

PENILAIAN DAUR HIDUP BOTOL PET (POLYETHYLENA TEREPHTALATE) PADA PRODUK MINUMAN ***LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) OF PET (POLYETHYLENA TEREPHTALATE) BOTTLES FOR DRINKING PRODUCT***

Mohamad Yani^{1)*}, Endang Warsiki^{2)*}, dan Noviana Wulandari^{3)*}

¹⁾Laboratorium Teknik dan Manajemen Lingkungan, ^{2,3)}Laboratorium Pengemasan dan Transportasi, Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Kotak Pos 220, Bogor 16680, Indonesia.

*email: f226yani@gmail.com, moh.yani@ipb.ac.id, endangwarsiki@gmail.com, noviana_w@yahoo.com

Abstract

The use of PET packaging in drinking products has increased and shifted glass packaging, so it is necessary to study the life-cycle of PET packaging. This research aims to evaluate life cycle of PET bottles on tea beverage products. This life-cycle assessment includes production process, inventory, environmental impact, and cost analysis. The life cycle of PET bottle in Indonesia is not complete. The relationship between PET bottle manufacturers, drinking manufacturers, and recycling waste, are unidirectional. The recycled waste-PET used for other products. Based on the analysis of inventory, PET bottles 600ml is needed 28g resin/bottles and energy. The PET packaging production still produced a high defective product. Environmental impact assessment of PET bottle production indicates that the ambient air quality, noise and waste water are still good. The impact of PET bottle plant produce a global warming potential, reduce ozone layer and acid rain. The cost analysis describe that selling price of PET bottles is half the price of a glass bottle, while the price of waste-PET flake is three times higher than cullet. Although PET packaging is considered more practical, cheap and saving, but the recycling of PET packaging has not been widely utilized.

Keyword: Life cycle assessment (LCA), PET, recycle, environmental impact

1. Pendahuluan

Peningkatan populasi masyarakat akan meningkatkan konsumsi berbagai jenis makanan dan minuman yang akan diikuti dengan peningkatan limbah bahan kemasan yang menyertainya. Produk minuman yang dikonsumsi utama adalah air, minuman jus, teh, dan susu. Bahan kemasan minuman relatif memiliki umur yang pendek, dimana jumlah limbah kemasan produk minuman sebanding dengan penjualan produk minuman tersebut. Kemasan produk minuman yang digunakan terutama plastik (PET, PP dan PE) dan gelas. Bahan kemasan *polyethylene terephthalate* (PET) adalah suatu resin polimer plastik termoplastis dari kelompok poliester. PET banyak diproduksi dalam industri kimia dan

digunakan dalam serat sintetis, botol minuman dan wadah.

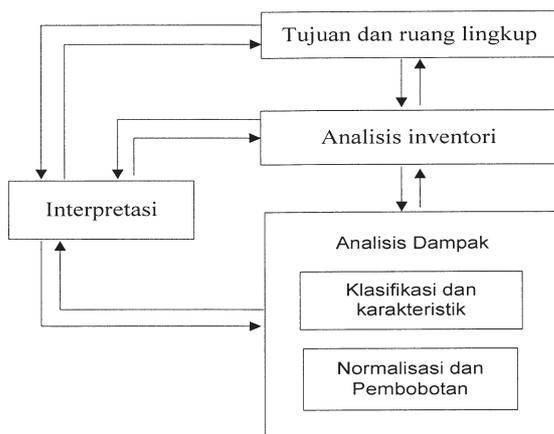
Produk minuman teh pada awalnya dikemas dengan menggunakan kemasan botol gelas, namun saat ini beralih menggunakan kemasan botol PET. Kecenderungan peningkatan limbah kemasan PET berdampak negatif terhadap permasalahan lingkungan, dimana sebagian besar bahan kemasan plastik tidak dapat didaur-ulang oleh lingkungan, sehingga perlu dilakukan suatu pengkajian mengenai jenis kemasan yang paling baik terhadap lingkungan dengan menggunakan metoda *Life Cycle Assessment* (LCA). Menurut Drive (2006), LCA adalah suatu metoda yang dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang disebabkan oleh suatu

produk selama proses produksi atau aktivitas selama siklus hidupnya dan aliran bahan yang terjadi di dalam proses produksi produk tersebut.

Berdasarkan ISO 14040 (ISO 2006), kajian LCA dilakukan dalam empat tahap, yaitu: penentuan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak, dan interpretasi (Gambar 1). Tahap pertama yaitu menentukan parameter-parameter yang berhubungan dengan analisis. Pada tahap analisis inventori dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam melakukan analisis, meliputi bahan baku, energi, emisi, dan limbah yang dihasilkan. Tahap analisis dampak bertujuan untuk mengetahui dampak yang mungkin dapat terjadi selama siklus hidup suatu produk.

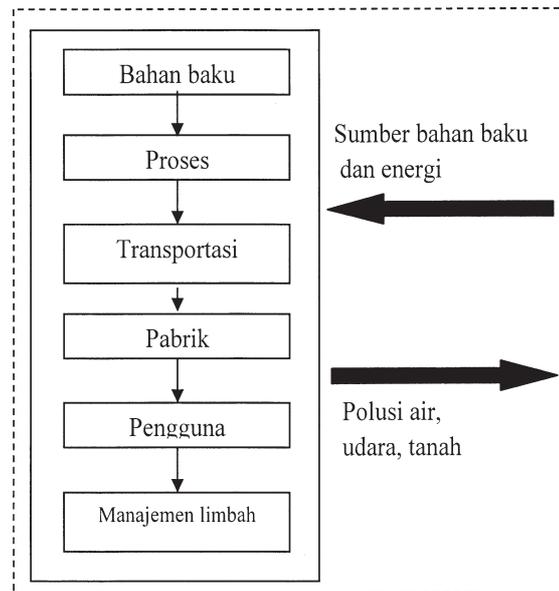
Model *Life Cycle Assessment* dapat dilihat pada Gambar 2. Kajian tentang LCA untuk suatu produk dimulai dari kajian bahan baku, proses, transportasi, pabrik (produksi barang), pengguna produk, dan manajemen limbah. Di luar itu ada masukan sumber bahan baku dan energi serta keluaran pencemar air, udara dan tanah.

