



Artikel Penelitian

## Manufaktur Berkelanjutan Pada Sampah Elektronik: Kasus Sampah Kulkas

Agus Sutanto, Berry Yuliandra, Willy Pratama

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Kecamatan Pauh, Padang, 25163, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

#### Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 4 Februari 2017

Revisi Akhir: 12 Mei 2017

Diterbitkan Online: 16 Mei 2017

### KATA KUNCI

#### e-waste

Manufaktur berkelanjutan

Urban mining

Kulkas

### KORESPONDENSI

Telepon: +62 (0751) 12345678

E-mail: [sutanto@ft.unand.ac.id](mailto:sutanto@ft.unand.ac.id)

### ABSTRACT

The growth of the Wastes from Electric and Electronic Equipments (WEEEs) or e-waste is presently considered to be one of the rapid increasing wastes streams in the large city of Indonesia. Concurrently, the urban mining activities for e-waste by informal sectors have potential on the economic, social and environment dimension. The three dimensions form a triple bottom line that supports the principles of sustainability in the manufacturing. In this research, the observation in some remote areas in Padang is conducted to find out the model of e-waste collection system activities from the household and its economic potential, especially for refrigerators e-waste. The result shows that minimally there are three models of the e-waste collecting system for refrigerator e-wastes. The model involves all the parties in urban mining activities such as e-waste collectors from household, repair shops, collectors who continue the re-assembly and classify the e-waste and final collectors who did the cleaning, crushing, packing and transporting e-waste to another city to do the recycling process. In this e-waste collecting model the components of refrigerator e-waste could be reused, remanufactured and recycled. From the reassembly of therefrigerators it is obtained the material composition of 58.1% iron, 26.3% plastic, 10.9% styrofoam 10.9%, 2.1% aluminum, 1.8% copper pipe, and 0.8% others. The highest cumulative retained value is obtained from this collecting system ranged between IDR 230.200 to 355.200, where some second-hand components may still be inreuse and remanufacture. This price is equivalent to 14.9% to 22.1% the purchase price of a new refrigerator.

## 1. PENDAHULUAN

Model ekonomi tradisional yang mengolah bahan dasar dan sumber daya (*resource extraction*), selanjutnya membuat produk (*product making*) dan diakhiri dengan pembuangan produk yang sudah tidak dipakai lagi (*waste disposal*) sudah tidak sesuai lagi dengan tatanan dunia sekarang ini yang memiliki sumber daya material yang makin terbatas. Paradigma seperti ini yang dikenal dengan sebutan *linier economy* harus sudah digantikan dengan paradigma baru yang disebut dengan istilah *circular economy*, yang merupakan model aktifitas manufaktur yang “melingkar” atau membentuk siklus produk yang tertutup (*product life-cycle*) dengan adanya aktifitas aliran balik (*reverse logistic*). Aktifitas yang ditambahkan disini adalah kegiatan untuk memanfaatkan kembali produk yang sudah dipakai (*waste products*) menjadi material atau komponen yang masih bernilai ekonomi dengan beberapa metode penanganan setelah produk tersebut dipakai (*post-used*).

Sampah dari peralatan elektrik dan elektronik atau *Waste of Electric and Electronic Equipments* (WEEEs) [2,3] atau sering disingkat dengan *electronic waste* (*e-waste*) seperti pada Gambar 1 adalah limbah yang berasal dari barang rumah tangga yang mengkonsumsi listrik yang sudah mencapai akhir hidupnya (*end of life*), karena dianggap telah rusak, bekas dan tidak dipakai lagi oleh pemiliknya [4,5].

<https://doi.org/10.25077/josi.v16.n1.p25-33.2017>



Gambar 1. Sampah elektronik (*e-waste*) [1]

Sampah elektronik merupakan jenis limbah yang pertumbuhannya paling tinggi tiap tahunnya. Dalam setiap sampah elektronik terkandung material dan logam berharga disamping juga mengandung bahaya dan beracun yang dapat menyebabkan pencemaran dan kerusakan lingkungan jika sampah elektronik tidak dikelola dengan baik.

Potensi *e-waste* ini sangat besar, menurut data Forbes tahun 2014 [6], ada sekitar 41,8 juta ton kulkas, televisi, mesin cuci, AC, komputer dan peralatan elektronik bekas lain. Menurut data ini, *e-waste* ini masih terkandung sekitar 16.500 kiloton baja/besi,

1.900 kiloton tembaga, dan 300 ton emas. Dengan jumlah total dikapitalisasi semua mineral *e-waste* ini, maka nilai uangnya bisa mencapai USD 52 miliar. Untuk Indonesia dengan jumlah penduduk sekitar 250 juta orang, maka Indonesia membuang sampah elektronik ini sekitar 3,0 kg per kepala atau tahun 2014 mencapai 745 kilo ton [7]. *E-waste* di Indonesia juga ditangani secara unik, bila dibandingkan dengan di negara-negara maju. Secara umum masyarakat di Indonesia masih memperlakukan barang-barang elektronik yang sudah rusak dengan memperbaikinya di jasa servis. Sebagian barang-barang produk elektronik yang rusak dan tidak dipakai lagi, tidak dibuang di tempat pembuangan resmi. Hal ini juga membawa dampak sosial yang positif yaitu pekerjaan baru bagi komunitas pengepul yang datang ke rumah-rumah penduduk (*end-user*) yang bertujuan untuk membeli sampah elektronik masyarakat yang bekas dan tidak dipakai lagi. Sebagian dari hasil pembelian oleh pengepul pertama ini dijual lagi ke pengepul tingkat lanjut untuk dilakukan pembongkaran dan pemisahan berdasarkan kesamaan material. Sebagian lagi ditawarkan kepada pihak usaha bengkel reparasi dan jasa servis. Untuk yang terakhir ini, sebagian komponen dan rakitan digunakan kembali (*reuse*) secara langsung sebagai barang dan atau dilakukan proses manufaktur kembali (*remanufacturing*) untuk mendapatkan produk “bekas yang baru” yang masih layak dipakai.

## 2. E-WASTE DAN MANUFAKTUR BERKELANJUTAN

### 2.1. *E-waste* dan Penanganannya

Seluruh peralatan elektrik seperti kulkas, mesin cuci, AC dan peralatan elektronik seperti komputer, perangkat elektronik rumah tangga dan lain-lain yang dijual di pasar memiliki siklus akhir hidup dan tidak dipergunakan lagi oleh pengguna peralatan tersebut akan menjadi sampah atau limbah perangkat elektrik dan elektronik atau lebih disingkat dengan sebutan *e-waste* [8]. Kondisi tersebut tidak bisa dihindari, sehingga secara tidak langsung bisa dikatakan bahwa perkembangan teknologi dan ekonomi berperan dalam meningkatkan volume sampah elektronik dan beban lingkungan. Risiko yang ditimbulkan bisa diminimasi melalui konsep manufaktur berkelanjutan dengan cara *reuse*, *repair* dan *remanufacture* dalam siklus hidup produk [9].

