

Remanufacturing of Waste Electrical and Electronic Equipment by the Informal Sector

Agus Sutanto*, Berry Yuliandra

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

*Corresponding author: agussutanto@eng.unand.ac.id

Abstract. The Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) shows a rapid growing waste stream worldwide today, but the handling of this waste formally is still far from expectations. For Indonesia, the informal sector participates in the management of waste of electrical and electronic goods, especially for household electronic products. Actors involved, including household waste collectors, repair shops, collectors who process electronic goods, are the informal sector who strongly supports the principles of Sustainable Manufacturing and the application of the Green Manufacturing concept to end-of-product life. This Circular Economy paradigm is useful for exploiting the potential that still exists from this e-waste by restoring it. This study aims to determine the economic potential and the remanufacturing practices from urban mining activities, where e-waste returned to its functional status "as new" with a guarantee by the informal sector. The research method was conducted by observing and surveying remanufacturing by mean of reuse, repair and replace with new parts of used washing machines, refrigerators and air conditioners in several repair shop locations in the city of Padang. The results show that the remanufactured products reuse some of WEEE components with retained value up to 22% of the purchase price of new products. Meanwhile the selling price of remanufactured products made by the informal sector, can reach up to 40% of the new price of the same product.

Abstrak. Limbah peralatan elektrik dan elektronik memperlihatkan pertumbuhan yang sangat cepat dewasa ini, akan tetapi penanganan akan limbah ini secara formal masih jauh dari harapan. Untuk kondisi Indonesia, sektor informal perkotaan turut serta dalam pengelolaan limbah barang elektrik dan elektronik ini, terutama untuk produk-produk elektronik rumah tangga. Aktor yang terlibat, antara lain pengepul limbah rumah tangga, bengkel reparasi, pengepul yang memproses barang elektronik, merupakan aktor yang berasal dari sektor informal yang sangat mendukung prinsip-prinsip manufaktur berkelanjutan dan penerapan konsep *green manufacturing* pada tahan akhir umur produk (*end of life*). Paradigma *circular economy* ini berguna untuk memanfaatkan potensi yang masih ada dari peralatan elektrik dan elektronik yang telah habis umurnya dengan cara semaksimal mungkin dengan memulihkannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi ekonomis dan praktik remanufaktur yang berasal dari kegiatan *urban mining*, dimana barang elektronik bekas dikembalikan ke status fungsional "seperti baru" dengan garansi oleh sektor informal. Metode penelitian dilakukan dengan mengadakan pengamatan dan survei terhadap aktivitas remanufaktur produk mesin cuci, kulkas dan AC bekas dengan pemanfaatan kembali komponen bekas, perbaikan atau penambahan komponen baru di beberapa tempat bengkel reparasi di kota Padang. Hasil menunjukkan bahwa produk remanufaktur dapat memanfaatkan kembali komponen produk dari kegiatan *urban mining* dengan nilai hingga mencapai 22% dari harga pembelian produk baru. Sementara itu harga jual produk hasil remanufaktur ini dapat mencapai hingga 40% dari harga baru produk yang sama.

Kata kunci: rekondisi, peralatan elektrik dan elektronik, manufaktur berkelanjutan, *green manufacturing*, *Circular Economy*, sektor informal.

© 2019.BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Limbah peralatan elektrik dan elektronik atau dalam istilah lain disebut dengan akronim WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), atau lebih dikenal dengan *electronic waste* disingkat *e-waste* adalah peralatan elektrik dan elektronik yang sudah usang atau bekas dan tidak digunakan lagi

oleh pengguna peralatan. Dalam manajemen siklus produk, tahapan ini dikenal dengan *end of life* dari sebuah produk. Menurut laporan World Economic Forum Annual Meeting (24/01/2019) menyebutkan bahwa sekitar 50 juta ton sampah ini diproduksi setiap tahunnya. PBB menyebutkannya sebagai tsunami dari limbah elektronik. Hanya 20% dari