Penelitian LCA pada industri minuman, pada umumnya adalah perbandingan beberapa jenis bahan kemasan, terutama penggunaan kemasan botol sekali pakai (*disposable*) dan isi ulang (*refillable*), baik botol jenis gelas maupun plastik (Arvanitoyannis, 2008). Pasqualino *et al.* (2011) mengkaji proses daur-ulang berbagai bahan kemasan minuman terhadap konsumsi energi dan pemanasan global. Nessi *et al.* (2012) telah mengkaji daur-ulang botol PET dan gelas dalam sistem isi ulang (*refilling system*) produk minuman.



Sumber : ISO (2006)

Gambar 1. Tahapan LCA ISO 14040



Sumber : Baumann and Tillman (2002)

Gambar 2. Model *Life Cycle Assessment*

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi siklus hidup kemasan botol PET pada produk minuman teh mencakup analisis inventori dari sisi kebutuhan bahan baku, kebutuhan energi pada proses produksi, dan menilai dampak pencemaran lingkungan, pengelolaan limbah, dan analisis biaya.

2. Metodologi

Penelitian LCA kemasan PET dilakukan pada perusahaan minuman teh di Jawa Barat dan Jawa Timur. Tahapan penelitian terdiri dari pengamatan di lapangan, studi pustaka, dan pengolahan data LCA (Gambar 3). Pengamatan lapangan dilakukan terhadap pabrik kemasan botol PET, pabrik minuman teh, jaringan daur-ulang kemasan PET di beberapa perusahaan dan unit usaha di Provinsi Banten, DKI, Jawa Barat dan Jawa Timur.

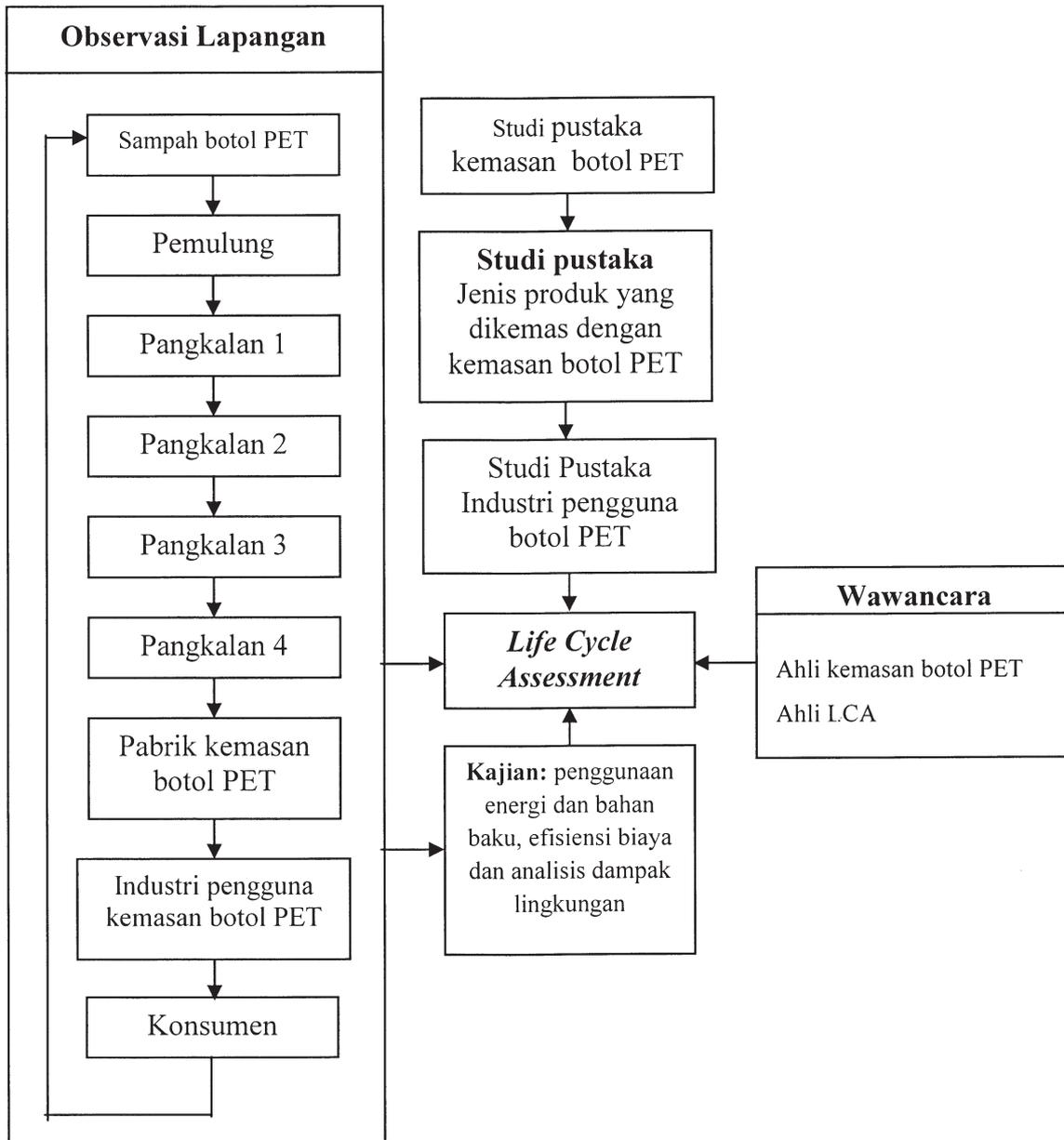
Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data yang digunakan meliputi: (i) proses produksi dan daur-ulang botol PET; (ii) kebutuhan bahan baku dan energi; (iii) pencemaran udara (CO_2 , NO_x , SO_x dan debu); (iv) pencemaran air (COD dan BOD); dan (v) kebutuhan biaya. Pengolahan data LCA dilakukan dengan mengacu pada ISO 14040 (Gambar 1) dan analisis dampak lingkungan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Tujuan dan Ruang Lingkup