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbanyak di wilayah Asia Tenggara. Menurut laporan OECD [9], Indonesia bersama dengan China, India, Rusia dan Afrika Selatan berpotensi untuk menjadi penyumbang WEEE terbanyak. Manajemen sampah elektronik diperkirakan akan menjadi salah satu tantangan terbesar di Indonesia dalam beberapa dekade ke depan. Pada masa sekarang belum terdapat regulasi khusus terkait pengelolaan sampah elektronik di Indonesia. Akan tetapi sektor informal telah memegang peranan penting dengan menjadi pengumpul dan pengelola sampah-sampah elektronik yang bernilai dari aliran sampah domestik [10]. Keterlibatan sektor informal tersebut merupakan perbedaan utama antara pola pengelolaan sampah elektronik di Indonesia dengan negara-negara maju. Oleh karena itu, perlu dilaksanakan penelitian untuk mengkaji pola perilaku pengelolaan sampah di Indonesia. Penanganan *e-waste* dengan cara menggunakan kembali (*reuse*) merupakan solusi yang paling menguntungkan dari perspektif lingkungan karena membutuhkan sumber daya, energi, dan tenaga kerja yang lebih sedikit dibandingkan dengan memproduksi produk baru, bahkan jika dibandingkan dengan *recycling* atau *disposal*. Penggunaan produk yang di-*reuse* dapat

mengurangi emisi bahan-bahan berbahaya yang dihasilkan oleh sampah elektronik [11].

Alternatif penanganan *e-waste*, selain di-*reuse*, adalah *remanufacturing* yang merupakan sebuah proses produksi yang bertujuan untuk mengembalikan kondisi dari produk yang telah habis masa pakainya menjadi seperti baru [12]. Hal senada juga dikemukakan oleh King *et al.* [13] yang mendefinisikan *remanufacturing* sebagai proses untuk mengembalikan tingkat performansi produk yang telah digunakan sehingga bisa dibandingkan dengan produk baru yang sejenis. Keunggulan dari melaksanakan proses *remanufacture* adalah meningkatkan efisiensi penggunaan material dan konsumsi energi, sehingga berkontribusi secara langsung terhadap usaha penghematan energi dan pengurangan sampah [13]. Keunggulan dari sisi lingkungan dan ekonomi menjadikan *remanufacturing* sebagai salah satu strategi penting pada berbagai industri [14]. *Remanufacturing* berbeda dibandingkan *recycling*, terutama dari segi pengelolaan produk yang telah menjadi sampah. Produk mengalami proses pengolahan secara ekstensif dalam proses *remanufacturing*, dibandingkan dengan proses *recycling* [15]. Proses *remanufacturing* juga dikategorikan sebagai strategi *product recovery*, sementara *recycling* merupakan strategi bagi *material recovery* [16]. Oleh sebab itu strategi *remanufacture* menjembatani antara keuntungan lingkungan dan efektivitas penggunaan aset [17].

*Recycling* atau daur ulang menawarkan peluang untuk mengurangi dampak lingkungan dari sampah elektronik [18]. Jika dikelola dengan baik, proses *recycling* dapat menjadi sumber material baru untuk memenuhi kebutuhan industri [10], sehingga mampu mengurangi kebutuhan akan bahan baku yang diekstraksi dari alam. Hal tersebut pada akhirnya akan meminimasi jumlah energi, polusi dan emisi yang dihasilkan oleh proses penambangan bahan baku. Akan tetapi perlu diingat bahwa nilai material yang bisa di-*recycling* berbeda-beda untuk setiap jenis produk, sebagai contoh *recycling mobile phone* lebih menguntungkan dari pada *hairdryer* karena memiliki lebih banyak material berharga [7].

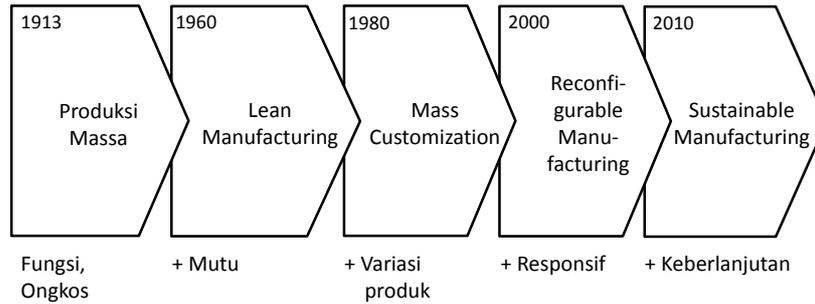
Kondisi ini memberi dampak langsung kepada pengurangan beban lingkungan terhadap sampah produk bekas, sekaligus berdampak secara sosial dalam bentuk ketersediaan lapangan kerja. Ketiga dimensi ini (ekonomi, lingkungan dan sosial) membentuk sebuah *triple bottom line* yang sangat mendukung prinsip-prinsip manufaktur berkelanjutan.

### 2.2. Manufaktur yang Berkelanjutan

Salah satu konsep yang sangat penting dewasa ini bagi setiap industri manufaktur adalah isu kesinambungan (*sustainability*). Diakibatkan oleh meningkatnya kepedulian terhadap kerusakan lingkungan oleh pertumbuhan ekonomi, isu-isu keberlanjutan pertama kali diperkenalkan pada tahun 1987 ketika *World Commission on Environment and Development* atau dikenal sebagai *Brundtland Commission* menerbitkan buku berjudul *Our Common Future*. Dalam buku tersebut, *sustainability* didefinisikan “*meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*” [19]. Tahun 1992 pada Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) Bumi di Rio de Janeiro, Brasil, konsep keberlanjutan diterima sebagai sebuah agenda politik pembangunan untuk semua negara

di dunia yang dikenal juga dengan Agenda 21. Pada saat istilah “produksi berkelanjutan (*sustainable production*)” mulai

diperkenalkan sebagai suatu kriteria paradigma manufaktur terkini yang penting untuk diterapkan pada industri manufaktur.



