

## Peran Konsep *Reverse Logistic* Dalam Perancangan Penanganan Baterai Laptop Bekas

<sup>1</sup>Bagus Made Arthaya, <sup>2</sup>Paulina Kus Ariningsih & <sup>3</sup>Cynthia Haryani

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Unpar

<sup>2,3</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Unpar

<sup>1</sup>bagusart@unpar.ac.id

<sup>2</sup>paulina.ariningsih@unpar.ac.id

<sup>3</sup>cynthia.haryani@yahoo.com

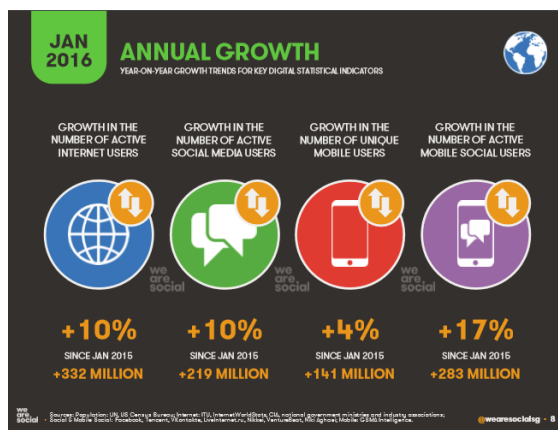
### Abstrak

Sampah berupa produk elektronik yang sudah rusak atau tidak terpakai lagi disebut dengan istilah *e-waste*. Jenis sampah ini semakin hari-semakin mengawatirkan karena sangat sedikit perusahaan penghasil perangkat elektronik yang mendeklarasikan diri untuk bertanggung jawab terhadap produk yang dihasilkan terutama setelah siklus hidup produk berakhir. Dari sekian banyak produk elektronik yang beredar di sekitar kita, laptop merupakan contoh produk elektronik yang singkat masa/siklus hidupnya. Produk ini memiliki berbagai komponen elektronik, termasuk di dalamnya adalah baterai. *E-waste* dari baterai laptop memiliki dampak negatif terhadap lingkungan yang seharusnya menjadi perhatian semua pihak. Pada sisi yang lain, baterai laptop sebenarnya dapat digunakan kembali dengan memperpanjang masa pakainya. Salah satu hal yang dapat dilakukan dalam rangka pemanfaatan kembali baterai bekas ini adalah menerapkan konsep *Reverse Logistic* padanya. *Reverse logistic* merupakan upaya penanganan produk yang telah habis masa pakainya dan penggunaan kembali komponen produk dengan tujuan untuk *value recovery* dan melakukan proses pembuangan yang aman. Dalam penelitian ini, tiga macam baterai laptop bekas digunakan sebagai objek penelitian untuk meneliti perbedaan umum dari semua komponen baterai laptop tersebut. Perancangan dimulai dengan pengumpulan informasi komponen, penentuan proses dan kriteria inspeksi setiap komponen, dan proses lainnya. Proses khusus pengelompokan *battery cell* dilakukan dengan menentukan batasan kapasitas tenaga yang tersisa dan penentuan kelompok baterai yakni kelompok A, B, dan C. Penyusunan kelompok baterai dimulai dari *group* dengan kapasitas teratas dengan beberapa situasi yang memungkinkan. Pengumpulan tanggapan konsumen terhadap permasalahan baterai laptop dilakukan melalui kuesioner. Dikumpulkan juga informasi dampak lingkungan dari tiap komponen baterai menggunakan fasilitas *Sustainability Evaluation* pada *Solid Works 2013*. Strategi penanganan berupa beberapa alternatif skema *Reverse Logistic* terhadap komponen baterai laptop bekas dibangun dengan memperhatikan peran pihak-pihak terkait dan kompleksitas aliran material diantara pihak-pihak tersebut. Suatu rancangan strategis dihasilkan dalam bentuk skema rantai *Reverse Logistic* yang meliputi pihak-pihak yang terlibat, proses yang perlu dilakukan, dan alur proses dan materialnya. *Battery reuse* digolongkan ke dalam 3 grup berdasarkan kapasitasnya, yaitu Grup A ( $\geq 80\%$ ), Grup B (70%-79%), Grup C (60%-69%). Selain itu, dihasilkan juga report dampak lingkungan dari komponen baterai laptop dengan *Sustainability Evaluation* dan skema *life cycle* dari baterai laptop hasil rancangan. Secara umum dapat dikatakan bahwa dengan memperhatikan konsep *Reverse Logistic* bagi baterai laptop bekas, akan terjadi penurunan dampak negatif terhadap lingkungan dari komponen baterai laptop sebesar hingga 29% dari dampak sebelumnya.

**Kata Kunci:** *Reverse Logistic, Reuse, Sustainability, Siklus Hidup, Baterai Laptop, Kelompok Kapasitas Baterai*

## 1 Pendahuluan

Peralatan elektronik yang mudah dibawa ke mana-mana agar dapat melakukan aktivitas secara *mobile* merupakan sesuatu yang tidak dapat dipungiri saat ini. Bahkan dengan mudah kita temukan satu orang bisa memiliki 2 unit hingga 3 unit yang dibawa dan digunakan dalam beraktivitas setiap harinya. Mereka ini sering disebut sebagai *mobile user*. Dari laporan laman [www.wearesocial.com](http://www.wearesocial.com) [5] dinyatakan bahwa *mobile users* meningkat 4% atau sekitar 141.000.000 pengguna sejak tahun 2015 seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Dua macam *mobile device* yang sedang banyak digunakan di dunia ini, adalah *mobile phone* (telepon genggam) dan *laptop*.