Tahap pertama studi LCA adalah penentuan tujuan dan ruang lingkup kajian (Drive, 2006). Batasan atau ruang lingkup kajian meliputi proses produksi kemasan botol PET, pengguna (industri

minuman teh), dan pengolahan limbah kemasan botol PET, dampak lingkungan dan analisis biaya. Menurut ISO 14040 (ISO 2006), pemilihan kategori dampak harus konsisten dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian, dan mencerminkan isu-isu lingkungan utama yang berhubungan dengan sistem produk/jasa. Ulasan dalam penelitian ini, terbatas pada data

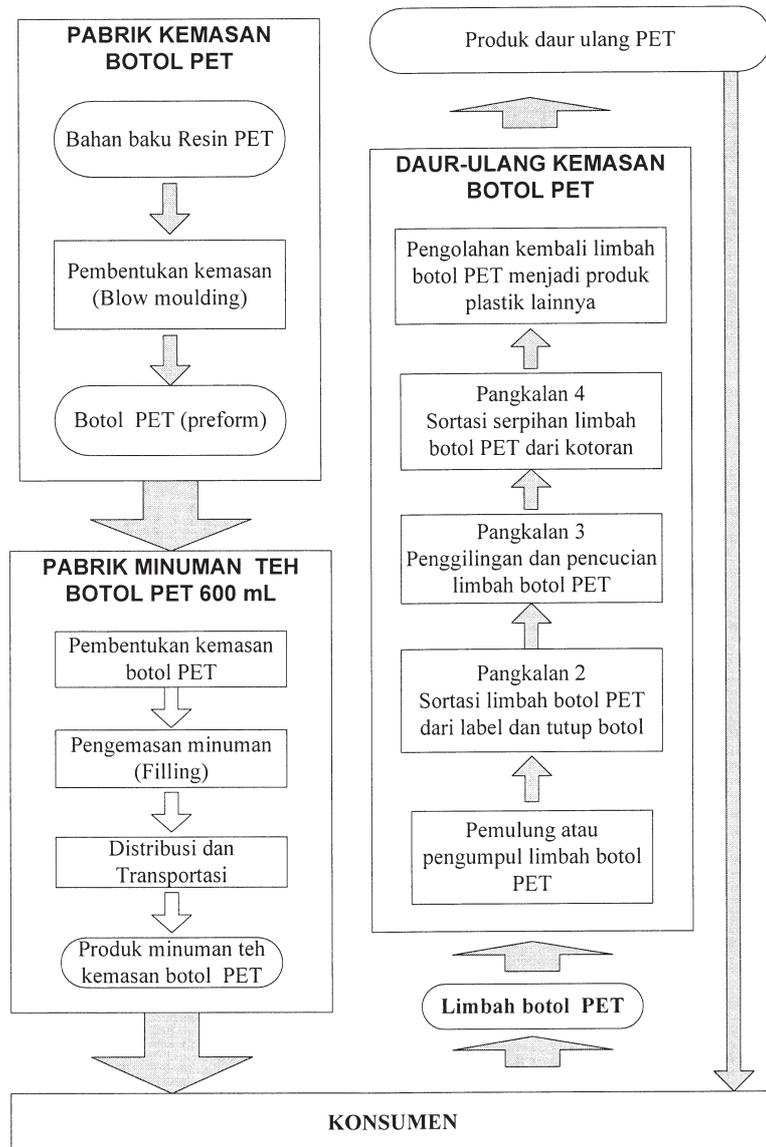


Gambar 3. Diagram alir penelitian daur hidup kemasan botol PET

yang diperoleh dari lapangan, wawancara dan studi pustaka, telah dibandingkan kategori dampak potensial pemanasan global (GWP), potensial pencemaran udara, potensi eutrofikasi (EP), penggunaan energi (EN), daur-ulang limbah PET, dan analisis biaya.