Gambar 2. Evolusi Paradigma Sistem Manufaktur [20]

Bila dilihat sejarah ke belakang, evolusi paradigma sistem manufaktur sudah dimulai pada tahun 1913, dimana kebutuhan konsumen terbatas kepada fungsional produk saja dan dalam jumlah yang cukup banyak. Sistem produksi massal (*mass production*) menjadi strategi utama perusahaan untuk memenuhi permintaan konsumen dan juga untuk memperoleh keuntungan dengan cara menekan ongkos produksi. Fokus konsumen berikutnya adalah produk yang berkualitas dengan harga yang rendah. Paradigma sistem manufaktur menyesuaikan dirinya. Diprakarsai oleh Toyota di tahun 1960, sistem manufaktur ramping (*lean manufacturing*) [21] yang mengutamakan efisiensi dalam sistem produksi, muncul sebagai konsep utama untuk memenuhi permintaan konsumen tersebut di atas. Tahapan selanjutnya dari paradigama ini dipicu oleh peningkatan kesejahteraan dan semakin berkembangnya teknologi informasi. Kustomisasi massal (*mass customization*) menjadi paradigma manufaktur yang mampu menawarkan produk sesuai secara individu dengan menggunakan sumber daya produksi yang sama dengan produksi massal [22]. Isu yang tak kalah pentingnya adalah penyesuaian kapasitas dan fungsional produksi sebagai respon terhadap pasar membawa evolusi kepada sistem manufaktur yang dapat direkonfigurasi (*reconfigurable manufacturing*) [23]. Pada fase ini mulai disadari penurunan yang signifikan terhadap penggunaan energi dan material, dan penurunan buangan dan emisi *Green House Gas* (GHG) [24]. Maka perlu suatu paradigma sistem manufaktur yang mempertimbangkan seluruh tahapan dari siklus umur produk (*life cycle product*) dimulai dari ekstraksi material hingga akhir umur produk untuk tujuan memaksimalkan fungsi produk. Disamping itu, ada 3 aspek utama yang harus diperhatikan yaitu sosial, ekonomi dan lingkungan. Paradigma ini lebih dikenal dengan manufaktur berkelanjutan (*sustainable manufacturing*) [25]. Gambar 2 memperlihatkan evolusi paradigma manufaktur seperti yang disebutkan pada paragraf sebelumnya.

Menurut *Lowell Center for Sustainable Production*, manufaktur berkelanjutan adalah menghasilkan barang dan jasa dengan menggunakan proses dan sistem yang tidak polusi, menghemat energi dan sumber daya alam, ekonomis, aman dan sehat bagi pekerja, masyarakat, dan konsumen, dan secara sosial dan kreatif bermanfaat bagi semua orang [26]. Prinsip umum manufaktur berkelanjutan adalah untuk mengurangi intensitas penggunaan bahan baku, konsumsi energi, emisi, dan produk-produk yang tidak diinginkan tetapi tetap menjaga atau meningkatkan nilai produk yang dihasilkan untuk masyarakat dan untuk organisasi [27].

Agus Sutanto et al.

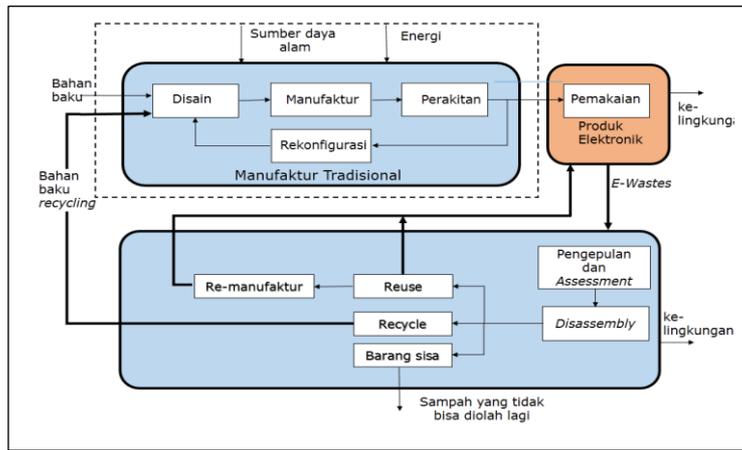
Dari definisi di atas dapat disimpulkan bahwa terdapat tiga dimensi yang harus diperhatikan dalam sistem manufaktur berkelanjutan yang sering disebut sebagai “*triple bottom line*” [28], yaitu :

- Aspek ekonomi: menghasilkan produk/jasa yang dapat memberikan keuntungan dan meningkatkan daya saing.
- Aspek lingkungan: sistem manufaktur yang proses produksinya mendukung penggunaan sumber daya alam yang minimal (terutama untuk sumber daya alam yang tak terbarukan) dan mengelola sumber daya dengan sebaik mungkin sehingga mengurangi dampak lingkungan.
- Aspek sosial: mendukung pengembangan sosial dan peningkatan kualitas hidup pekerja. Selain itu, aktifitas manufaktur berkelanjutan bila memberikan dampak kepada masyarakat sekitar seperti memberikan lapangan pekerjaan

### 2.3. Manufaktur Berkelanjutan pada Sampah Elektronik (E-Waste)

Model manufaktur tradisional bersifat mengolah bahan baku dan sumber daya lain untuk tujuan dimanufaktur dan dirakit untuk menghasilkan produk, dilanjutkan dengan tahap pemakaian, dan diakhiri dengan pembuangan produk yang sudah tidak dipakai lagi (Gambar 3). Bi dan Huang [29] mengatakan bahwa defisit dari sistem manufaktur tradisional ini adalah kurang mempertimbangkan banyak faktor seperti *waste management*, penggunaan kembali (*reuse*) dan *recovery* dari produk serta polusi. Hal ini dipandang kurang sesuai lagi dengan kondisi terkini yang memiliki sumber daya material yang makin terbatas terutama untuk produk elektrik dan elektronik.

Setelah produk elektrik dan elektronik berakhir umur pemakaiannya atau tidak berfungsi lagi atau mengalami penurunan fungsi produk, maka ia akan menjadi sampah elektronik (*e-waste*) yang akan membebani lingkungan. Dampaknya sebagian dari sumber daya alam akan menjadi pemborosan dalam menghasilkan produk, terutama pemborosan material dan energi. Defisit dari sistem manufaktur tradisional ini yang menjadi faktor pendorong suatu sistem manufaktur yang berkelanjutan yang sangat memper-timbangkan kegiatan “*post-use*” dari produk untuk meningkatkan nilai tambah (*value*). Kegiatan ini dapat merupakan penggunaan kembali komponen yang masih baik (*reuse*), atau sebagian komponen tersebut digunakan kembali dengan sedikit proses manufaktur (*re-manufaktur*), atau alternatif lain dengan mendaur ulang (*recycle*) sebagian material menjadi bahan baku (Gambar 3).