Gambar 1. Pertumbuhan Penggunaan Internet dan Pengguna Gadget di Dunia Sejak Tahun 2015 (Sumber: [www.wearesocial.net](http://www.wearesocial.net)) [5]

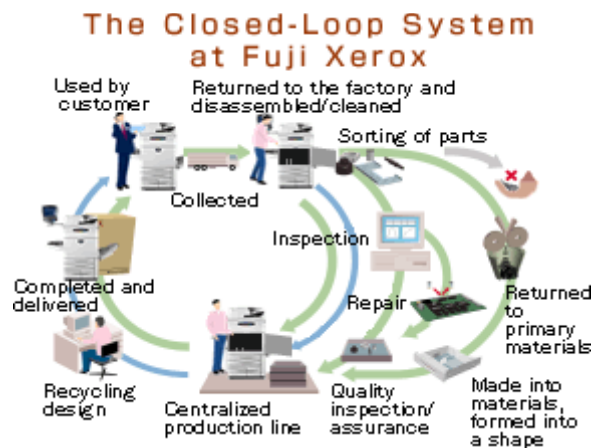
*Mobile device* memiliki ciri yang khas yakni bersifat mudah dibawa dan memiliki baterai yang mudah diisi ulang karena baterai pada *mobile device* bersifat *rechargeable*. Bahan penyusun baterai sangat bervariasi, salah satunya adalah *lithium*. Dengan meningkatnya jumlah pengguna *mobile device* yang begitu besar, maka pada saat akhirnya produk tersebut rusak (tidak dapat digunakan) akan terjadi sampah baterai yang jumlahnya pun tidak sedikit. Pembuangan produk/komponen elektronik yang sudah tak terpakai ini sering disebut dengan *e-waste*. *E-waste* merupakan sekumpulan peralatan elektronik yang sudah dibuang/tidak dipakai ([www.nea.gov.sg](http://www.nea.gov.sg)) [4] karena sudah rusak atau karena tidak berfungsi lagi. Jumlah *e-waste* di Indonesia terus bertambah untuk semua jenis peralatan elektronik sejak tahun 2009 sampai 2016, dari 500.000 ton hingga 900.000 ton [3].

*Laptop* juga merupakan contoh perangkat komputer yang mudah dibawa ke manapun. Penggunaan perangkat laptop yang tidak teratur dan tidak terawat dapat menyebabkan laptop cepat rusak dan mengurangi umur pakainya, terutama pada komponen baterainya. Membuang baterai bekas secara sembarangan akan membahayakan lingkungan karena bahan penyusun komponen-komponen yang terkandung di dalamnya mudah terbakar dan meledak [2].

Seperti halnya semua produk teknik, baterai *laptop* juga seharusnya dapat dipakai ulang dan ditingkatkan nilai pakainya agar *e-waste* dari baterai laptop tidak semakin banyak. Salah satu hal yang dapat dilakukan dalam rangka pemanfaatan kembali baterai bekas ini adalah menerapkan konsep *Reverse Logistic* padanya. *Reverse logistic* secara umum

dinyatakan sebagai upaya penanganan produk yang telah habis masa pakainya dan penggunaan kembali komponen produk dengan tujuan untuk *value recovery* dan melakukan proses pembuangan yang aman dan benar [1].

Sebagaimana yang dinyatakan oleh perusahaan Xerox dari Jepang, bahwa pembuatan produk Fuji Xerox telah melibatkan banyak komponen bekas dari produk yang didisassembly dari produk bekas sebelumnya yang tujuan utamanya adalah menerapkan *zero emission* bagi alam lingkungan. Lebih jauh komponen-komponen bekas dari produk Xerox ada yang di-recycle, ada juga yang di gunakan kembali oleh produk secara langsung dan ada yang harus dibuang ke alam. Jumlah ini sangat kecil yakni 3% saja, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Metoda pemanfaatan kembali komponen produk seperti inilah seharusnya digalakkan dan diterapkan untuk semua produk yang memiliki kemampuan *recycleability*.



**Gambar 2. Proses Penanganan Produk Fuji Xerox  
(sumber: [www.fujixerox.com](http://www.fujixerox.com)) [6]**

Dengan penerapan konsep ini diharapkan akan terjadi pemahaman yang lebih baik dari para pengelola produksi, praktisi lingkungan dan peneliti untuk turut mengedukasi peran dan tanggung jawab pihak-pihak yang seharusnya banyak terlibat pada proses penanganan sampah elektronik di lingkungan hidup kita.

## 2 Metode Penelitian dan Perumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yakni sebagai berikut:

1. Penentuan topik penelitian dan latar belakang permasalahan yang ada
2. Mengidentifikasi dan merumuskan masalah
3. Pengumpulan data produk dan pendapat pengguna
4. Pengolahan data dan Analisis konsep dan dampak lingkungan
5. Kesimpulan.

Pada akhir siklus hidup suatu produk elektronik yang dipakai masyarakat, secara praktis tidak terdapat prosedur baku yang mengatur bagaimana seharusnya perlakuan yang diterima oleh produk agar dapat diterima alam bila hendak dibuang ataupun dapat diterima pihak yang akan mengolah selanjutnya, misalnya untuk digunakan kembali. Dari kondisi di atas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan siklus hidup (*life cycle*) dari baterai *laptop*?
2. Bagaimana desain rantai *reverse logistic* baterai *laptop* bekas serta dampak lingkungan yang ditimbulkan?

### 3 Pengumpulan Data Pendahuluan

Dalam proses perancangan sistem *reverse logistic*, dilakukan penelitian terhadap 3 baterai *laptop* bekas yang berbeda merk. Ketiga baterai *laptop* bekas ini menjadi contoh untuk pengambilan data dan rujukan untuk rancangan. Untuk tujuan analisis maka dilakukan pengumpulan beberapa data sebagai berikut:

#### 3.1 Data Komponen Baterai Laptop

Data komponen ini didapatkan dengan melakukan *disassembly* ketiga baterai *laptop* bekas di atas. Komponen yang didapat adalah *battery case*, *battery cells*, komponen elektronik, *solder tabs*, dan komponen tambahan (karet alas, separator, dan kabel). Data mengenai komponen yang diambil adalah dimensi, massa, dan bahan penyusun komponen seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kategori Komponen Berdasarkan Bahan Penyusun

No.	Bahan Penyusun	Nama Komponen	Jumlah Komponen
1	ABS Plastic	Battery case atas	3
		Battery case bawah	3
		Separator	3
2	Silk screen, soldermask, copper, substrate	Komponen elektronik	3
3	Lithium-ion	Battery Cell	18
4	Nickel aluminum	Solder Tab	12
5	PVC Plastic	Battery Cell	18
6	Silicon rubber	Karet Alas Panjang	1
		Karet Alas Pendek	2
7	Copper	Kabel	1

#### 3.2 Pengujian Kapasitas Baterai

Data kapasitas baterai *laptop* didapatkan dengan melakukan pengukuran dengan alat iMax B6Ac *Dual Power*. Cara pengukurannya adalah dengan mengosongkan kapasitas masing-masing *battery cell* dan dilanjutkan dengan mengisi kapasitas baterai hingga alat memberikan pemberitahuan bahwa baterai sudah penuh.