3.2. Analisis Inventori

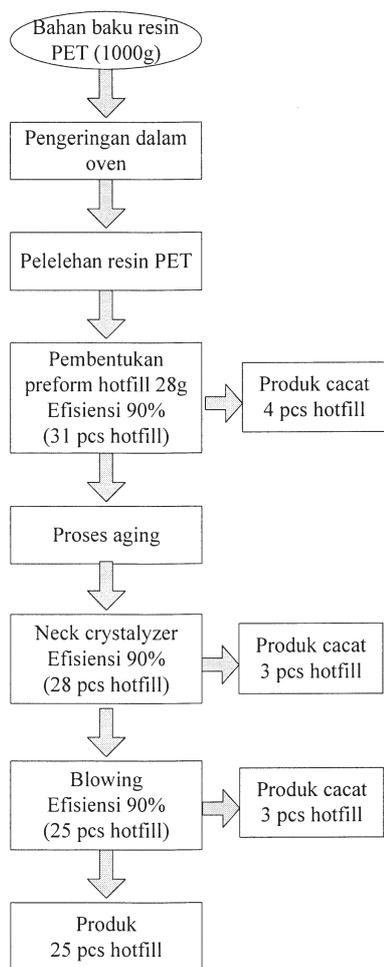
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang mendukung LCA, berupa kebutuhan bahan baku dan energi, proses produksi kemasan, dan proses daur-ulang limbah kemasan PET. Siklus hidup kemasan botol PET, diawali dengan proses produksi kemasan botol PET, kemudian kemasan botol PET yang telah selesai diproduksi digunakan untuk mengemas produk minuman teh. Produk tersebut akan disalurkan ke konsumen melalui distributor dan konsumen akan memanfaatkan produk tersebut sehingga dihasilkan limbah kemasan yang berpotensi mencemari lingkungan. Pencemaran tersebut dapat terjadi karena kemasan botol PET tidak dapat didaur-ulang oleh lingkungan. Semakin banyak kemasan botol PET yang digunakan untuk mengemas produk maka akan semakin banyak pula jumlah kemasan botol PET yang dapat mencemari lingkungan, sehingga dibutuhkan suatu tindakan untuk menanggulangi limbah kemasan botol PET. Proses penanganan limbah kemasan botol PET dilakukan dengan melibatkan beberapa pihak, sehingga membuat siklus hidup kemasan botol PET menjadi panjang. Siklus hidup kemasan botol PET tersusun dari tiga kegiatan yaitu pabrik kemasan botol PET, pabrik minuman teh (pengguna), dan jaringan daur-ulang kemasan PET (Gambar 4).



Gambar 4. Siklus hidup kemasan botol PET (observasi lapang)

3.2.1. Pabrik Kemasan Botol PET

Secara ringkas, kegiatan pabrik kemasan PET dalam memproduksi botol PET menggunakan bahan baku resin PET. Pengolahan dan pembentukan botol kemasan PET dalam bentuk *preform* untuk dikirimkan ke pengguna atau pabrik minuman teh. Kemasan botol PET dibuat dengan cara *blow molding* (Awaja dan Pavel, 2007). Berdasarkan pengamatan neraca masa produksi botol PET (Gambar 5), dari sejumlah 1000g resin hanya dihasilkan 25 buah *preform hotfill*



Gambar 5. Neraca massa proses pembuatan botol PET (observasi lapang)

dan 10 buah cacat sebagai limbah. Perbandingan produk jadi dan cacat adalah 5:2.

Pada proses produksi botol PET, limbah yang banyak dihasilkan adalah limbah padat yang berupa *preform* dan botol PET yang tidak memenuhi standar. *Preform* dan botol PET yang tidak memenuhi standar tersebut akan dijual ke industri yang membutuhkan, seperti produk rumah tangga dan tidak digunakan kembali dalam sebagai bahan baku produksi kemasan botol PET. Hal tersebut dikarenakan berkurangnya kekuatan atau kerapatan dari struktur polimer PET sehingga dapat menyebabkan terjadinya migrasi atau pindahnya zat-zat monomer dari bahan plastik ke dalam makanan.

Data secara kuantitatif sangat sulit diperoleh dari responden pabrik kemasan dan pengguna

kemasan botol PET, sehingga dilakukan beberapa pendekatan pustaka dan wawancara. Tahapan proses produksi botol plastik PET cukup panjang, sehingga memerlukan energi yang sangat besar (Vellini dan Savioli, 2009). Penentuan kebutuhan energi dapat difahami dari perbedaan titik leleh bahan baku PET dan silika menyebabkan keperluan energi untuk proses produksi kemasan PET jauh lebih rendah dari pada kemasan botol gelas. Pengolahan PET dilakukan pada suhu 120 °C, sedangkan pasir silika pada suhu 1500 °C. Menurut Neri *et al.* (2007), kebutuhan energi pada proses produksi botol PET mencapai 4956 MJ dan dari jumlah tersebut hanya 445 MJ (9%) berupa energi terbarukan (Tabel 1), sedangkan produksi botol gelas memerlukan 9146 MJ (9.7%). Energi terbarukan pada proses produksi kemasan botol PET dan gelas ini relatif masih sangat kecil.

Tabel 1. Kebutuhan energi dan bahan baku pada proses produksi kemasan botol PET dan botol gelas

Karakteristik energi	Botol PET (MJ)	Botol Gelas (MJ)
Total yang tidak dapat diperbaharui ^a	4511	8256
Total yang dapat diperbaharui ^a	445	890
Total kebutuhan energi ^a	4956	9146
Kebutuhan bahan baku	28 g	300 g

^a Neri *et al.* (2007)

3.2.2. Pabrik Minuman Teh

Menurut Almeida *et al.* (2010) untuk produk minuman di Brasil, menunjukkan bahwa pilihan terbaik adalah botol PET. Pengamatan kemasan produk minuman teh yang populer di Indonesia adalah kemasan PET. Kegiatan pabrik pengguna kemasan PET adalah mengubah botol PET bentuk sementara (*pre-form*) menjadi bentuk botol kemasan PET (dalam hal ini kemasan botol volume 600mL), pengisian produk minuman teh (*filling*), pelabelan, pengemasan, dan distribusi dan transportasi produk teh kemasan PET ke konsumen (Gambar 4). Selanjutnya, produk minuman tersebut dikonsumsi dan limbah kemasan botol PET dibuang atau dikumpulkan untuk didaur-ulang.