Gambar 3. Konsep Manufaktur yang berkelanjutan pada e-waste

Untuk kondisi secara umum di Kota Padang, maka penggunaan kembali komponen e-waste dilakukan secara penambangan sampah elektronik kota (*urban mining*) yang melibatkan beberapa pihak pelaku secara informal. Umumnya barang bekas atau sampah elektronik dibuang oleh pemilik akhir (*end-user*) akan sangat sedikit sampai ke tempat pembuangan akhir. Hal ini disebabkan aliran sampah elektronik ini masih digunakan oleh beberapa pihak seperti jasa servis atau reparasi untuk kasus-kasus rekondisi produk yang rusak dengan cara penggunaan kembali (*reuse*) sebagian komponen yang masih berfungsi dan atau memakai kembali komponen tersebut dengan penambahan sedikit proses manufaktur (*remanufacture*) menjadi “produk baru” yang dapat berfungsi lagi. Selain itu, sampah elektronik juga memberi nilai ekonomis dari sebagian komponen e-waste yang masih berfungsi pada pasar barang bekas (*secondary market*) atau lebih dikenal dengan pasar loak.

### 3. MODEL PENGUMPULAN SAMPAH KULKAS DI KOTA PADANG

Berdasarkan hasil survei yang sudah dilakukan terhadap kegiatan penanganan limbah perangkat elektrik dan elektronik (*e-waste*) untuk kasus kulkas di Kota Padang, model aliran pengumpulan yang terjadi minimal terdiri dari 3 model. Model 1 merupakan pola penanganan yang paling banyak ditemui pada penanganan sampah kulkas. Model ini melibatkan semua pihak yang terkait dalam penanganan sampah kulkas. Pada model ini, strategi pemanfaatan sampah kulkas dilakukan dengan 3R (*reuse, remanufacture, dan recycle*). Dengan strategi pemanfaatan ini maka nilai uang dari sampah yang masih terkandung (*retained value*) masih cukup tinggi, karena proses *reuse* dan *remanufacture* sebagian komponen sebagai komponen pengganti terhadap kulkas lainnya yang membutuhkan suku cadang dengan cara “kanibalisme”. Beberapa komponen yang dapat dipergunakan kembali sebagai suku cadang pengganti tersebut adalah evaporator, kompresor, *overload relay* dan *thermostat*.

Model 2 merupakan model penanganan yang mirip dengan model 1, namun pada model ini pengepul 1 ditiadakan perannya dalam rantai sistem pengumpulan kembali sampah elektronik. Pengepul 1 ini biasanya membawa alat transportasi becak motor dan beroperasi di rumah-rumah penduduk yang menawarkan jasa pembelian barang bekas, seperti terlihat pada Gambar 4. Pada model 2 ini tidak ada perantara antara *end-user* (konsumen) dan bengkel reparasi, dimana *end-user* sebagai pihak yang mengantar langsung produk kulkas bekas kepada bengkel reparasi. Strategi pemanfaatan limbah elektronik yang dilakukan adalah masih

sama dengan model 1 yaitu 3R (*reuse, remanufacture, dan recycle*) yang mirip dengan model 1. Akan tetapi dari beberapa kasus contoh, model 2 ini hanya memanfaatkan e-waste yang ada dengan cara mendaur ulang. Hal ini dapat terjadi bila hampir seluruh komponen yang seharusnya bisa dimanfaatkan kembali sebagai suku cadang dalam kondisi rusak



Gambar 4. Alat transportasi becak motor yang digunakan pengepul 1

Model 3 merupakan model yang berbeda dengan model sebelumnya dalam segi pemanfaatan limbah elektronik kulkas, dimana pada model ini tidak mengikutsertakan bengkel reparasi sebagai pelaku untuk meningkatkan nilai ekonomi dari komponen kulkas bekas. Dalam pola ini hanya terdapat satu proses pemanfaatan sampah kulkas, yaitu proses *recycle*, sehingga berakibat pada rendahnya nilai ekonomi yang bisa diperoleh.

### 4. POTENSI NILAI SISA SAMPAH KULKAS

Nilai sisa (*retained value*) yang bisa dimanfaatkan dari sampah kulkas sangat bergantung pada kondisi komponen-komponennya. Komponen sampah kulkas yang masih berada dalam kondisi cukup baik memiliki nilai sisa lebih tinggi dibandingkan komponen yang telah rusak. Akan tetapi kondisi komponen tersebut dapat bervariasi untuk setiap sampah kulkas, bergantung pada perilaku pemakaian konsumen selama masa pakai dan lama penggunaan produk kulkas tersebut sebelum dibuang.

Penelitian ini melakukan perhitungan nilai sisa terhadap dua kondisi ekstrem, yaitu: (1) Sampah kulkas yang berada dalam kondisi cukup baik, dalam artian bahwa semua komponennya masih bisa berfungsi dengan baik; dan (2) Sampah kulkas yang berada dalam kondisi rusak, dimana semua komponennya tidak bisa berfungsi dengan baik.

Tabel 1. Model penanganan limbah kulkas di Kota Padang

No.	Deskripsi	Model 1	Model 2	Model 3
1	Aliran penanganan dan pelaku yang terlibat pada penanganan sampah kulkas	1. Penguna akhir 2. Pengepul 1 3. Bengkel servis/ reparasi 4. Pengepul 2 5. Pengepul 3 6. Pabrik pengolah daur ulang	1. Penguna akhir 2. Bengkel servis/ reparasi 3. Pengepul 2 4. Pengepul 3 5. Pabrik pengolah daur ulang	1. Penguna akhir 2. Pengepul 1 (tukang becak) 3. Pengepul 2 4. Pengepul 3 5. Pabrik pengolah daur ulang
Catatan: Dalam beberapa kasus, pengepul 2 dan 3 dilakukan oleh pihak yang sama				
2	Strategi pemanfaatan sampah kulkas	reuse, remanufacture, dan recycle.  Proses reuse dan re-manufacture dilakukan terhadap kompo-nen dari sampah yang masih dapat digunakan kembali.	reuse, remanufacture, dan recycle.  Aktifitas lebih ringkas. Penguna akhir membawa sampah kulkas ke bengkel servis.	recycle saja.  Semua komponen penyusun produk kulkas dipisahkan dan dimanfaatkan dengan cara didaur ulang menjadi bahan baku.
3	Prediksi nilai uang dari sampah yang masih terkandung (retained value)	kategori tinggi (high), sebagian komponen yang masih baik dapat di-reuse dan/ atau di-remanufacturing oleh bengkel servis repara-si	kategori tinggi (high), sebagian komponen yang masih baik dapat di-reuse dan/ atau di-remanufacturing oleh bengkel servis reparasi	kategori rendah (low), pemanfaatan sampah elektronik dengan cara daur ulang yang memiliki nilai retained value rendah
4	Kondisi sampah kulkas	Umumnya komponen kulkas masih berfungsi. Untuk beberapa kasus, end-user sudah memiliki kulkas baru dan yang lama sudah tidak diinginkan lagi.	Sebagian besar komponen masih berfungsi. Kondisi sampah kulkas mirip dengan model 1.	Rusak sedang atau berat, kondisi fisik kurang baik dan sebagian besar komponen tidak berfungsi