jumlah ini yang mampu didaur ulang, selebihnya kebanyakan tidak mampu didaur ulang, dan hanya dibuang atau terletak atau dibakar. Disebutkan juga bahwa secara global, nilai material dari limbah elektronik ini mencapai USD 62,5 miliar. Sebuah nilai ekonomi yang besar. Bila mendapatkan material dari limbah peralatan elektrik dan elektronik akan jauh lebih sedikit menghasilkan emisi CO₂ jika dibandingkan dengan mendapatkan material yang sama dari alam [1]. Di Indonesia sendiri menurut Andarani *et al* [2] diperkirakan hingga tahun 2025, sampah elektronik bisa mencapai 622.000 ton setiap tahunnya. Umumnya sampah elektronik mengandung bahan berbahaya, tetapi sekaligus berharga. Rohman *et al* [3] tidak menemukan *e-waste* di tempat pembuangan akhir umum. Hal ini menunjukkan bahwa limbah ini dimobilisasi oleh sektor informal dengan teknologi yang seadanya. Aktor pengepul informal memainkan peran penting dalam sistem pengepulan saat ini, disertai dengan peran bengkel reparasi dan unit *recycler* yang mendapatkan margin jauh lebih tinggi.

Bagaimana saja penanganan limbah elektronik ini? Jika sampah elektronik ini sangat jarang dijumpai di TPA, maka bagaimanakah penanganan yang terjadi pada sampah elektronik ini? Artikel ini menjelaskan tentang beberapa pengolahan sampah elektronik yang terjadi di Indonesia dengan pelaku sektor informal. Daur ulang (*recycling*) *e-waste* menjadi material bukan menjadi pilihan utama bagi pelaku ini, tetapi ada serangkaian penanganan terhadap barang elektrik dan elektronik ini. Pemanfaatan kembali (*reuse*) komponen bekas, *product life extension* dengan cara melakukan perbaikan (*repair*), serta pemanfaatan komponen bekas dalam rangka melakukan proses remanufaktur terhadap produk elektronik yang telah habis atau dibuang pemiliknya dan dijual kembali dengan garansi merupakan cara-cara pengolahan *e-waste* yang terjadi pada sektor informal. Khusus untuk kasus remanufaktur ini dibahas secara lebih khusus pada artikel ini.

Sustainability dan Remanufaktur

Bagian ini berisikan beberapa tinjauan pustaka tentang pengelompokan *e-waste*, penanganan sampah elektronik dengan cara remanufaktur yang dilakukan di beberapa negara dan fabrikan produk (OEM) serta di Indonesia, paradigma *circular economy* yang menjamin pengelolaan sampah elektronik yang berdayaguna dan berkelanjutan, serta kaitannya dengan konsep keberlanjutan

(*sustainability*) terutama yang berkaitan dengan konsep *sustainable and green manufacturing*.

Berdasarkan Peraturan Parlemen Uni Eropa (Directive 2002/96/EC) limbah peralatan elektrik dan elektronik dapat dikategorikan seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Limbah perangkat elektrik dan elektronik [4]

No	Kategori	Contoh
1	Peralatan rumah tangga ukuran besar	AC, mesin cuci, lemari es, kulkas, dan oven.
2	Peralatan rumah tangga ukuran kecil	kipas angin, <i>blender</i> , dan <i>vacuum cleaner</i>
3	Peralatan komunikasi dan IT	komputer, laptop, printer, telepon, modem, HP, mesin fax, <i>scanner</i> .
4	Peralatan hiburan elektronik	TV, radio, dan pemutar DVD.
5	Peralatan pencahayaan	Lampu
6	Alat-alat listrik dan elektronik	Mesin bor, mesin jahit, mesin las
7	Mainan elektronik dan peralatan olahraga	Peralatan <i>video games</i> , <i>car racing set</i> , mainan kereta listrik
8	Peralatan medis	Perangkat medis
9	Alat monitoring dan alat kontrol	Termostat, regulator, deteksi kebakaran
10	Dispenser otomatis	Dispenser, <i>vending machine</i>

Perkembangan teknologi dan peningkatan pendapatan masyarakat sangat berperan dalam meningkatkan volume limbah elektronik, tetapi disisi lain memberikan beban lingkungan. Hal ini tidak dapat dihindari, tetapi resiko yang ditimbulkan dapat dikurangi melalui konsep *circular economy* (CE). Paradigma ini merupakan model bisnis baru yang dapat mewujudkan suatu pembangunan yang berkelanjutan. Tujuan utama CE adalah menyediakan alternatif lain dari model pengembangan ekonomi tradisional, yang disebut dengan istilah *linier economy*. Secara sederhana, *circular economy* menggantikan aliran material dengan cara “*take, make and dispose*” dengan “*make, use and return*” sehingga membuat aliran yang melingkar dan tertutup [5-7].