3.2.3. Daur-ulang PET

Kegiatan daur-ulang limbah botol kemasan PET dimulai dari pengumpulan, pemilahan tutup botol dan label serta disortasi berdasarkan warna, kemudian botol diolah menjadi serpihan PET melalui tahapan proses penggilingan, pencucian, dan pengeringan (Gambar 4). Temuan di lapangan, menunjukkan semua jenis plastik dikumpulkan oleh pemulung, disortasi berdasarkan jenisnya untuk pemanfaatan selanjutnya sebagai bahan plastik yang dapat didaur-ulang. Khusus untuk limbah kemasan PET dilakukan pencucian dan pencacahan menjadi serpihan yang siap dijual. Serpihan PET yang telah kering disortasi kembali dari kotoran kemudian dikemas dan dikirim ke industri pengolahan plastik. Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa, serpihan PET tidak kembali ke pabrik kemasan PET, tetapi dikirim ke industri lain untuk diolah menjadi produk lain, atau diekspor.

Pabrik kemasan botol PET tidak memanfaatkan serpihan daur-ulang PET. Dengan demikian, siklus PET ini, sebenarnya tidak melingkar (*un-cycle*). Beberapa peneliti di beberapa negara melaporkan bahwa penggunaan kembali serpihan PET ini hampir mencapai 25% yang dicampur dengan *virgin* PET (Vellini dan Savioli, 2009).

Huang dan Ma (2004) melakukan pendekatan analisis kluster jenis kemasan dengan menggunakan analisis multivariate, AHP kualitatif dan metoda kuantitatif LCA dikombinasikan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari bahan-kemasan. Hasil pengolahan data mendapatkan tiga kluster, yaitu kluster 1 (PET, PE, HDPE, PP) yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan kluster 2 (*card board, steel*), dan kluster 3 (gelas, aluminium) yang kurang ramah lingkungan. PET ternyata termasuk jenis kemasan yang lebih ramah lingkungan dari pada kemasan gelas atau aluminium.

Vellini dan Savioli (2009) menyatakan bahwa produksi dan daur-ulang kemasan gelas sangat memerlukan energi. Simulasi dengan menggunakan Bosted Model menunjukkan bahwa produksi kemasan gelas lebih ramah lingkungan daripada PET, jika faktor penggunaan kembali dan daur-ulang (*reuse /recycle*) lebih tinggi. Produksi kemasan gelas menggunakan 80% reuse dibandingkan dengan PET hanya 25% saja. Barboza *et al.* (2009) menyatakan bahwa proses daur ulang PET walaupun sulit dilakukan, bila melalui proses glikolisis dengan katalis

propilen-glikol, dapat mencapai 35% daur-ulang PET menjadi poliester tidak jenuh.

Grims *et al.* (2007) melaporkan kemasan botol (*refill*) mungkin lebih efektif biaya pada jangka lama, namun konsumen perlu membudayakan diri untuk menyimpan/mengembalikan botol dengan perolehan insentif. Penggunaan model *game theory* dapat mensimulasi strategi penggunaan kemasan botol sebagai fungsi dari harapan kooperatif dari konsumennya. *Game theory* ini memungkinkan investigasi kesediaan produsen dan konsumen untuk mencari strategi yang memperhatikan kepentingan umum, selama tidak merugikan kepentingan mereka sendiri. Dalam *game theory* untuk model siklus hidup kemasan botol dapat disajikan kerangka kerja untuk menganalisis pilihan antara penggunaan botol isi ulang dan sekali pakai. Meskipun botol isi ulang mungkin lebih hemat biaya dalam jangka panjang, pembotolan hanya memiliki insentif untuk menggunakan botol isi ulang ketika mereka yakin bahwa tingkat pengembalian konsumen akan cukup tinggi. Konsumen yang menyimpan atau membuang botol isi ulang, tidak memperoleh deposit atau pengembalian insentif. Hal ini akan mendorong pembuangan botol PET bekas dan pembuatan botol baru PET, sehingga akan meningkatkan biaya produksi botol PET.

Menurut Nessi *et al.* (2012), di Italy, beberapa jenis kemasan PET berbagai volume, dapat digunakan kembali (*refillable*) hingga 15 kali, sedangkan botol gelas bisa mencapai 20-25 kali. Limbah PET yang dimanfaatkan kembali (*recycle*) mencapai 25-80%. Pemanfaatan akhir limbah kemasan plastik, termasuk PET dibakar dalam insinerator untuk menghasilkan energi di Italy (Nessi *et al.*, (2012), Denmark (Turconi, *et al.*, 2011), dan beberapa negara lainnya. Pemanfaatan limbah kemasan PET dilaporkan mencapai 77% daur-ulang dan 23% insinerator (Nessie *et al.*, 2012). Pengolahan limbah dengan teknik pembakaran pada insinerator menghasilkan energi listrik 2,46 MJ/kg PET (Pasqualino *et al.*, 2011).

3.4. Evaluasi Dampak Lingkungan

Cemaran lingkungan yang terjadi selama siklus hidup kemasan PET meliputi cemaran komponen fisik-kimia (limbah udara, debu, kebisingan, limbah padat dan air limbah) dan komponen ekonomi. Data cemaran udara dan bising pada salah satu perusahaan produksi kemasan botol PET dapat dilihat pada

Tabel 2. Peningkatan pencemaran udara pada peningkatan kapasitas produksi kemasan botol PET pada industri minuman teh

Parameter Pencemaran	Satuan	Tahun 2003	Tahun 2008	BML ^a	Peningkatan
SO ₂	µg/Nm ³	3,48	29	52000	25,52
NO ₂	µg/Nm ³	1,36	29	56000	27,64
NH ₃	µg/Nm ³	0,58	140	17000	139,42
H ₂ S	µg/Nm ³	0,22	4,0	14000	3,78
CO	µg/Nm ³	412	3895	29000	3483
TSP (Debu)	µg/Nm ³	58,2	60	10000	1,8
Kebisingan	db A	65	85,4	85 ^b	20,4
Kapasitas Produksi	Ribu botol /bulan	6.000	35.000	-	29.000

Sumber : data sekunder perusahaan X tahun 2007.