Perhitungan nilai sisa pada kondisi pertama akan memberikan gambaran mengenai nilai sisa maksimum yang bisa diperoleh, sementara perhitungan pada kondisi kedua akan memberikan gambaran mengenai nilai sisa minimum yang bisa diperoleh. Melalui cara ini rentang nilai sisa yang mungkin diperoleh dari sebuah sampah kulkas bisa diestimasi. Perkiraan nilai sisa ini diperoleh dengan cara (1) survei harga untuk beberapa Bengkel Jasa Reparasi pada beberapa komponen yang masih cukup baik untuk dipakai kembali dengan cara remanufacture atau reuse, (2) survei harga untuk beberapa jenis material pembentuk kulkas per unit kilogram bila komponen sudah tidak berfungsi lagi dan dimanfaatkan kembali dengan cara daur ulang (recycle).

Komposisi material penyusun produk kulkas dapat diketahui setelah operasi pembongkaran (disassembly) dilakukan dan dikelompokkan sesuai dengan jenisnya. Material yang paling banyak atau paling mendominasi adalah material besi dan plastik dengan total massa keseluruhan sekitar 35.000 gram. Dari operasi disassembly diketahui bahwa produk kulkas terdiri dari 47 item komponen dengan jumlah total 94 part dengan komposisi berat dan persentase material penyusun seperti pada Tabel 2.

**4.1. Nilai Sisa dari Sampah Kulkas dengan Kondisi Cukup Baik**

Pengelolaan sampah kulkas yang masih berada dalam kondisi cukup baik (Model 1 dan Model 2) atau sebagian komponen masih dapat berfungsi dilakukan melalui tiga cara: reuse, remanufacture, dan recycle. Nilai sisa dari sebagian komponen diperoleh melalui proses reuse, sebagian lainnya dari proses remanufacture, dan sisanya akan mengalami proses recycle.

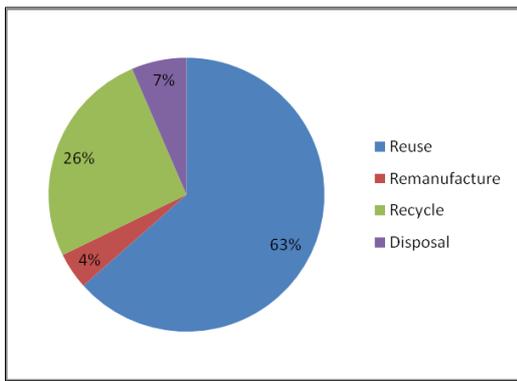
Pengelompokan cara pengelolaan tersebut berdasarkan jumlah komponen dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 2. Komposisi material penyusun produk kulkas

Material	massa (gram)	Porsentase (%)
Besi	19.597	58.1
Plastik	8.852	26.3
Sterofom	3.678	10.9
Aluminium	693	2.1
Tembaga	620	1.8
Lain-lain	264	0.8
Total	34.814	100.0

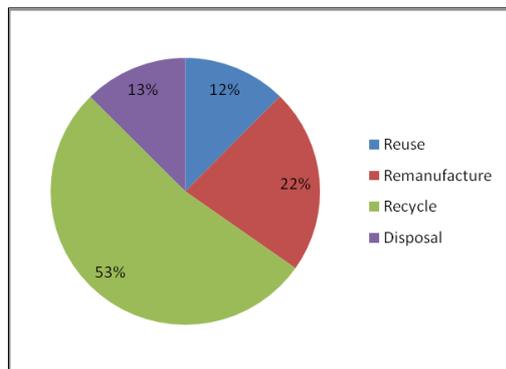
Pada Gambar 4 diperoleh data bahwa jumlah komponen yang berpotensi untuk dimanfaatkan kembali memegang porsi yang cukup besar. Akan tetapi jumlah ini lebih banyak (hampir keseluruhan) didominasi oleh komponen baut yang diasumsikan dapat dimanfaatkan kembali akan tetapi dari segi berat tidak terlalu signifikan.

Sementara itu, pengelompokan cara pengelolaan sampah kulkas berdasarkan berat komponennya dapat dilihat pada Gambar 5. Karakteristik umum sampah kulkas dari perspektif pengelolannya dapat diketahui dengan membandingkan informasi yang ditampilkan pada Gambar 4 dan 5. Jika ditinjau dari jumlah komponennya, mayoritas komponen sampah kulkas lebih banyak yang mengalami proses reuse (63%) dibandingkan dengan proses lainnya diikuti oleh proses recycle (26%).



Gambar 4. Proses pemanfaatan sampah kulkas berdasarkan jumlah komponennya

Akan tetapi apabila ditinjau dari berat komponennya, justru lebih banyak porsi sampah kulkas yang mengalami proses *recycle* (53%). Hal ini menunjukkan bahwa komponen-komponen yang dikelola melalui proses *reuse*, meskipun jumlahnya banyak, adalah komponen berukuran kecil yang memiliki bobot ringan. Sebagian besar dari komponen yang digunakan kembali adalah baut dan rak. Gambar 4 dan Gambar 5 juga menunjukkan bahwa tidak semua komponen sampah kulkas bisa dimanfaatkan untuk memperoleh nilai sisa. Sebagian kecil komponen (7% dari total jumlah komponen atau setara dengan 13% dari berat total sampah kulkas) tidak bisa dikelola lagi dan harus dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

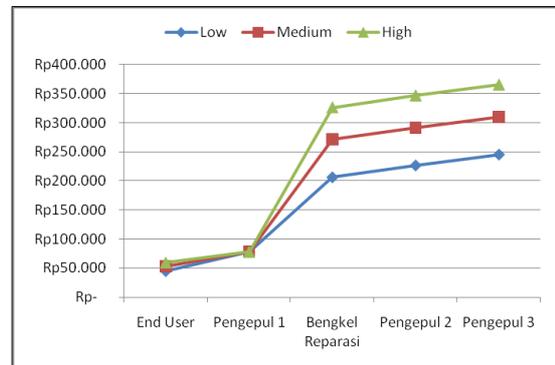


Gambar 5. Proses pengelolaan sampah kulkas berdasarkan berat komponennya

Aliran sistem pengelolaannya melibatkan lima aktor utama, antara lain: *End-user*, Pengepul 1, Bengkel Reparasi, Pengepul 2,

dan Pengepul 3. Perhitungan nilai sisa pada setiap aktor juga ikut mempertimbangkan fluktuasi harga yang mungkin terjadi pada komponen sampah kulkas. Harga masing-masing komponen dikelompokkan ke dalam tiga kondisi: *low*, *medium*, dan *high*. Kondisi *low* menunjukkan nilai sisa minimum yang mungkin diperoleh, sementara kondisi *high* merupakan nilai sisa maksimum yang bisa diperoleh dari sampah kulkas. Nilai sisa kumulatif pada kelima aktor tersebut untuk masing-masing kondisi dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 6.