Praktek-praktek CE ini sangat relevan dengan konsep-konsep keberlanjutan terutama di dalam manufaktur lebih dikenal dengan konsep *sustainable and green manufacturing* seperti yang disebutkan dalam [8-9]. Manufaktur berkelanjutan merupakan kegiatan-kegiatan manufaktur yang mengutamakan efisiensi dan efektifitas penggunaan sumber daya yang berkelanjutan. Hal ini dikarenakan pemenuhan kebutuhan kehidupan tidak hanya berfokus pada pemenuhan untuk generasi sekarang, tetapi juga sudah harus memikirkan pemenuhan generasi yang akan datang. Konsep *sustainable manufacturing*

sebenarnya tidak akan lepas dari konsep *green manufacturing*. Konsep ini meminimasi dampak yang negatif terhadap lingkungan dalam aktivitas manufaktur dengan penggunaan material, energi dan sumber daya lain yang seminimal dan seefisien mungkin serta pengurangan emisi dan teknologi yang bersih. *Green manufacturing* dapat diaplikasikan untuk seluruh *product life cycle management* (PLM), mulai dari aktivitas disain, manufaktur hingga *end of life* dari produk. Khusus pada bagian akhir siklus hidup produk, konsep ini sangat terkait dengan paradigma *circular economy*, karena limbah atau sampah dari barang dalam pandangan konsep ini harus dimanfaatkan atau dipulihkan kembali. Bila dibandingkan dengan memproduksi barang baru, maka hal ini dapat dianggap sebagai usaha minimalisasi eksploitasi terhadap sumberdaya alam primer dan mengurangi emisi gas yang dapat merusak lingkungan. Upaya dalam memanfaatkan sampah elektronik dengan cara *reuse*, *remanufacture* dan *recycle* menjadi strategi yang jitu dalam mengejawantahkan konsep CE dan menjaga keberlanjutan.

Upaya pemanfaatan sampah elektronik atau barang bekas dari peralatan elektrik dan elektronik dengan cara remanufaktur menjadi bahasan khusus pada artikel ini. Beberapa referensi sudah memberikan definisi tentang aktivitas remanufaktur ini. Carter *et al* [10] mendefinisikan remanufaktur sebagai proses memulihkan, membongkar, memperbaiki, dan membersihkan komponen-komponen untuk dijual kembali dengan kinerja, kualitas, dan spesifikasi "produk baru". Remanufaktur dibedakan dengan *repair* (perbaikan), dimana perbaikan lebih aplikatif untuk produk yang cacat atau aktivitas mendeteksi kerusakan (*failure detections*) dan memulihkannya. Kepemilikan barang dalam *repair* tetap ditangan pemilik pertama, sedangkan kepemilikan dalam aktivitas remanufaktur berpindah. Remanufaktur didefinisikan sebagai proses untuk membawa produk bekas ke status fungsional "seperti-baru" melalui perakitan ulang dan penggantian komponen-komponen produk tersebut [11] melalui serangkaian proses lepas-rakit, pembersihan, refurbishment, penggantian komponen, perakitan ulang, dan pengujian [12] serta dijual kembali dengan garansi yang sesuai [13]. Menurut Wikipedia "*remanufacturing is the rebuilding of a product to specifications of the original manufactured product using a combination of reused, repaired, and new parts*" [14]. *Business Dictionary* menyebutkan bahwa remanufaktur berarti memproduksi kembali, memperbaiki, dan memulihkan suatu peralatan untuk memenuhi atau melampaui spesifikasi kinerja dari *Original Equipment Manufacturer* (OEM) [15]. Ilustrasi

produk hasil remanufaktur dapat dilihat pada Gambar 1. Remanufaktur yang merupakan bagian dari strategi *circular economy* dapat menjadi "masa depan dari keberlanjutan" dengan memperpanjang masa pakai produk, menciptakan nilai tambah ekonomis dan lapangan kerja [16].