#### 3.3 Data Dampak Lingkungan

Data dampak lingkungan dibutuhkan sebagai data pembanding dengan data rancangan nantinya. Data ini didapatkan dengan menggambarkan bentuk 3D dari beberapa komponen baterai *laptop* dan menggunakan fitur *Sustainability Evaluation* pada *SolidWorks 2013*. Informasi-informasi yang diperlukan antara lain material/bahan penyusun, jenis proses manufaktur, hingga durasi atau umur pakai komponen tersebut. Informasi ini diisi berdasarkan data yang telah dimiliki melalui pengukuran (dimensi dan massa) atau sumber literatur (eksternal). Evaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan adalah evaluasi pada

kategori *carbon footprint*, *total energy consumed*, *air acidification*, dan *water eutrophication*.

### 3.4 Data Pengalaman Pengguna

Data ini merupakan data mengenai kecenderungan pengguna dalam menangani baterai *laptop* mereka yang rusak/tak terpakai. Data-data ini akan digunakan sebagai pertimbangan rancangan rantai *reverse logistic*. Data dikumpulkan melalui kuesioner kepada 160 responden, di antaranya 82 responden pernah mengalami masalah kerusakan/habis pakai baterai *laptop*.

Didapatkan bahwa 46 dari 82 responden (56,10%) memilih untuk tetap menggunakan baterai *laptop* walaupun bermasalah pada peringkat ke-1. Di peringkat ke-2, sebanyak 17 responden (20,73%) memilih untuk membeli baterai *laptop* baru. Ada 14 responden (17,07%) mencoba untuk memperbaikinya dan sisanya sebanyak 5 (6,10%) responden memilih untuk tidak menggunakan baterai (memakai listrik langsung).

Responden yang menggunakan baterai walaupun bermasalah memiliki alasan baterai baru itu mahal. Responden yang membeli baterai baru cenderung menyimpan baterai bekas mereka di rumah. Ada pula responden yang mencoba memperbaiki baterai *laptop* mereka ke beberapa tempat *service* tidak resmi.

## 4 Rancangan Skema *Reverse Logistic*

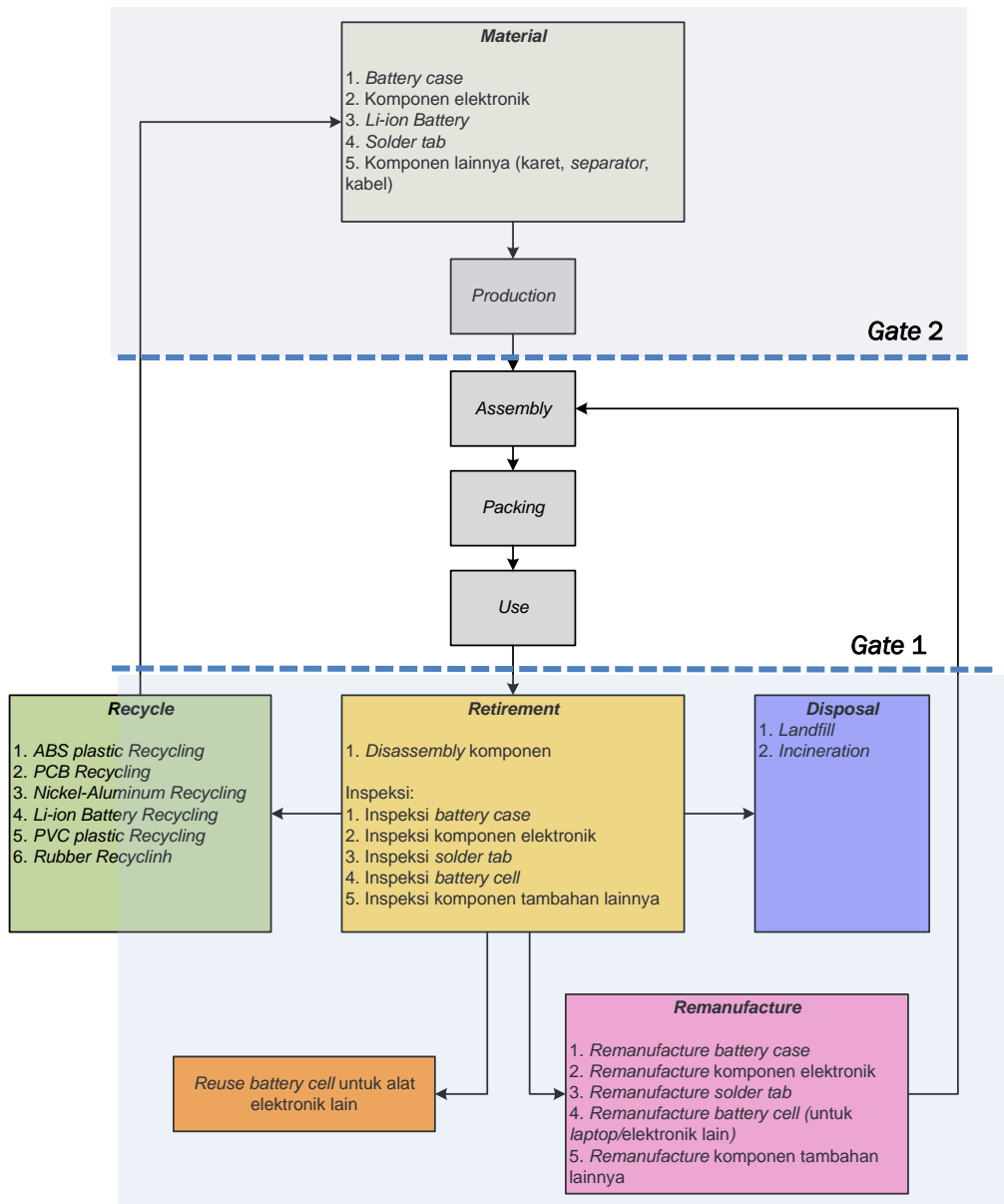
Perhatian utama yang harus dilakukan adalah mengenal siklus hidup baterai secara keseluruhan dimulai sejak baterai dibuat di pabrik pembuat hingga keadaan setelah baterai tidak dapat digunakan lagi. Aspek-aspek yang perlu mendapat perhatian khusus dinyatakan secara eksplisit dan dirancang langkah-langkah yang bersesuaian dengan topik tersebut.