Berdasarkan Tabel 3, penambahan nilai sisa kumulatif terbesar pada sampah kulkas untuk kondisi cukup baik (Model 1 dan 2 pada model pengumpulan sampah kulkas di Kota Padang) pada terjadi pada Bengkel Reparasi. Berdasarkan Tabel tersebut diketahui bahwa hal tersebut disebabkan oleh kontribusi yang relatif besar dari aktifitas *remanufacture* (dalam hal ini didefinisikan sebagai memanfaatkan kembali komponen yang masih berfungsi dengan cara melakukan aktifitas manufaktur tambahan). Kontribusi terbesar kedua diberikan oleh *recycle*, diikuti oleh *reuse* (memanfaatkan kembali secara langsung komponen yang masih bisa dipakai tanpa aktifitas manufaktur tambahan). Akan tetapi meskipun komponen-komponen yang akan melalui proses *remanufacture* memiliki kontribusi yang relatif besar terhadap nilai sisa, nilai tersebut berlaku konstan untuk aktor-aktor setelahnya. Hal ini menunjukkan tingginya tingkat signifikansi proses *remanufacture* dalam pemanfaatan nilai sisa sampah kulkas.



Gambar 6. Nilai sisa kumulatif sampah kulkas untuk setiap aktor

Tabel 3. Nilai sisa kumulatif sampah kulkas

No.	Pihak yang Terlibat	Proses	Nilai Sisa Kumulatif (dalam Rp.)		
			Low	Medium	High
1	End user*		45.000	52.500	60.000
2	Pengepul 1*		78.400	78.400	78.400
3	Bengkel Reparasi	Reuse	4.500	4.500	4.500
		Remanufacture	150.000	215.000	270.000
		Recycle	51.700	51.700	51.700
4	Pengepul 2	Reuse	6.700	6.700	6.700
		Remanufacture	150.000	215.000	270.000
		Recycle	69.800	69.800	69.800
5	Pengepul 3	Reuse	11.000	11.000	11.000
		Remanufacture	150.000	215.000	270.000
		Recycle	84.200	84.200	84.200

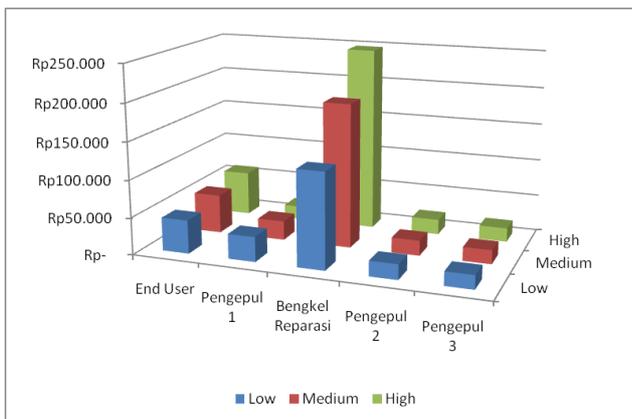
\*Pemisahan komponen untuk keperluan *reuse*, *remanufacture*, dan *recycle* belum dilakukan oleh pihak *EndUser* dan Pengepul 1

Jumlah nilai sisa yang diperoleh masing-masing aktor secara individu dapat diketahui melalui margin nilai sisa yang dapat dilihat selengkapnya pada Tabel 4. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa Bengkel Reparasi adalah penerima nilai sisa individu terbesar dibanding para aktor lainnya. Berdasarkan informasi yang disajikan dalam Tabel 4 dapat diketahui juga bahwa proses *remanufacture* merupakan kontributor terbesar dari nilai sisa yang diperoleh Bengkel Reparasi, diikuti oleh *recycle* dan *reuse*. Kondisi ini mendukung hasil sebelumnya yang ditunjukkan oleh nilai sisa kumulatif sampah kulkas, yaitu signifikansi proses *remanufacture* dalam pengelolaan sampah kulkas sebagai penyumbang nilai sisa terbesar. Proses *remanufacture* memberikan nilai sisa yang relatif besar karena melibatkan berbagai aktivitas yang memberikan nilai tambah secara langsung bagi aktor yang terlibat. Tampilan grafis dari perbandingan nilai sisa masing-masing aktor yang terlibat dalam proses *reuse*, *remanufacture*, dan *recycle* sampah kulkas dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 7.

Tabel 4. Margin nilai sisa dari sampah kulkas dengan kondisi yang cukup baik\*

No.	Pihak yang Terlibat	Margin Retained Value (dalam Rp.)		
		Low	Medium	High
1	End User	45.000	52.500	60.000
2	Pengepul 1	33.400	25.900	18.400
3	Bengkel Reparasi	127.800	192.800	247.800
4	Pengepul 2	20.300	20.300	20.300
5	Pengepul 3	18.700	18.700	18.700

\*) sebagian komponen masih dapat berfungsi dengan baik



Gambar 7. Margin nilai sisa dari sampah kulkas untuk setiap aktor

Margin nilai sisa juga memberikan gambaran mengenai persentase nilai ekonomi dari berbagai aktivitas yang dilakukan oleh masing-masing aktor terhadap terhadap nilai awal produk kulkas. Harga beli kulkas baru dijadikan sebagai basis nilai awal yang akan dibandingkan dengan margin nilai sisa. Pada saat penelitian dilakukan, harga beli kulkas satu pintu baru (untuk merek yang sama) adalah Rp 1.650.000,-. Nilai tersebut digunakan sebagai nilai awal produk kulkas dalam penelitian ini. Rasio perbandingan antara margin nilai sisa yang diperoleh masing-masing aktor terhadap harga awal produk kulkas dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rasio perbandingan margin nilai sisa terhadap harga awal kulkas

Pihak yang Terlibat	Margin Nilai Sisa		
	Low	Medium	High
End User	2,7%	3,2%	3,6%
Pengepul 1	2,0%	1,6%	1,1%
Bengkel Reparasi	7,7%	11,7%	15,0%
Pengepul 2	1,2%	1,2%	1,2%
Pengepul 3	1,1%	1,1%	1,1%
Total	14,8%	18,8%	22,1%

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa aktor yang memperoleh nilai tambah terbesar dari pemanfaatan sampah elektronik rumah tangga pada model pengelolaan 1 adalah Bengkel Reparasi. Nilai sisa yang diperoleh melalui proses *remanufacture* sangat berpengaruh terhadap jumlah persentase yang diperoleh. Proses *remanufacture* dapat meningkatkan nilai ekonomis dari sampah kulkas secara signifikan. Tabel 6 merupakan beberapa komponen yang bisa mengalami proses *remanufacture* dan memiliki nilai sisa cukup signifikan.