Gambar 1. Ilustrasi produk hasil Remanufaktur [16]

Ide awal remanufaktur sebagai cara untuk menurunkan beban lingkungan diusulkan oleh [17] yang memandang produk sebagai sarana untuk menyediakan fungsi tertentu bagi konsumen. Cara pandang tersebut mendorong produsen untuk memperpanjang umur produk sehingga bisa menyediakan jasa lebih lama [18]. Fuji Xerox mulai melakukan remanufaktur mesin fotokopi pada era 1990an, diikuti oleh Ricoh dan Cannon yang mulai menjual mesin hasil remanufaktur sepuhul tahun kemudian [19].

Remanufactur pada dasarnya memelihara nilai tambah produk dengan memberikan masa hidup kedua. Implementasi remanufaktur mendorong penghematan sumber daya, mengurangi limbah disepanjang siklus hidup produk [20], mengeliminasi tahapan produksi [21], menurunkan ketergantungan pada bahan baku berkualitas tinggi [18], serta meningkatkan utilitas produk. Keuntungan yang ditawarkan oleh remanufaktur tidak hanya dari sisi produsen, tetapi juga bagi konsumen. Produk hasil remanufaktur cenderung lebih murah dari produk baru. Kondisi ini juga membuka peluang bisnis pada *secondary market* bagi OEM [22].

Meskipun terdapat berbagai keuntungan yang jelas, masih terdapat beberapa hal yang menghambat penerapan remanufaktur secara luas. Hambatan utama merupakan penerimaan terhadap produk hasil remanufaktur oleh konsumen. Meskipun produk remanufaktur memiliki harga lebih murah, konsumen pada dasarnya masih menanggung risiko terkait fungsionalitas, reliabilitas, dan efisiensi produk hasil remanufaktur tersebut [23]. Hambatan lainnya berasal dari sisi produsen, seperti kurangnya pemahaman yang

komprehensif terhadap rangkaian aktivitas remanufaktur [24] yang akan mengarah pada kurangnya pemahaman akan kebutuhan dan keterampilan yang diperlukan untuk menjalankan proses bisnis remanufaktur [25]. Selain itu, produsen juga harus mampu menyeimbangkan keuntungan dari penjualan produk baru dengan permintaan pengguna akan produk hasil remanufaktur [26].

Dari beberapa literatur, konsep-konsep dan implementasi remanufaktur sudah banyak dikembangkan di beberapa negara maju seperti di UK dengan *Centre for Remanufacturing & Reuse* [27] dan di Jerman dengan *VDI Centre for Resource Efficiency* [28]. Pelaku utama remanufaktur umumnya adalah perusahaan pabrikan (OEM). Beberapa aktor remanufaktur ini seperti produk peralatan medik [29], mesin fotokopi Xerox [30], alat berat seperti Komatsu Remanufacturing Centre [31] dan Caterpillar [32], ataupun produk *cartridge toner* [33]. Untuk kondisi Indonesia, hingga saat ini belum ada pusat kajian untuk remanufaktur, ataupun perusahaan pabrikan (OEM) yang berfungsi sebagai agen remanufaktur. Akan tetapi di Indonesia, sektor informal merupakan aktor dari proses penanganan produk atau komponen yang sudah usang, bekas, atau sudah berakhir umur pakainya untuk dipulihkan. Tergantung dari asesmen dari pelaku ini, maka *e-waste* dapat didaurulang, dipergunakan kembali atau diremanufaktur. Khusus remanufaktur oleh sektor informal, karena pendekatannya berbeda maka definisi remanufaktur seperti yang telah disebutkan sebelumnya mengalami sedikit perubahan yaitu suatu aktivitas yang bertujuan untuk mengembalikan produk elektronik bekas atau usang yang tidak dipakai lagi oleh pemilihnya, dengan suatu kegiatan *urban mining* oleh aktor informal, produk dikembalikan lagi ke status fungsional “seperti baru” dengan memberikan garansi. Kegiatan *urban mining* seperti disebutkan di atas adalah aktivitas “penambangan” barang bekas atau sampah perkotaan yang dilakukan oleh beberapa aktor seperti pengepul barang bekas, termasuk bengkel reparasi yang berfungsi sebagai agen remanufaktur informal.