^a Baku mutu lingkungan kerja (SE MenaKer No. SE-01/MEN/1997)

^b Baku mutu kebisingan (KepMenaker No. 51/MEN/1999)

Tabel 2. Dampak lingkungan global dari kegiatan produksi kemasan botol PET dan gelas dilaporkan oleh Malik (2004).

3.4.1. Komponen Fisik Kimia

Pada proses produksi kemasan botol PET, limbah yang dihasilkan dikelompokkan menjadi empat jenis, yaitu limbah padat, gas, debu, dan kebisingan. Pada proses produksi botol PET, dihasilkan debu akibat adanya pergerakan kendaraan pengangkut bahan baku, alat transportasi, dan penggunaan mesin produksi. Cemaran udara yang dihasilkan pada proses produksi kemasan botol PET berasal dari emisi mesin produksi dan kendaraan bermotor. Komponen pencemaran udara (Tabel 2), menunjukkan kualitas udara di dalam ruang produksi masih jauh di bawah baku mutu lingkungan (BML), meskipun perusahaan telah meningkatkan kapasitas produksinya saat ini.

Partikel debu dalam ruangan dihasilkan dari berbagai kegiatan pabrikasi, terutama operasional mesin dan transportasi. Pencegahan penyebaran partikel debu dapat dilakukan pencegahan mulai dari sumber pencemar, sebelum tersebar ke dalam ruangan atau lingkungan luar. Secara umum peralatan pengelolaan debu terdiri dari *settling chambers, inertial separators, impingement separators, wet scrubbers, fabric filters*, dan *electrostatic precipitator* (Corbitt, 2004). Sistem pengolahan debu dalam ruang, yang dilakukan perusahaan adalah menggunakan *exhaust fan*.

Penggunaan *exhaust fan* bertujuan untuk mengalirkan udara dalam ruangan ke luar ruangan, dimana cemaran gas, panas dan debu-debu halus yang terdapat dalam ruangan, akan terhisap dan terdorong ke udara bebas. Perusahaan kemasan botol PET melakukan pengelolaan lingkungan dengan cara penanaman pohon pelindung dan penghijauan di halaman dan sekeliling pabrik, sehingga diharapkan cemaran gas dan debu dapat diserap oleh tanaman tersebut. Selain penggunaan *exhaust fan*, sebaiknya pengelolaan debu menggunakan peralatan seperti di atas untuk mengolah debu tersebut, sehingga tidak mencemari lingkungan atau menurunkan kesehatan pekerja dan masyarakat.

Mesin atau peralatan yang digunakan pada proses produksi kemasan botol PET menghasilkan kebisingan. Tingkat kebisingan yang dihasilkan pada proses produksi kemasan botol PET pada tahun 2008 menjadi 85,4 dBA (Tabel 2), hingga telah melebihi baku mutu lingkungan kerja. Peningkatan limbah kebisingan dapat terjadi akibat meningkatnya kapasitas produksi dan menurunnya kondisi mesin. Upaya pengelolaan kebisingan yang dilakukan dengan cara perbaikan dan perawatan mesin produksi. Pengelolaan terhadap gangguan kebisingan di luar pabrik yang berasal dari lalu lintas kendaraan dan barang dilakukan dengan cara penanaman pohon pelindung dan penghijauan di sekitar pabrik.

Limbah padat yang dihasilkan pada proses

produksi kemasan botol PET berupa botol dan *preform* yang tidak memenuhi standar. Limbah padat tersebut tidak mendapatkan penanganan khusus melainkan dijual kepada industri olahan plastik. Limbah kemasan PET ini dikumpulkan dan didaur-ulang di luar perusahaan.

Pada proses produksi kemasan botol PET hampir tidak menggunakan air. Limbah cair yang dihasilkan pada proses produksi kemasan botol PET dihasilkan dari kegiatan MCK (mandi cuci kakus), sehingga tidak tidak berbahaya bagi lingkungan. Pada proses produksi kemasan botol gelas, limbah cair berasal dari proses pencucian *cullet* dan pendinginan mesin produksi. Nilai COD dan BOD yang dikandung oleh suatu limbah cair dari proses kemasan botol gelas dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi pada saluran air (Malik, 2004).

Kegiatan produksi kemasan PET, melibatkan penggunaan energi baik listrik maupun bahan bakar kendaraan, yang dapat menimbulkan emisi CO₂. Dampak lingkungan yang dihasilkan pada proses produksi kemasan botol PET (Tabel 3), menunjukkan bahwa pemanasan global, penipisan lapisan ozon, dan hujan asam yang diakibatkan dari proses produksi botol PET jauh lebih rendah dibandingkan dengan botol gelas. Hal ini dikarena pada proses produksi kemasan gelas memerlukan energi yang lebih besar dibandingkan dengan kemasan botol PET, maka dampak lingkungan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan kemasan botol PET. Madival *et al.* (2009) menyatakan bahwa pada produksi PET dan PS (poli-stirena) dari minyak bumi ternyata kurang ramah lingkungan dibandingkan dengan PLA (poly-lactic acid). Pada tahap transportasi dari bahan kemasan plastik (PLA -poly-lactic acid, PS- poli

Tabel 3. Dampak lingkungan global dari proses produksi kemasan botol PET dan gelas

Dampak Lingkungan (unit)	Botol PET	Botol gelas
Pemanasan Global (GWP 100) (kg CO ₂ eq.)	175	851
Penipisan Lapisan Ozon (kg CFC ⁻¹¹ eq.)	0,000006	0,000011
Hujan Asam (k mol H ⁺ eq.)	0,03	0,15
Eutrofikasi (kg O ₂ eq.)	8,1	18,7

Sumber: Malik (2004)

stirena, dan PET) memberikan kontribusi pada global warming, penipisan lapisan ozon, serta pencemaran air.