#### 4.2. Nilai Sisa dari Sampah Kulkas dalam Kondisi Rusak

Pengelolaan sampah kulkas yang sudah berada dalam kondisi rusak dilakukan melalui proses *recycle* saja (Model 1 pada penanganan limbah kulkas di kota Padang, Tabel 1). Aliran pengelolaan untuk kategori sampah kulkas yang telah berada dalam kondisi rusak tidak melibatkan aktor Bengkel Reparasi, hanya melibatkan para pengepul saja. Hal ini disebabkan karena tidak ada aktivitas pemisahan yang akan menentukan apakah suatu komponen akan melalui proses *reuse*, *remanufacture*, atau *recycle*. Perhitungan nilai sisa jenis material tertentu diperoleh dengan cara:

Berat material (kg) [Tabel 2] x standar harga material daur ulang (Rp/kg) [Tabel 7]

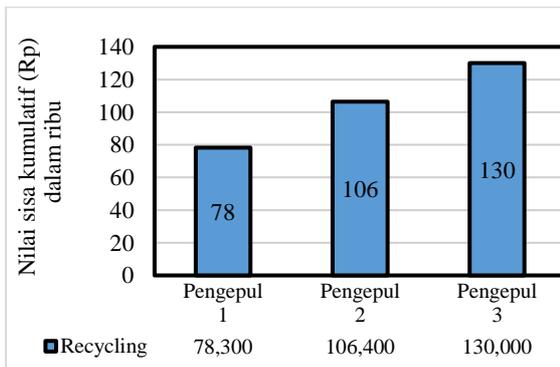
Tabel 7. Standar harga material untuk proses *recycle*

Material	Standar Harga (Rp/kg)		
	Pengepul 1	Pengepul 2	Pengepul 3
Plastik	1.000	1.500	2.500
Besi	1.500	2.500	3.000
Aluminium	15.000	16.000	18.000
Sterofom	0	300	500
Tembaga	45.000	50.000	55.000

Nilai sisa yang diperoleh dari kategori ini relatif lebih rendah dibandingkan sampah kulkas yang masih berada dalam kondisi baik. Kondisi ini disebabkan karena tidak memungkinkannya pelaksanaan proses *remanufacture* yang mampu menghasilkan nilai sisa lebih tinggi. Seluruh komponen hanya akan melalui proses *recycle*. Nilai sisa kumulatif tertinggi yang masih dapat diperoleh dari sampah kulkas oleh pelaku kegiatan *urban mining* adalah hingga Rp. 130.000 (Gambar 8). Pengepul 1 mendapatkan nilai sisa rata-rata Rp. 78.300, Pengepul 2 sebesar Rp. 28.100, dan Pengepul 3 sebesar Rp. 23.600. Bila dibandingkan dengan harga beli kulkas baru, maka nilai ini setara dengan masing-masing 4,8%, 1,7% dan 1,4% (secara kumulatif bernilai 7,9%).

Tabel 6. Komponen dari sampah kulkas yang dapat di-remanufacture

No.	Komponen	Gambar	Keterangan
1.	Thermostat		Komponen kulkas yang berfungsi sebagai pengatur temperatur.  Proses remanufaktur: <i>soldering</i>
2.	Evaporator		Komponen yang berfungsi untuk menyerap panas dari benda yang dimasukkan ke dalam kulkas, dan kemudian menguapkan bahan pendingin untuk menurunkan temperatur.  Proses remanufaktur: pembesaran diameter pipa (forming) dan <i>soldering</i>
3.	Kompresor		Komponen yang berfungsi untuk memompakan bahan pendingin ke seluruh bagian kulkas.  Proses remanufaktur: pembesaran diameter pipa (forming) dan <i>soldering</i>
4.	Overload relay		Komponen pengaman yang menyatu dengan terminal kompresor. Cara kerjanya menyerupai sekering yang dapat menyambung dan memutus arus listrik.  Proses remanufaktur: <i>soldering</i>



Gambar 8. Nilai sisa kumulatif dari sampah kulkas dengan skenario *recycle*

**5. KESIMPULAN**

Ada tiga model penanganan sampah kulkas yang berasal dari rumah tangga pengguna akhir di Kota Padang. Rantai aliran balik (*reverse logistic*) dalam pengumpulan dan pemanfaatan *e-waste* yang berasal dari kulkas dilakukan oleh beberapa pihak yaitu (1) pihak pengguna akhir, (2) pengepul informal sebagai pengepul 1 yang mencari sampah kulkas ke rumah-rumah dengan mempergunakan alat transportasi (motor becak), (3) bengkel reparasi/ servis yang memanfaatkan sampah kulkas untuk

dijadikan suku cadang dengan cara *remanufacture* dan *reuse*, (4) pengepul informal sebagai pengepul 2 yang melakukan pembongkaran dan pemisahan material, (5) pengepul informal sebagai pengepul 3 yang mengolah lanjut (pengcilan ukuran, pengepakan) hingga penyediaan jasa transportasi untuk daur ulang. Ketiga model penanganan sampah kulkas terdiri dari model penanganan dengan rantai proses yang melibatkan semua pihak yang terkait (model 1), model penanganan limbah kulkas tanpa keterlibatan pengepul 1 dan pengepul 2 (model 2), serta model penanganan limbah kulkas tanpa melibatkan bengkel reparasi kulkas dalam prosesnya (model 3). Nilai sisa barang (*retained value*) kumulatif yang diperoleh dari aktifitas penanganan sampah kulkas dengan kondisi cukup baik atau hampir semua komponen berfungsi terletak antara Rp 245.200 hingga Rp 365.200 (setara dengan 14,9% hingga 22,1% dari harga beli kulkas baru). *Retained value* ini dibagi kepada seluruh pihak yang terlibat dalam aktifitas *urban mining* dengan persentase terbesar diperoleh oleh Bengkel Reparasi dan disusul dengan Pengguna Akhir (*End-User*). Untuk sampah kulkas yang hanya ditangani dengan cara daur ulang (*recycle*), maka nilai sisa kumulatif yang masih dapat diperoleh hingga sebesar Rp. 130.000 (setara 7,9% harga beli kulkas baru).