Metode Penelitian

Penelitian dalam hal ini dilakukan di beberapa tempat bengkel reparasi sekaligus yang menjual beberapa produk elektronik rumah tangga bekas yang ada di kota Padang seperti terlihat pada Gambar 2. Dalam hal ini bengkel reparasi ini sekaligus berfungsi sebagai agen remanufaktur informal untuk limbah peralatan elektrik dan

elektronik. Sedangkan yang menjadi obyek penelitian adalah beberapa produk peralatan elektrik yaitu AC, refrigerator atau kulkas dan mesin cuci.



Gambar 2. Lokasi penelitian di sebuah bengkel reparasi mesin cuci dan kulkas

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan adalah sebagai berikut:

- Survei tentang model pengepulan sampah elektronik, terutama sampah yang berasal dari peralatan rumah tangga yang berukuran besar yang menjadi obyek penelitian (AC, kulkas dan mesin cuci), serta mengetahui aliran barang bekas atau sampah elektronik tersebut serta aktor-aktor yang terlibat,
- Mengamati penanganan sampah elektronik yang akan di remanufaktur oleh pelaku informal, termasuk operasi-operasi yang dilakukan, serta komponen-komponen yang sering digunakan kembali untuk proses remanufaktur,
- Mengetahui *retained value* (nilai sisa yang masih bertahan pada sampah produk elektronik rumah tangga) serta nilai jual produk remanufaktur tersebut. Beberapa harga komponen bekas yang di *re-use* merupakan harga rata-rata di tingkatan akhir dari aktivitas pengepulan (*urban mining*).

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil survei diperoleh beberapa hasil sebagai berikut ini. Aktivitas remanufaktur di Indonesia belum memiliki regulasi sendiri dan tidak dilakukan oleh perusahaan pembuat produk. Umumnya produk elektronik tidak banyak dijumpai di TPA, sehingga umumnya produk elektronik bekas atau usang sebagian dilakukan perbaikan (*repair*) untuk memperpanjang umur (*product life extention*) dengan kepemilikan pada orang yang sama atau berpindah. Sebagian lagi diambil oleh pengepul rumah tangga yang dilakukan oleh sektor informal. Umumnya pengepul mendatangi perumahan penduduk untuk

menyanyakan ketersediaan barang elektronik bekas dengan memakai alat transport motor becak atau mobil *pick-up*, seperti dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Alat transport (mobil pick-up) pengepul barang elektronik bekas rumah tangga

Barang elektronik bekas, usang atau yang sudah rusak yang tidak diperlukan oleh pemiliknya dibeli dengan nilai tertentu. Berdasarkan assesmen pengepul, maka barang tersebut bisa diproses untuk didaur ulang atau kemudian dijual lagi kepada pihak bengkel reparasi yang melakukan scenario pemanfaatan komponen yang berfungsi atau remanufaktur untuk dikembalikan lagi ke status fungsional dan unjuk kerja tertentu dengan memberikan garansi. Bengkel reparasi dengan ini berfungsi sebagai agen remanufaktur informal yang mengepul produk elektronik bekas. Beberapa tahapan remanufaktur berdasarkan survei yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Identifikasi kerusakan (bila ada) dan inspeksi menyeluruh produk,
- Pembongkaran dan pembersihan,
- Perbaikan dan ataupengantian komponen (dengan memanfaatkan kembali komponen bekas atau yang baru) disertai dengan operasi manufaktur tambahan,
- Pengecatan (optional) dan *reassembly*,
- Pengetesan fungsional produk.

Sebagai ilustrasi contoh remanufaktur oleh sektor informal dijelaskan seperti Gambar 4 dengan uraian sebagai berikut. Kulkas bekas atau rusak diperoleh dari pengepul rumah tangga atau langsung dari pengguna akhir. Kulkas bekas tersebut dibongkar dan dilakukan pembersihan. Berdasarkan identifikasi kerusakan dan evaluasi menyeluruh maka pihak bengkel reparasi dapat melakukan perbaikan dan atau penggantian dengan komponen baru atau komponen lain dari kulkas yang lain. Dalam proses ini juga dilakukan beberapa operasi manufaktur seperti memotong, membentuk atau menyambung komponen atau material sehingga secara fungsional kulkas dapat

beroperasi kembali. Kemudian dilakukan perakitan kembali dan serangkaian pengujian unjuk kerja "kulkas yang baru". Produk remanufaktur ini dijual dengan garansi tertentu.