### 4.1 Rancangan Siklus Hidup Baterai *Laptop*

Siklus hidup baterai *laptop* rancangan berisi tahapan *retirement*, *recycle*, *remanufacture*, *reuse*, *disposal*, dan *production* yang dirancang secara detail. Siklus hidup rancangan ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Rancangan siklus hidup pertama dimulai pada tahapan *retirement*. Pada tahap *retirement*, baterai *laptop* akan melalui proses *disassembly* komponen. Tahapan selanjutnya adalah inspeksi untuk masing-masing komponen. Proses inspeksi ini akan menentukan tindakan lanjutan dari komponen tersebut karena terdapat kriteria-kriteria kelolosan inspeksi di dalamnya. Ada empat tindakan lanjutan yang dapat terjadi dari hasil inspeksi, yaitu *recycle*, *disposal*, *reuse*, dan *remanufacture*.

Proses *recycle* pada siklus hidup baterai *laptop* ditujukan untuk masing-masing komponen dan prosesnya tergantung dari bahan penyusun komponen tersebut. Komponen-komponen yang masuk ke dalam proses *recycle* ini merupakan komponen yang tidak lolos kriteria inspeksi. Proses daur ulang ini akan mengubah komponen-komponen yang tidak lolos inspeksi tersebut menjadi bahan dasar penyusun komponen.



Gambar 3. Skema Life Cycle Impact (LCI) Baterai Laptop

Semua komponen yang telah diinspeksi dan dinyatakan lolos inspeksi akan melalui proses selanjutnya yaitu *remanufacture* dan *reuse*. Proses *remanufacture* yang dirancang adalah proses penggunaan kembali komponen-komponen baterai *laptop* pada produk baterai *laptop* selanjutnya, dengan tambahan proses perbaikan bila perlu (*repair* dan *recovery*) dan penggabungan dengan komponen tambahan baru. Komponen hasil *remanufacture* tidak digunakan dalam proses produksi komponen dan langsung digunakan pada proses *assembly*.

Komponen yang lolos inspeksi juga dapat diteruskan pada proses *reuse*. Proses *reuse* ini digunakan untuk komponen *battery cell* yang tidak dapat dipakai untuk baterai *laptop* lagi, namun masih dapat berfungsi bila digunakan pada produk elektronik lain (*external recycling*). Tahapan *disposal* merupakan keputusan terakhir yang dipilih setelah komponen melalui tahapan *retirement*. Pada tahapan ini, terdapat dua hal yang bisa dilakukan, yaitu *landfill* (penguburan) dan *incineration* (pembakaran). Kedua proses ini dilakukan pada komponen yang tidak lolos dalam inspeksi dan tidak dapat didaur ulang maupun dipakai ulang.

Tahapan selanjutnya yang dirancang adalah tahapan produksi komponen baterai *laptop*. Tahapan ini merupakan lanjutan dari proses *recycle* yang menghasilkan bahan dasar komponen. Agar bahan dasar hasil *recycle* tersebut tidak dibuang, maka bahan tersebut digunakan lagi pada proses produksi komponen. Pada proses produksi ini, bahan dasar komponen hasil *recycle* dapat digabungkan dengan bahan dasar yang baru.

Bentuk siklus hidup baterai *laptop* yang dirancang ini memungkinkan untuk dibagi ke dalam beberapa *gate* untuk membantu dalam evaluasi dampak lingkungan. Tipe bentuk siklus hidup yang digunakan adalah *gate-to-gate* dan dalam rancangan ini ada 2 *gate*. *Gate* pertama untuk siklus hidup baterai *laptop* dimulai di tahapan *retirement* dan *Gate* 2 pada tahapan *production*.

## 4.2 Rancangan Tahap Refinement

Tahapan *retirement* memiliki dua proses di dalamnya, yaitu *disassembly* komponen dan inspeksi komponen.

### 4.2.1 Rancangan *Disassembly* Komponen

Proses *disassembly* komponen baterai *laptop* yang diusulkan/dirancang dapat dilakukan dengan cara manual maupun terotomasi. Kedua cara ini tetap menggunakan *tools* atau peralatan, seperti obeng, *cutter*, dan alat lainnya. Pengerjaan proses ini harus dilakukan dengan teliti dan rapi.

### 4.2.2 Rancangan Inspeksi Komponen

Tahapan *retirement* merupakan tahapan penentu komponen akan didaur ulang, dipakai ulang, *remanufacture*, ataukah akan dibuang.

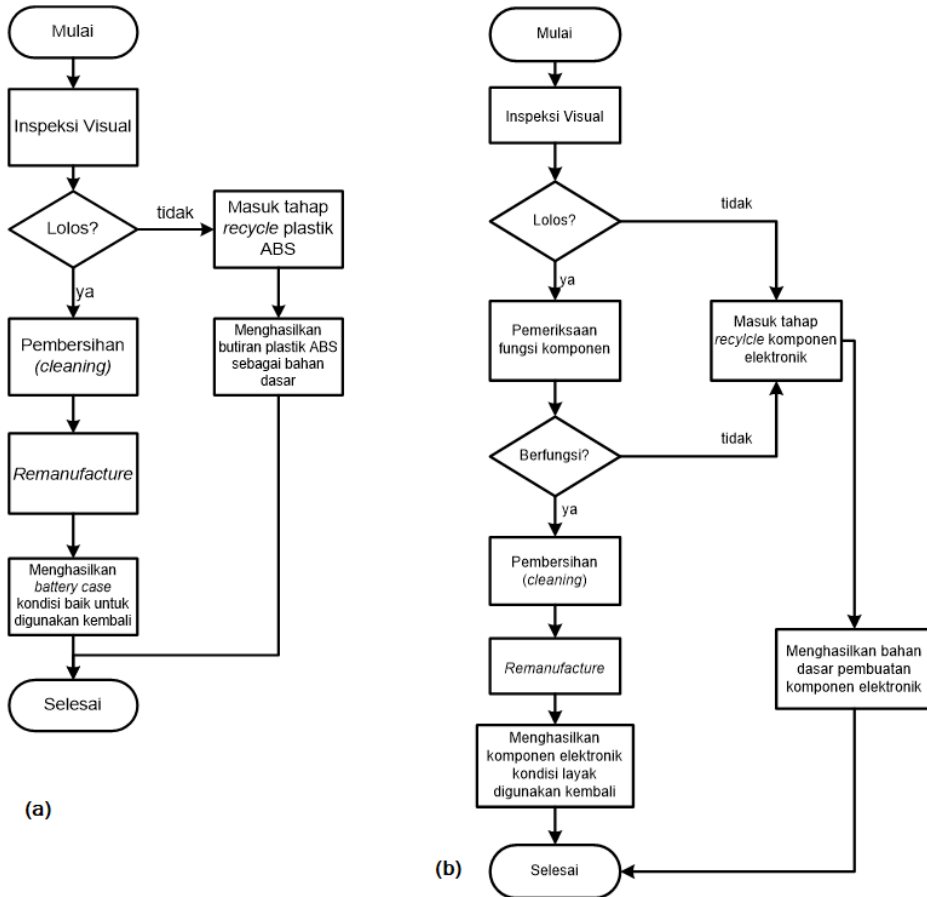
#### 4.2.2.1 Proses Inspeksi Komponen *Battery Case*

