumpulan barang elektronik dan peralatan listrik yang masa pakainya lebih efisien.

4.2 SARAN

Seperti yang sudah disampaikan oleh penulis artikel ini, diperlukan komunikasi (kampanye) terutama kepada konsumen. Lalu diperlukan peran politik untuk memperlancar kampanye daur ulang limbah elektronik dalam mengatur kebijakannya, serta dukungan dari pihak stake holder, LSM lingkungan, universitas dan sekolah untuk ikut andil dalam mengatur pengelolaan dan daur ulang limbah elektronik ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bastiaan C, Zoeteman J, Krikke Hr, Venselaar J. *Int J Adv Manuf Technol* 2010;47:415.
- Chancerel P, Rotter S. *Pengelolaan Limbah* 200; 29: 2336.
- Cui J, Forssberg E.J *Materi Bahaya* 2003; B99: 243.
- Greenpeace Intl. Di mana limbah elektronik berakhir? 24 Februari 2009. <<http://www.greenpeace.org>>.
- Hagelucken C. Dalam: Prosiding simposium internasional IEEE 2006 tentang elektronik dan lingkungan, 8–11 Mei 2006. AS: Curran Associates Incorporated; 2006. hal. 218–23.
- Huisman J. Desain untuk publikasi program Keberlanjutan no 8, Tesis Delft University of Technology, Delft, Belanda; 2003.
- Jirang Cui, Roven J. *Limbah - buku pegangan untuk pengelolaan*. Elsevier: Academic Press; 2011. hal. 281–96.
- Kanga Hai-Yong, Schoenung JM. *Resour Conserv Recycl* 200; 45: 368.
- Komisi Eropa / Penyusunan Ulang Petunjuk WEEE. <http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm> [2..42012].
- Nokia Corporation. *Studi konsumen*; 2011
- Petunjuk 2002/96 / EC Parlemen Eropa dan Dewan 27 Januari 2003 tentang limbah peralatan listrik dan elektronik *O Journal of EU L3*; 2003. hal. 24–38
- Pongra'cz E, Yla-Mella J, Tanskanen P, Keiski RL. Dalam: Prosiding konferensi internasional ke-23 tentang teknologi dan pengelolaan limbah padat, Philadelphia, PA; 30 Maret – 2 April 2008 *Jurnal Teknologi dan Manajemen Persampahan*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Widener; 2008. hal. 359–65.

Tanskanen P, Takala R. J Cleaner Prod 2006; 14: 1326–32.

Tanskanen P, Butler E. Dalam: Prosiding elektronik IEEE dan lingkungan, Orlando; 7–10 Mei 2007. hlm. 206–9.

WasteOnline. <<http://www.wasteonline.org.uk>>.

Widmer R, Oswald-Krapf H, Sinha-Khetriwal D, Schenellmann M, Bo`ni H. Penilaian Dampak Lingkungan Rev 2005; 25: 436.