Gambar 4. Ilustrasi remanufaktur sektor informal

Syarat utama remanufaktur ini adalah rangka utama (*main body*) dari produk yang masih dalam kondisi baik. Gambar 5 menunjukkan beberapa komponen pada kulkas bekas yang sering dipakai oleh pihak bengkel reparasi untuk dimanfaatkan kembali (dengan proses kanibalisasi), seperti: thermostat, evapurator, kompresor dan overload relay. *Retained value* dari komponen-komponen ini dapat mencapai hingga 18% dari harga kulkas baru dengan tipe dan merk yang sama. Harga jual kulkas remanufaktur di pasar sekunder dapat mencapai harga 40% dari harga beli kulkas baru. Proses remanufaktur ini juga meninggalkan material yang tidak terpakai dan biasanya diambil pengepul untuk didaur ulang (*recycle*).



Gambar 5. Beberapa komponen bekas kulkas yang dipakai lagi dalam remanufaktur

Pada mesin cuci bekas hal yang sama juga terjadi seperti proses remanufaktur pada kulkas bekas. Komponen dari mesin cuci bekas seperti: motor cuci dan pengering, *body* mesin serta kontrol *timer* merupakan bagian yang masih dimanfaatkan lagi dalam proses remanufaktur. Berdasarkan beberapa sampel pengamatan, *retained value* pada komponen tersebut dapat mencapai hingga 18%

harga mesin cuci baru yang sama (hampir setara dengan kulkas). Sedangkan harga mesin cuci remanufaktur di pasar sekunder memiliki harga yang juga setara dengan kulkas. Lain halnya AC, tidak banyak dijumpai remanufaktur produk ini di sektor informal seperti halnya mesin cuci dan kulkas. Hal ini terjadi karena AC lebih banyak dipakai oleh masyarakat menengah ke atas yang telah mapan sehingga AC remanufaktur tidak lazim dilakukan oleh bengkel servis/ reparasi AC. Akan tetapi pemanfaatan kembali (reuse) beberapa komponen AC yang masih baik masih banyak dilakukan oleh pihak bengkel atau pelaku servis, seperti sensor, kapasitor, pipa tembaga, kompresor, konsendor, dan motor seperti terlihat pada Gambar 6. *Retained value* yang masih ada dalam aktivitas *reuse* ini dapat mencapai hingga 22% dari harga AC yang baru.



Gambar 6. Beberapa komponen bekas AC

Contoh kasus tersebut menunjukkan bahwa proses remanufaktur yang dilakukan oleh sektor informal memiliki potensi untuk dikembangkan. Setidaknya ada tiga arah perkembangan yang bisa digunakan terkait kasus ini. Pertama, peningkatan efisiensi proses remanufaktur yang dilakukan oleh sektor informal melalui perencanaan proses dan perancangan alat bantu yang lebih baik.

Kedua, kemungkinan untuk menciptakan kerjasama antara sektor informal dengan produsen dalam melaksanakan proses remanufaktur. Menurut Guide Jr. [34], 95% dari program remanufaktur tidak dikelola oleh OEM itu sendiri, dimana proses remanufaktur dilakukan dengan cara *outsourcing* pada pihak lain. Meskipun remanufaktur di Indonesia tidak dilakukan atas kendali produsen, praktek tersebut bisa dilakukan dengan sektor informal berfungsi sebagai pihak yang menyediakan layanan *outsource* remanufaktur bagi produsen. Produsen berkesempatan untuk menciptakan jaringan remanufaktur dan menempatkan kendali terhadap produk yang mereka jual selama masa pakainya.

Tentu saja arah perkembangan ini membutuhkan kerjasama yang intensif antara pihak produsen dan sektor informal agar jaringan remanufaktur yang dibangun bisa berjalan secara berkelanjutan, terutama kerjasama dalam hal teknologi dan kualitas produksi. Akan tetapi hal tersebut juga membuka peluang bagi sektor informal untuk berkembang dari sisi kapabilitas produksi.