Selain itu jumlah sampah elektronik yang cukup besar ditambah dengan mulai tumbuhnya kegiatan pencarian sampah elektronik dalam kota yang dilakukan sektor informal memberikan potensi yang berdimensi ekonomi, sosial dan memiliki dampak positif kepada lingkungan dalam mewujudkan suatu sistem manufaktur yang berkelanjutan untuk sampah elektronik perkotaan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih beberapa pihak yang menyediakan waktu dalam melakukan kegiatan survei di kota Padang, terutama pengepul motor bekas, beberapa bengkel reparasi di Kota Padang serta pengepul akhir barang-barang bekas di Kota Padang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] \_\_\_\_\_. "Electronic Recycling" Internet: <https://www.slu.edu/facilities-services-home/sustainability/campus-operations/recycling-and-waste-reduction/electronics-recycling> [Feb. 2, 2017].
- [2] M. Anderson. "What an e-waste." *IEEE Spectrum*, Vol. 47(9), pp. 72-89, 2010.
- [3] B.H. Robinson. "E-waste: an assessment of global production and environmental impacts." *Science of the Total Environment*, Vol. 408(2), pp. 183-91, 2009.
- [4] A. Jha. "Solving the electronic waste problem." Internet: <http://www.isciencetimes.com/articles/6526/20131216/>, 2013 [Feb 2, 2017].
- [5] G. Gaidajis, K. Angelakoglou, D. Aktsoylou, D. "E-waste: environmental problems and current management." *Journal of Engineering Science and Technology Review*, Vol. 3(1), pp. 193-9, 2010.
- [6] N. McCarthy. "Which country is on the top of the world's electronic waste mountain." Internet: <http://www.forbes.com/sites/niallmccarthy/2015/04/20/which-country-is-on-top-of-the-worlds-electronic-waste-mountain-infographic/#1e9d3ec65325>, 2015 [Feb 2, 2017].
- [7] P. Andarani dan N. Goto. "Potensial e-waste generated from households in Indonesia using material flow analysis." *Journal of Material Cycles and Waste Management*, Vol. 16(2), pp. 306-20, 2012.
- [8] P. Tanskanen. "Management and recycling of electronic waste." *Acta Materialia*, Vol. 61, pp. 1001-11, 2013.
- [9] OECD. OECD environmental outlook to 2030. Paris: OECD, 2008.
- [10] P. Andarani dan N. Goto. "Preliminary Assessment of Economic Feasibility for Establishing a Households' E-Waste Treating Facility in Serang, Indonesia." *International Journal of Environmental Science and Development*. Vol. 3(6), pp. 562-8, 2012.
- [11] V. Castellani, S. Sala, dan N. Mirabella. "Beyond the Throwaway Society: A Life Cycle-Based Assessment of the Environmental Benefit of Reuse." *Integrated Environmental Assessment and Management*, Vol. 11(3), pp. 373-82, 2015.
- [12] R.T. Lund. "Remanufacturing." *Technology Review*. Vol. 87(2), pp. 19-29, 1984.
- [13] A.M. King, S.C. Burgess, W. Ijomah, C.A. McMahon. "Reducing Waste: Repair, Recondition, Remanufacture or Recycle?". *Sustainable Development*. Vol. 14, pp. 257-67, 2006.
- [14] G.D. Hatcher, W.L. Ijomah, J.F.C. Windmill. "Integrating Design for Remanufacture into the Design Process: The Operational Factors." *Journal of Cleaner Production*. Vol. 39, pp. 200-8, 2013.
- [15] R.L. Armacost, D. Balakrishnan, J. Pet-Armacost. "Design for remanufacturability using QFD." In: *Proceedings of the 11th Annual Industrial Engineering Research Conference: IERC-2002*, 2002.
- [16] A. Gungor dan S.M. Gupta. "Issues in Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery: a Survey." *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 36(4), pp. 811-53, 1999.
- [17] N. Nasr dan M. Thurston. "Remanufacturing: a Key Enabler to Sustainable Product Systems." In: *Proceeding of 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Brussel, Belgium*, 2006.
- [18] E. Cagno, P. Trucco, dan L. Tardini. "Cleaner Production and Profitability: Analysis of 134 Industrial Pollution Prevention (P2) Project Reports." *Journal of Cleaner Production*, Vol. 3, pp. 593-605, 2005.
- [19] WCED. *Our Common Future*. Oxford, UK: Oxford University Press, 1987.
- [20] Z.M. Bi. "Revisiting system paradigms from the viewpoint of manufacturing sustainability." *Journal Sustain*, Vol. 3(9), pp. 1323-40, 2012.
- [21] J.K. Liker. *The Toyota Way*. New York: Mc Graw Hill, 2004.
- [22] K.A. Laudon dan J. Laudon. *Management Information System*. USA: Pearson Education, 2010.
- [23] Y. Korem, U. Heisel, F. Jovane, et al. "Reconfigurable Manufacturing Systems." *Annal of CIRP*, Vol. 48(2), pp. 1-14, 1999.
- [24] A. Deif. "A system model for green manufacturing." *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19(14), pp. 1553-9, 2011.
- [25] G. Miller, J. Pawloski, C. Standridge. "A case study of lean sustainable manufacturing." *Journal of Industrial Engineering and Mangement*, Vol. 3(1), pp. 11-32, 2010.
- [26] Lowell Center for Sustainable Production. "What is sustainable production." Internet: <http://www.sustainableproduction.org/about.what.php>, 2010 [Dec 10, 2016].
- [27] OECD. "Sustainable manufacturing and ecoinnovation: towards a green economy." Internet: <http://www.oecd.org>, 2009 [Oct 2, 2016].
- [28] F. Jovane, H. Yoshikawa, L. Altling, C.R. Boer, E. Westkamper, D. Williams, M. Tseng, G. Seliger, dan A.M. Paci. "The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing." *CIRP Annals Manufacturing Technology*. Vol. 57(2), 641-59, 2008.
- [29] Z.M. Bi dan L. Huang. "Manufacturing Paradigm Shift towards Better Sustainability" in *Cloud Manufacturing*, Springer Verlag, 2013.