Proses inspeksi untuk *battery case*, yang dimulai dengan inspeksi visual (*visual inspection*), yang dapat dilihat pada Gambar 4(a). Inspeksi visual ini dapat dilakukan secara manual dengan mata manusia. Terdapat beberapa kriteria inspeksi visual untuk *battery case*, yaitu:

- a. Semua bagian *battery case* utuh.
- b. Tidak ada bagian *battery case* yang retak.
- c. Tidak ada bagian *battery case* yang patah.
- d. Tidak ada bagian *battery case* yang tertekuk.
- e. Tidak ada bagian *battery case* yang tergores.
- f. Warna *battery case* tidak pudar.
- g. *Battery case* dalam keadaan bersih dari perekat, lem, dan sejenisnya.

Kriteria poin (a) sampai (d) harus dipenuhi sehingga *battery case* dapat dinyatakan lolos inspeksi. Bila kriteria (e) dan (g) tidak terpenuhi, namun kriteria yang lainnya sudah

terpenuhi, proses dapat dilanjutkan ke tahap pembersihan *battery case (cleaning)*.. Setelah itu, *battery case* dapat dilanjutkan pada proses *remanufacture* (bila *battery case* masih perlu diperbaiki) dan digunakan lagi sebagai *battery case* pada produk baterai *laptop*.



Gambar 4. Flow Chart Inspeksi Battery Case (a) dan Inspeksi Komponen Elektronik (b)

#### 4.2.2.2 Proses Inspeksi Komponen Elektronik

Proses inspeksi untuk komponen elektronik pada awalnya sama dengan komponen *battery case* yaitu dengan menginspeksi secara visual terlebih dulu (Gambar 4(b)). Inspeksi visual komponen elektronik ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu manual atau menggunakan peralatan terkomputerisasi. Inspeksi visual yang dilakukan manual (dengan mata telanjang) dapat mendeteksi kondisi komponen elektronik dengan melihat ada atau tidaknya lapisan hasil *solder*. Cara yang ke-2 inspeksi visual dengan alat terkomputerisasi adalah *Automated Optical Inspection (AOI)* dan *X-ray Inspection (AXI)*.

Setelah proses ini, komponen elektronik yang tidak memiliki masalah dapat dilanjutkan ke proses pemeriksaan fungsi. Jika komponen masih dapat berfungsi dengan baik, maka komponen dapat digunakan kembali dalam baterai *laptop* dengan melalui proses



*remanufacture*. Tapi jika tidak berfungsi, komponen dipindahkan ke proses *recycle* untuk komponen elektronik.

#### 4.2.2.3 Proses Inspeksi Komponen *Battery Cell*

Inspeksi visual Inspeksi visual dapat dilakukan secara manual dengan mata manusia. Terdapat beberapa kriteria inspeksi visual untuk *battery cell*, yaitu:

- a. Tidak ada kebocoran baterai (material dalam baterai tidak dari keluar).
- b. Plastik pembungkus tidak sobek.

*Battery cell* tidak boleh bocor, dalam arti tidak boleh ada bahan material dari dalam baterai yang keluar. Jika *battery cell* dicurigai bocor, maka inspeksi bau (*odor*) dapat dilakukan dengan mendeteksi bau dari *battery cel*. *Battery cell* yang bocor tidak dapat dipakai lagi sehingga hal yang dapat dilakukan adalah melakukan *recycling* untuk *battery cell*. Proses inspeksi untuk *battery cell* dapat dilihat pada Gambar 5 (a).

Jika *battery cell* tidak bocor namun plastik pelindungnya sobek, maka plastik yang sobek diteruskan pada proses *recycle* plastik. Plastik pelindung yang baru juga diperlukan untuk mengganti plastik rusak tadi. *Battery cell* akan tetap lolos inspeksi dan dilanjutkan pada proses berikutnya, yaitu pemeriksaan kapasitas *battery cell*.

Pemeriksaan kapasitas *battery cell* dapat dilakukan dengan mengukur kapasitas *battery cell* tersebut. Ada dua acara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan kapasitas baterai:

- a. Cara pertama adalah mengosongkan kapasitas baterai dengan melakukan *discharge*. Setelah baterai dinyatakan kosong, lakukan *charge* atau pengisian daya hingga baterai dinyatakan penuh. Kapasitas baterai tidak akan seutuh awal (kapasitas 100% = 2200 mAh) sehingga pernyataan “penuh”. Informasi kapasitas baterai saat ini diperoleh dengan melihat arus listrik yang diterima oleh *battery cell* tersebut.
- b. Cara ke-2 adalah mengisi daya baterai hingga dinyatakan penuh lalu lakukan pengosongan kapasitas baterai. Informasi kapasitas baterai saat ini diperoleh dengan melihat arus listrik yang diberikan oleh *battery cell* tersebut pada alat.