3.4.2. *Komponen Sosial dan Ekonomi*

Pada tahap proses produksi kemasan botol PET, diprakirakan dapat menciptakan kesempatan kerja bagi masyarakat lokal sehingga dapat meningkatkan pendapatan masyarakat. Walaupun peningkatan pendapatan masyarakat melalui penyerapan atau penerimaan tenaga kerja tidak besar, namun diprakirakan dapat menciptakan kesempatan kerja bagi masyarakat dan mendorong terciptanya peluang usaha bagi masyarakat sekitar. Siklus hidup kemasan botol PET lebih banyak melibatkan pekerja dibandingkan dengan kemasan botol gelas, hal tersebut menyebabkan semakin meningkatnya kesejahteraan masyarakat akibat adanya proses daur-ulang kemasan botol PET.

Penanggulangan cemaran lingkungan yang terjadi selama siklus hidup kemasan botol PET dapat dilakukan dengan cara memperpendek siklus hidup dari kemasan botol PET yang dapat dilakukan dengan cara menyediakan tempat penampungan yang berfungsi untuk menampung botol-botol PET bekas. Masyarakat dihimbau untuk tidak menggunakan botol PET dan botol gelas bekas untuk penggunaan kembali pada produk lain. Penggunaan botol kemasan PET bekas untuk produk lain dikhawatirkan akan meninggalkan residu kotoran pada kemasan PET bekas, sehingga akan menyulitkan pada proses daur-ulang.

Identifikasi dampak lingkungan kegiatan perusahaan dapat dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Identifikasi dampak lingkungan perusahaan kemasan botol PET terhadap komponen sosial dan ekonomi, tidak tersedia cukup data secara kuantitatif, sehingga sulit dilakukan pengukuran dampaknya. Kegiatan proses produksi kemasan botol PET dan proses daur-ulang kemasan botol PET bekas, memerlukan tenaga kerja dan kesempatan berusaha bagi masyarakat. Secara kualitatif, besarnya penyerapan tenaga kerja dan kesempatan berusaha akan memberikan dampak positif terhadap komponen ekonomi.

3.5. *Biaya Produksi*

Pada siklus hidup kemasan membutuhkan biaya, baik untuk membeli bahan baku maupun energi yang digunakan untuk mendukung proses produksi

Tabel 4. Biaya yang dibutuhkan selama siklus hidup kemasan botol PET

Parameter	Nilai
	(Rp/botol)
Kebutuhan bahan baku	28 g/botol
Biaya Bahan Baku dan transportasi bahan baku	340 – 403
Harga Jual kemasan	900 – 950
➤ Biaya transportasi	20
➤ Energi pada proses produksi	50
	(Rp/kg)
Biaya produksi produksi kemasan (bahan baku, energi, dan transportasi)	410 – 473
Harga Jual Limbah Botol	3000
Harga jual hasil disortasi	4000
➤ Biaya transportasi	200
Harga jual hasil penggilingan & pencucian	6000
➤ Biaya penggilingan	100
➤ Biaya Pengeringan	100
➤ Biaya transportasi	100
Harga jual hasil sortasi (export)	6900
➤ Biaya transportasi	100

dan transportasi. Biaya yang dibutuhkan selama siklus hidup kemasan botol PET dapat dilihat pada Tabel 4.

Harga resin PET yaitu sebesar Rp.12150 – Rp.14400/kg, jauh lebih mahal dibandingkan bahan baku botol gelas sebesar Rp. 2267/kg. Kebutuhan bahan baku yang digunakan untuk membuat satu buah kemasan, pada proses produksi kemasan botol PET membutuhkan bahan baku sebanyak 28 g/unit dengan biaya sebesar Rp.340 – Rp.403/unit sedangkan pada proses produksi kemasan botol gelas membutuhkan bahan baku sebanyak 300 g/unit dengan biaya sebesar Rp. 680/unit.

Kebutuhan energi (Tabel 1) dan biaya energi (Tabel 5) yang digunakan untuk produksi kemasan botol gelas jauh lebih besar dibandingkan dengan kemasan botol PET, hal ini dikarenakan perberbedaan sifat dari bahan baku. Pada proses produksi satu kemasan botol gelas membutuhkan biaya produksi sebesar Rp.1700/unit sedangkan untuk membuat satu kemasan botol PET biaya yang dibutuhkan hanya sebesar Rp. 410 – 473/unit. Bila dilihat dari biaya bahan baku, energi dan transportasi yang dibutuhkan pada proses produksi kemasan botol PET lebih ekonomis dari pada kemasan gelas. Harga jual kemasan botol gelas jauh lebih mahal dibandingkan botol PET, yaitu sebesar Rp. 2000/unit sedangkan

botol PET sebesar Rp. 900 – 950/unit.

Pada proses penanganan limbah kemasan, biaya yang dibutuhkan untuk menangani limbah kemasan botol PET jauh lebih besar dibandingkan botol gelas, hal ini dikarenakan banyaknya tahapan yang dibutuhkan untuk menangani limbah botol PET. Tetapi harga jual limbah kemasan botol PET jauh lebih tinggi dibandingkan kemasan botol gelas, yaitu sebesar Rp. 3000/kg sedangkan limbah botol gelas sebesar Rp.1000/kg, hal tersebut dikarenakan kualitas limbah kemasan botol PET lebih baik dibandingkan botol gelas.