Ketiga, sektor informal dan produsen dapat bekerjasama seperti halnya pada arah pengembangan kedua, tetapi disini produsen juga melakukan transformasi proses bisnisnya dari menjual produk menjadi penyedia fungsi produk. Salah satu contohnya adalah "*The Xerox Model*" yang menggabungkan antara remanufaktur dan *leasing*. Melalui model tersebut produsen akan memperoleh kendali terhadap produk yang beredar. Kendali tersebut mempermudah organisasi sistem *reverse logistic* yang menjadi aliran input bagi proses remanufaktur [18]. Kelemahan utama model tersebut adalah proses pengambilan kembali produk dari konsumen yang seringkali dianggap tidak *feasible* secara ekonomi. Akan tetapi disini sektor informal dapat mengisi peranan pengambilan kembali produk tersebut. Contoh lainnya adalah penggabungan antara konsep remanufaktur dan *Product-Service System* (PSS). Konsep PSS pada dasarnya merupakan sistem yang mengintegrasikan antara produk dan layanan untuk memenuhi kebutuhan konsumen [35]. Kasus di industri menunjukkan bahwa desain PSS juga berkontribusi terhadap desain remanufaktur [36]. Melalui penerapan PSS, produsen dapat memiliki kendali lebih baik dalam pengambilan kembali produk dan dalam penjagaan kondisi produk selama masa penggunaannya [37].

Ketiga arah perkembangan tersebut memiliki keunggulan dan hambatannya masing-masing. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk melihat arah perkembangan yang paling potensial untuk dikembangkan sesuai dengan kondisi yang ada pada saat ini.

Kesimpulan

Remanufactur limbah perangkat elektrik dan elektronik banyak dilakukan oleh sektor informal di Indonesia. Aktivitas ini dapat berupa kegiatan perbaikan (repair) dan penggantian komponen tertentu dengan memanfaatkan kembali (reuse) sebagian komponen dari *e-waste* dan atau komponen baru; dilakukannya sedikit operasi manufaktur, dirakit ulang untuk menjadi sebuah produk remanufaktur dengan status fungsional "seperti-baru". Produk remanufaktur kemudian dengan tingkat unjuk kerja tertentu, dijual di pasar sekunder dengan garansi. Praktek ini terbukti

sangat menyokong prinsip-prinsip keberlanjutan (sustainability). *Retained value* yang masih ada pada limbah perangkat elektrik dan elektronik rumah tangga dapat mengerakkan pasar sekunder di masyarakat, terutama bagi mereka yang berpenghasilan menengah ke bawah.

Tiga arah perkembangan yang dapat diambil untuk meningkatkan proses remanufaktur oleh sektor informal juga diusulkan pada penelitian ini. Arah perkembangan yang paling optimal sesuai dengan kondisi saat ini masih perlu untuk diteliti lebih lanjut.