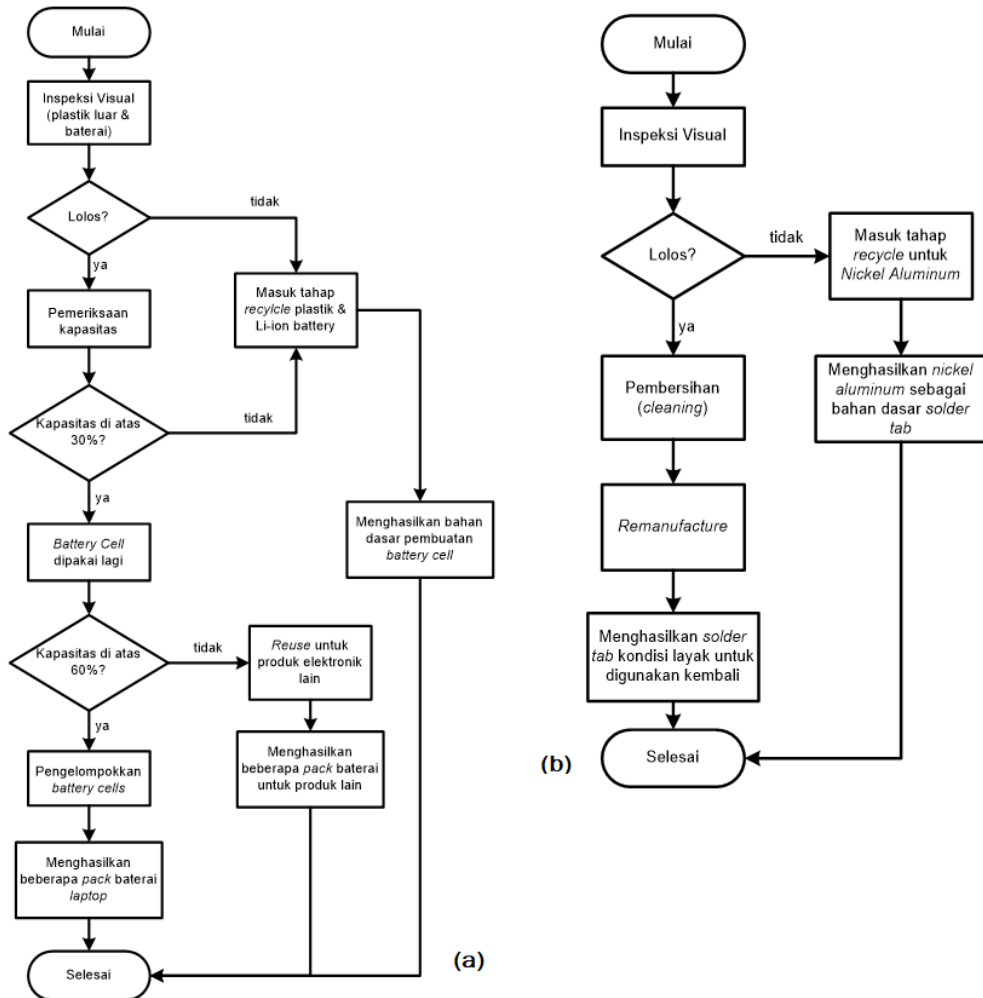
Pemeriksaan kapasitas baterai berfungsi untuk memisahkan *battery cell* ke dalam 3 kategori, yaitu *battery cell* untuk baterai *laptop*, untuk alat elektronik lain, dan yang masuk proses *recycle*. *Battery cell* yang masih dapat digunakan pada suatu produk harus memiliki kapasitas minimal 30%. Jika *battery cell* tersebut memiliki kapasitas di bawah 30%, *battery cell* akan dibawa ke proses *recycle*. Khusus untuk penggunaan baterai *laptop*, kapasitas yang harus dimiliki oleh *battery cell* adalah minimal 60%.

#### 4.2.2.4 Proses Inspeksi Komponen *Solder Tab*

Tahapan pertama adalah dengan melakukan inspeksi visual. Terdapat beberapa kriteria inspeksi visual untuk *solder tab*, yaitu:

- a. Semua bagian *solder tab* utuh.
- b. Tidak ada bagian *solder tab* yang sobek.
- c. Tidak ada bagian *solder tab* yang berlubang.
- d. Tidak ada bagian *solder tab* yang tertekuk.
- e. *Solder tab* dalam keadaan bersih dari perekat, lem, dan sejenisnya.

Inspeksi visual untuk *solder tab* dilakukan secara manual dan proses inspeksi untuk *solder tab* dapat dilihat pada Gambar 5(b)



Gambar 5. Flow Chart Inspeksi Battery Cell (a) dan Inspeksi Solder Tab (b)

#### 4.2.2.5 Proses Inspeksi Komponen Tambahan Lainnya

Proses inspeksi untuk bahan tambahan karet alas dapat dimulai dengan inspeksi visual dengan kriteria:

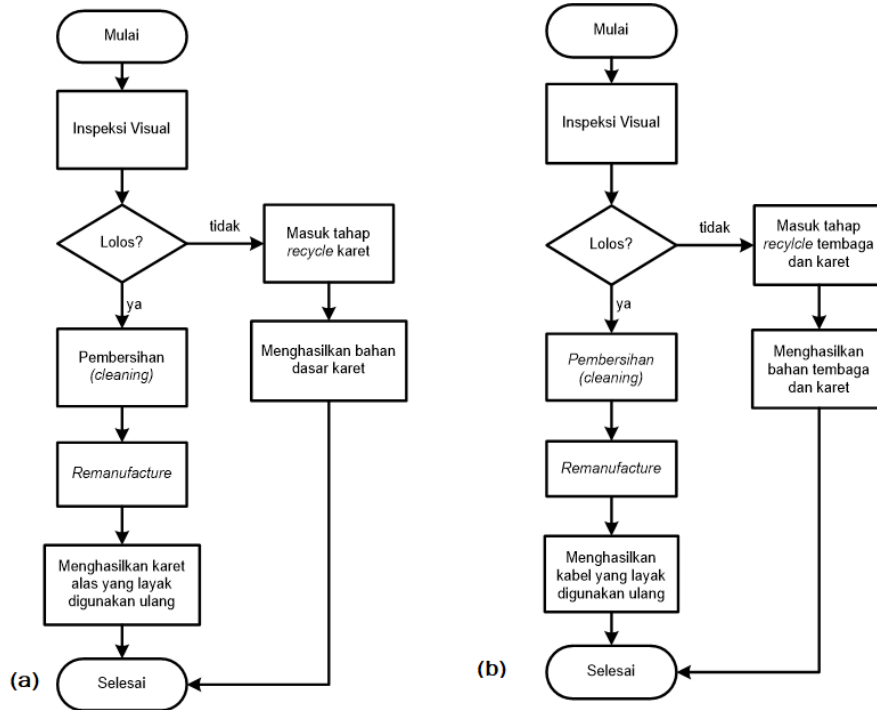
- a. Semua bagian karet alas utuh.
- b. Tidak ada bagian karet alas yang sobek.
- c. Tidak ada bagian karet alas yang tergores.
- d. Karet alas dalam keadaan bersih dari perekat, lem, dan sejenisnya.