4. Simpulan dan Saran

Siklus hidup kemasan botol PET di Indonesia terdiri atas tiga kelompok yaitu : produsen kemasan botol PET, pabrik pengguna kemasan (perusahaan minuman teh), jaringan daur-ulang kemasan botol PET untuk bahan baku industri plastik lain. Kondisi saat ini, ketiga kelompok tersebut bersifat searah dan belum menjadi siklus yang utuh. Berdasarkan analisis inventori siklus hidup PET, dalam pembuatan botol PET untuk minuman teh 600mL, diperlukan resin PET adalah 28g/botol, energi untuk proses produksi dan transportasi. Produksi kemasan PET menghasilkan produk cacat. Proses daur-ulang limbah PET menjadi serpihan dengan harga jual

yang cukup tinggi dibandingkan gelas. Serpihan ini belum didaur-ulang menjadi bahan pencampur produksi kemasan botol PET, tetapi dimanfaatkan untuk produk plastik atau dibakar sebagai bahan bakar

Analisis dampak lingkungan dari siklus produksi kemasan PET menghasilkan cemaran udara, kebisingan dan air limbah yang masih baik. Secara umum, kegiatan tersebut berdampak negatif, tetapi tidak membahayakan lingkungan. Kegiatan siklus kemasan PET berpotensi menimbulkan pemanasan global, penipisan lapisan ozon, dan hujan asam.

Analisis biaya produksi berkaitan dengan penggunaan jumlah bahan baku dan energi, sehingga

menentukan harga jual produk. Harga jual kemasan botol PET adalah setengah dari harga jual botol gelas, sedangkan harga jual limbah serpihan PET tiga kali lebih tinggi dari pada pecahan gelas. Kemasan PET lebih praktis, murah dan hemat tetapi sulit didaur-ulang, sehingga kurang ramah lingkungan.

Beberapa data penelitian *Life Cycle Assessment* (LCA) kemasan botol PET masih secara kualitatif, khususnya analisis dampak lingkungan. Kajian analisis dampak lingkungan fisik, kimia, biologi dan sosial-ekonomi perlu dilakukan untuk melihat lebih jauh dampak lingkungan dari LCA kemasan botol PET.

Daftar Pustaka

- Almeida, C.M.V.B., Rodrigues, A.J.M., Bonilla, S.H., and Giannetti B.F. 2010. "Emergy as a tool for Ecodesign: evaluating materials selection for beverage packages in Brazil". *Journal of Cleaner Production* 18. 32-43.
- Arvanitoyannis, I.S. 2008. *ISO 14040: Life Cycle Assessment (LCA) – Principles and Guidelines*. Chap 3. In Waste Management for the Food Industries. Elsevier Inc.
- Awaja, F. and Pavel, D., 2005. "Injection stretch blow moulding process of reactive extruded recycled PET and virgin PET blends". *European Polymer Journal* 41 (11). 2614-2634.
- Barboza, E.S., Lopez, D.R., Amico, S.C., and Ferreira, C.A. 2009. "Determination of a recyclability index for the PET glycolysis". *Resources, Conservation and Recycling* 53. 122–128.
- Baumann, H. and Tillman, A.M. 2002. *The Hitchhiker's Guide to LCA*. Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.
- Corbitt, R.A. 2004. Standard Handbook Of Environmental Engineering. <http://www.digitalengineeringlibrary.com>. The McGraw-Hill Companies. diakses tanggal 30 Mei 2011.
- Drive, R.B., 2006. *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S Environmental Protection Agency, Ohio.
- Grimes, H.G., Seager, T.P, Theis, T.L., and Powers, S.E. 2007. "A game theory framework for cooperative management of refillable and disposable bottle lifecycles". *Journal of Cleaner Production* 15. 1618-1627. Huang, C.C., and Ma, H.W. 2004. "A multi-dimensional environmental evaluation of packaging materials". *Science of the Total Environment* 324. 161–172.
- ISO 14040. 2006. *Environmental Management - Life Cycle Assessment- Principle and Framework*. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva, Switzerland.
- Kep.Menaker. 1997. *Surat Edaran Menaker No. 1 tahun 1997 Tentang Baku Mutu Lingkungan Kerja*. Kementrian Tenaga Kerja Indonesia, Jakarta.
- Kep.Menaker. 1999. *Keputusan Menteri Tenaga Kerja No. 51 Tahun 1999 Tentang Baku Mutu Kebisingan*. Kementrian Tenaga Kerja Indonesia, Jakarta.
- Madival, S., Auras, R., Singh, S.P., and Narayan, R. 2009. "Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology". *Journal of Cleaner Production* 17. 1183–1194.

- Malik, A.B. 2004. *Comparative LCA soft drink containers and their respective waste management system in Hungary and Mexico*. PhD thesis at Graduate Program at University of Miskolc, Hungary.
- Neri, P., Olivieri, G., and Falconi, F. 2007. *Life Cycle Assessment for the preparation of an Environmental Product Declaration (EPD) of Cerelia natural mineral water packaged in PET bottle 1.5l and Glass bottle 1l*, LCA-lab SRL, doc. RT.02_Rev.02, 1 Giugno (pp.1-67), Bologna.
- Nessi, S., Rigamonti, L., and Grosso, M. 2012. "LCA of waste prevention activities: A case study for drinking water in Italy". *Journal of Environmental Management* 108. 73-83.
- Pasqualino, J., Meneses, M., and Castells, F. 2011. "The carbon footprint and energy consumption of beverage packaging selection and disposal". *Journal of Food Engineering* 103. 357-365.
- Turconi, R., Butera, S., Boldrin, A., Grosso, M., Rigamonti, L., and Astrup, T. 2011. "Life cycle assessment of waste incineration in Denmark and Italy using two different LCA models". *Waste Manag. Res.* 29 (10). 78-90.
- Vellini, M. and Savioli, M. 2009. "Energy and environmental analysis of glass container production and recycling". *Energy* 34. 2137-2143.