Referensi

- [1] Ryder, G., Zhao, H., 2019. The world's e-waste is a huge problem. It's also a golden opportunity, World economic forum annual meeting. Internet: weforum.org/agenda/2019 (diakses 05/09/2019)
- [2] Andarani, P. and Goto, N., 2013. Potential e-waste generated from households in Indonesia using material flow analysis. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 16(2), 306-320
- [3] Rochman, F., Ashton, W., Wiharjo, M., 2017. E-waste, money and power: Mapping electronic waste flows in Yogyakarta, Indonesia. *Environmental Development* Vol. 24, 1-8
- [4] Informasi dari http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm (diakses tanggal 05/09/2019)
- [5] Ostojic, P., 2016. Pump and Circular Economy, WORLD PUMPS January 2016
- [6] Lieder, M. and Rashid, A., 2016. Towards circular economy implementation: a comprehensive review, *Journal of Cleaner Production* 115, 36-51
- [7] Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., and Yu, X., 2013. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation in context of manufacturing industry, *Journal of Cleaner Production* 42, 215-227
- [8] Minhaj, A.A, Shrivastava, R.L., 2013. Green manufacturing: past, present and future (a state of art review), *World Review of Science, Technology and Sustainable Development* 10 (Issue 1-2-3), 17-55.
- [9] Paul, I.D., Bhole, G.P., Chaudhari, J.R. , 2014. A Review on green manufacturing: It's important, methodology and its application, *Procedia Materials Science* 6, 1644-1649.
- [10] Charter, M., and Gray, C., 2008. Remanufacturing and product design, *International Journal of Product Development* Vol. 6 No.3/4, 375-392
- [11] Ijomah, W.L., Childe, S.J., 2007. A model of the operations concerned in remanufacture. *International Journal of Production Research*, Vol. 45, No. 24, pp. 5857-5880
- [12] Ijomah, W.L., 2009. Addressing decision making for remanufacturing operations and design-for-remanufacture. *International Journal of Sustainable Engineering*, Vol. 2, pp. 91-102.
- [13] Matsumoto, M., Ijomah, W., 2013. Remanufacturing. In: Kauffman J., Lee KM. (eds) *Handbook of Sustainable Engineering*. Springer, Dordrecht
- [14] <http://en.wikipedia.org/wiki/Remanufacturing> (diakses tanggal 11/09/2019)
- [15] <http://www.businessdictionary.com/definition/remanufacturing.html> (diakses tanggal 11/09/2019)
- [16] Investment Recovery Association, 2015. Remanufacturing: The Future of Sustainability, <https://invrecovery.org/remanufacturing-the-future-of-sustainability/> (diakses tanggal 11/09/2019)
- [17] Stahel, W., Reday, G., 1981. Jobs for tomorrow, the potential for substituting manpower for energy. New York: Vantage Press.
- [18] Mont, O., Dalhammar, C., Jacobsson, N., 2006. A new business model for baby prams based on leasing and product remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14, No. 17, pp. 1509-1518.
- [19] Matsumoto, M., Umeda, Y., 2011. An analysis of remanufacturing practices in Japan. *Journal of Remanufacturing*, Vol. 1, pp. 1-11
- [20] Kerr, W. dan Ryan, C., 2001. Eco-efficiency gains from remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 9, pp. 75-81
- [21] Bernard, S., 2011. Remanufacturing. *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 62, pp. 337-351
- [22] Bulmus, S.C., Zhu, S.X., Teunter, R., 2014. Competition for cores in remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, Vol. 233, pp. 105-113.
- [23] Opresnik, D. dan Taisch, M., 2015. The manufacturer's value chain as a service - the case of remanufacturing. *Journal of Remanufacturing*, Vol. 5, No. 2
- [24] Abdulrahman, MD-A, Subramanian, N., Liu, C., Shu, C., 2015. Viability of remanufacturing practice: a strategic decision making framework for Chinese auto-parts

- companies. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 105, pp. 311–323.
- [25] Rosamond, E., 2010. The application of product services system in remanufacturing activities. In: IMS2020-Proceedings from the IMS2020 Summer School on Sustainable Manufacturing.
- [26] Sundin, E., dan Dunbäck, O., 2013. Reverse logistics challenges in remanufacturing of automotive mechatronic devices. *Journal of Remanufacturing*, Vol. 3, pp. 1–8.
- [27] <http://www.remanufacturing.org.uk> (diakses tanggal 11/09/2019)
- [28] <https://www.resource-germany.com/> (diakses tanggal 11/09/2019)
- [29] Centre for Remanufacturing & Reuse, 2006. Remanufacture of medical imaging device, The Notified Budy Bulletin MHRA, No. 6 Jan 2006
- [30] King, A., Barker, S., Cosgrove, A., 2007. Remanufacturing at Xerox: Evaluating the Process to Establish Principles for Better Design, Proceeding 16th International Conference On Engineering Design, 743-744.
- [31] <https://www.kuhn.at/en/file/14844/> (diakses tanggal 11/09/2019)
- [32] Fiksel, J., 2012. A systems view of sustainability: the triple value model. In: Sustainable Futures: Multi-Disciplinary Perspectives on Multi-Level Transitions, 2nd ed., pp. 138–141.
- [33] Williams, J. and Shu, L., 2000. Analysis of toner-cartridge remanufacturer waste stream, *Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 260-265.
- [34] Guide Jr, V.D.R., 2000. Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs. *Journal of Operations Management*, Vol. 18, pp. 467–483.
- [35] Goedkoop, M.J., van Halen, C.J., te Riele, H.R.M. and Rommens, P.J.M., 1999. Product Service Systems, Ecological and Economic Basics, Dutch Ministries of Environment (VROM) and Economic Affairs (EZ), Report, No. 1999/36.
- [36] Sundin, E., Lindahl, M., Ijomah, W., 2009. Product design for product/service systems - design experiences from Swedish industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 20, No. 5, pp. 723–753.
- [37] Sakao, T., dan Mizuyama, H., 2014. Understanding of a product/service system design: a holistic approach to support design for remanufacturing. *Journal of Remanufacturing*, Vol. 4, No. 1.