Proses inspeksi untuk karet alas dapat dilihat pada Gambar 6(a).

Proses inspeksi untuk bahan tambahan kabel dapat dilihat pada Gambar 6(b). Terdapat beberapa kriteria inspeksi visual untuk separator, yaitu:

- a. Semua bagian kabel utuh.
- b. Karet luar kabel tidak sobek.

- c. Tidak ada bagian kabel yang putus.
- d. Tidak ada bagian kabel yang tergores.
- e. Kabel dalam keadaan bersih dari perekat, lem, dan sejenisnya.



Gambar 6. Flow Chart Inspeksi Karet Alas (a) dan Inspeksi Kabel (b)

#### 4.2.3 Rancangan Tahapan *Recycle*, *Cleaning*, dan *Remanufacture* Komponen

Rancangan proses *recycle* untuk setiap komponen pasti akan berbeda-beda. Perbedaan bahan penyusun komponen akan berpengaruh pada jenis proses *recycle* yang dilakukan. Terdapat komponen-komponen yang telah dinyatakan lolos dan perlu diperbaiki sedikit dan dibersihkan dari segala kotoran (lem, perekat, *label*, dan lain-lain). Pada tahapan ini, komponen-komponen harus melalui proses *cleaning* dan *remanufacture*. Pembersihan ini disebut *cleaning* dan dilakukan dengan cara manual maupun menggunakan alat. Komponen-komponen yang masih dapat digunakan secara fungsional namun memiliki cacat yang tidak mengganggu fungsi dari komponen, dapat melalui proses *recovery*.

#### 4.2.4 Rancangan *Reuse* untuk *Battery Cell*

Baterai *laptop* memiliki 6 sel *battery cell* di dalam satu *pack* sehingga pada rancangan ini, beberapa *battery cell* bekas akan diatur sedemikian rupa agar dapat digabung dan disusun ke dalam beberapa *pack* baterai *laptop*. Keenam *battery cell* yang akan digabung untuk satu *pack* ini harus memiliki besar kapasitas yang sama atau serupa.

Hal pertama yang dilakukan adalah mendapatkan *battery cell* dengan kapasitas  $\geq 60\%$  seperti yang telah dipisahkan dari proses inspeksi. Selanjutnya, *battery cells* dimasukkan ke dalam beberapa grup, yaitu Grup A, B, dan C:

- a. Grup A: *battery cell* dengan kapasitas  $\geq 80\%$ .
- b. Grup B: *battery cell* dengan kapasitas 70-79%
- c. Grup C: *battery cell* dengan kapasitas 60-69%.

Setiap *battery cell* yang menunggu kedatangan *battery cell* lainnya dari proses inspeksi untuk dapat dikelompokkan dalam groupnya hanya diperbolehkan menunggu maksimal 6 bulan. Jika tidak ada kedatangan *battery cell* lainnya dalam jangka waktu tersebut, perusahaan berhak untuk menjual *battery cell* tersebut untuk kebutuhan produk elektronik lainnya. Hal terakhir yang dilakukan adalah memberikan semua hasil penyusunan kepada proses selanjutnya, yaitu *remanufacture* baterai *laptop* maupun *reuse battery cell* untuk elektronik lainnya.

#### 4.2.5 Rancangan Rantai Reverse Logistic

Perancangan sistem *reverse logistic* untuk baterai *laptop* dibuat menjadi beberapa alternatif, berdasarkan hasil dari kuesioner mengenai kecenderungan konsumen dalam memilih tempat pengembalian baterai *laptop* dan segala kemungkinan adanya pihak-pihak yang terlibat dalam sistem ini. Selain mengenai jalur pengembaliannya, alternatif yang dirancang juga meliputi proses-proses yang ditanggungkan pada pihak-pihak yang terlibat dalam sistem ini. Alternatif yang dibuat ada sebanyak 5 alternatif, yaitu A, B, C, D, dan E.

Kepada kelima alternatif ini, dilakukan penilaian oleh 2 orang ahli (*expert*) dengan kriteria:

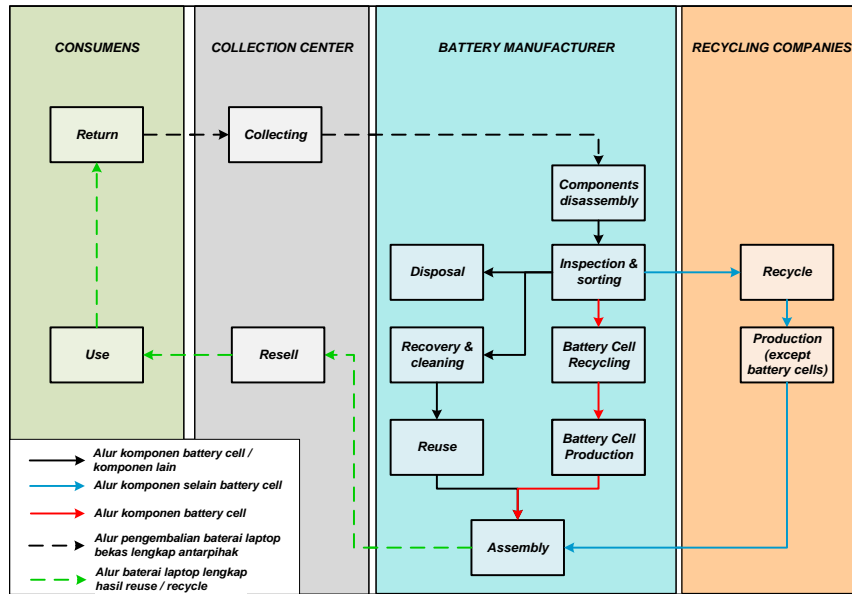
- a. Memiliki pengetahuan yang mendalam mengenai *logistic*
- b. Memiliki pengalaman dalam membuat artikel, jurnal, maupun penelitian internasional di bidang *logistic* (maupun *supply chain*) yang diakui dan terpublikasikan

Penilaian ini dilakukan dengan *scoring* 1-5 untuk tujuh aspek, yaitu kemudahan akses pengembalian produk oleh konsumen, kompleksitas alur *reverse logistic*, perkiraan *lead time*, kemudahan aliran komunikasi dan informasi, peluang keikutsertaan Usaha Kecil Menengah (UKM), dan dampak lingkungan. Pada akhirnya, dihasilkan bahwa rancangan Alternatif D merupakan rancangan alternatif terbaik. Alternatif D memiliki beberapa pihak di dalamnya, yaitu konsumen, *collection center*, perusahaan manufaktur baterai *laptop*, dan perusahaan-perusahaan *recycling*. Gambar dari Alternatif D dapat dilihat pada Gambar 6.

#### 4.2.6 Rancangan Sustainability Evaluation Komponen Baterai Laptop

Hal yang ingin dicapai dari rancangan ini adalah dampak negatif terhadap lingkungan dapat berkurang. Informasi yang dibutuhkan untuk rancangan ini adalah *built to last*, *end of life*, dan *duration of use*. Skenario perubahan persentase *recycled* pada bagian *end of life* ada sebanyak empat skenario, yaitu perubahan 30%, 50%, 70%, dan 80%. Semakin besar persentase *recycled*, dampak lingkungan pada kategori-kategori tersebut menurun. Oleh karena itu, persentase *recycled* sebesar 80% dipilih untuk mengetahui besarnya persentase penurunan dampak lingkungan pada kategori-kategori yang ada.

Beberapa komponen yang mengalami perubahan 0%, misal pada komponen *solder tab*. Sebenarnya persentase perubahan yang terjadi tidak signifikan besarnya sehingga diberi angka 0%. Perubahan yang terjadi sangat kecil dan mendekati 0 (nol). Berbeda dengan komponen sisanya yang memang menunjukkan % perubahan dampak keseluruhan. Perubahan yang terjadi adalah penurunan dampak negatif untuk beberapa kategori dampak lingkungan, seperti *carbon footprint* dan *water eutrophication*. Penurunan yang terjadi adalah sebesar 1-29% dari kondisi sebelum konsep *reverse logistic* diterapkan.



Gambar 7. Hasil Rancangan Skeme Reverse Logistic Alternatif D

#### 4.2.7 Tanggapan Pengguna Terhadap Baterai Laptop Hasil Reuse/Recycle

Dari 82 responden yang pernah mengalami masalah baterai laptop, 52,44% di antaranya mungkin akan membeli baterai laptop hasil reuse/recycle. Selain itu, ada 31 responden yang tidak akan membeli baterai hasil reuse/recycle dan sisanya, 8 responden menyatakan akan membeli jika ada baterai laptop hasil reuse/recycle. Harga yang diusulkan oleh responden dapat dilihat pada Tabel 2. Dari data ini, sekitar 73,17% responden memberikan harga sekitar di bawah Rp. 100.000,00 sampai dengan Rp. 200.000,00 untuk baterai laptop hasil reuse/recycle.

Tabel 2 Kategori Komponen Berdasarkan

Harga Baterai	Jumlah Responden
di bawah Rp. 100.000,00	14
Rp. 100.000,00	23
Rp. 150.000,00	8
Rp. 200.000,00	15
Rp. 300.000,00	10
Rp. 400.000,00	4
Rp. 500.000,00	7
Rp. 700.000,00	1
Total Responden	82

## 5 Kesimpulan

Dari penelitian ini didapat bahwa rancangan siklus hidup baterai *laptop* bekas adalah berupa pola *gate-to-gate*, yaitu dimulai dari tahapan *retirement*, *reuse*, *remanufacture*, *recycle*, *production*, dan *disposal*. Didapatkan satu desain rantai *reverse logistic* yaitu Alternatif D, dengan pihak-pihak terlibat seperti konsumen, *collection center*, perusahaan-perusahaan manufaktur baterai, dan perusahaan-perusahaan *recycling*. Proses yang ada di dalam alternatif ini antara lain *collecting*, *disassembly*, *inspection & sorting*, *reuse*, *recycle*, *production*, *assembly*, sampai *resell*.

Penanganan dengan *reverse logistic* mampu menurunkan dampak lingkungan dari setiap komponen baterai *laptop*:

- a. Dampak lingkungan dari komponen *battery case*, *solder tab*, dan komponen tambahan pada baterai *laptop* dapat dikurangi dengan cara mengubah *built to last*, *end of life*, dan *duration of use*. Perubahan yang terjadi adalah penurunan dampak negatif untuk beberapa kategori dampak lingkungan, seperti *carbon footprint* dan *water eutrophication*. Penurunan yang terjadi adalah sebesar 1-29% dari sebelumnya. Penurunan terbesar adalah dari komponen *battery case* dan penurunan terkecil adalah dari komponen *solder tab*.
- b. Daur ulang *battery cell* dapat menghemat penggunaan sumber daya alam baru untuk produksi katoda *battery cell*, mencapai 51%.

## 6 References

- [1] Blumberg, D. F., Introduction to Management Of Reverse Logistics And Closed Loop Supply Chain Processes, CRC Press, 2000.
- [2] Dewulf, J., Vorst, G.V., Denturck, K., Langenhove, H.V., Ghyoot, W., Tytgat, J., & Vandeputte, K. (2010). *Recycling Rechargeable Lithium Ion Batteries: Critical Analysis of Natural Resource Savings*. Elsevier, [www.elsevier.com/locate/resconrec](http://www.elsevier.com/locate/resconrec), (11 Januari 2017)
- [3] Honda, Khetriwal, & Kuehr., *Regional E-waste Monitor, East and Southeast Asia*. United Nations University & Japanese Ministry of the Environmental, <https://ewastemonitor.info/pdf/Regional-E-Waste-Monitor.pdf>, (21 Desember 2016).
- [4] NEA. (n.d.). *E-waste Recycling*. National Environment Agency, [www.nea.gov.sg](http://www.nea.gov.sg), (2 Desember 2016).
- [5] *We Are Social. Digital in 2016*. We Are Social. Diunduh dari: [www.wearesocial.net](http://www.wearesocial.net) (9 Desember 2016).
- [6] NA, What is the Integrated Recycling System, [www.fujixerox/ecology/cycle/concept](http://www.fujixerox/ecology/cycle/concept), 3 Oktober 2018.