

EVALUASI DAMPAK PROSES PRODUKSI DAN PENGOLAHAN LIMBAH MINUMAN ISOTONIK MIZONE TERHADAP LINGKUNGAN DENGAN METODE LIFE CYCLE ASSESSMENT

Simon Pieter Hamonangan, Naniek Utami Handayani^{*)}, Arfan Bakhtiar

*Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
(naniekh@gmail.com)*

Abstrak

Pertumbuhan industri terjadi secara global termasuk di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Di Indonesia, salah satu industri yang bertumbuh dan berkembang pesat adalah industri minuman ringan khususnya minuman isotonik. Industri minuman isotonik di Indonesia mengalami pertumbuhan pesat sejak tahun 2011, bahkan merupakan pertumbuhan tertinggi di golongan minuman ringan. Perkembangan industri ini selain membawa dampak positif namun juga membawa dampak negatif bagi lingkungan, baik dari emisi yang ditimbulkan maupun penggunaan energi. Mizone merupakan produk minuman isotonik terpopuler kedua di Indonesia, selain itu pabrik yang menjadi objek penelitian juga merupakan pabrik Danone-Aqua terbesar di Indonesia, kedua hal ini membuat Mizone pada PT Tirta Investama Klaten menjadi objek penelitian dengan harapan penelitian ini mampu merepresentasikan produk sejenis. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak-dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses produksi dan proses pengolahan limbah Mizone, kemudian menganalisa dampak-dampak lingkungan tersebut, lalu memberikan rekomendasi yang sesuai dengan permasalahan yang ada sehingga dampak lingkungan dapat diminimalisir. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Life Cycle Assessment (LCA)* dengan menggunakan database EDIP/UMIP 97 dan *software* SimaPro dalam perhitungannya. Setelah perhitungan LCA dilakukan, kemudian didapatkan hasil bahwa proses produksi Mizone menghasilkan dampak lingkungan terbesar yaitu pencemaran air dan tanah, sedangkan proses pengolahan limbah Mizone menghasilkan dampak lingkungan terbesar yaitu pencemaran tanah dan pemanasan global.

Kata kunci: industri, lingkungan, emisi, *life cycle assessment*, limbah

Abstract

Environmental Impact evaluation of isotonic drink "Mizone" production and waste treatment process using Life Cycle Assessment method, Industrial growth occurs globally, including in developing countries like Indonesia. In Indonesia, one of the industry that is growing and developing rapidly is the soft drink industry, especially isotonic drinks. Isotonic drinks industry in Indonesia has grown rapidly since 2011, which is the highest growth in the soft drinks category. The growth of this industry in addition to a positive impact, but also has negative impacts on the environment, both from the emissions generated and energy use. Mizone is the second most popular isotonic drink in Indonesia, in addition the factory located on Klaten that becomes the object of research is also the biggest-Aqua Danone factory in Indonesia, both of these things make Mizone on PT Tirta Investama Klaten became the object of research in hope that this study could represent a similar product. This study aims to identify the environmental impacts caused by the production process and waste treatment process Mizone, then analyze the environmental impacts and provide recommendations in accordance with the existing problems so that environmental impacts can be minimized. The method used in this study is the Life Cycle Assessment (LCA) using EDIP/UMIP 97 database and SimaPro software in its calculations. Once the LCA calculations done, then showed that the production process of Mizone generate the greatest environmental impact is pollution of water and soil, while the waste water treatment process of Mizone generate the greatest environmental impact that soil pollution and global warming

Keywords: industry, environment, emission, life cycle assessment, waste

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

1. Pendahuluan

Setiap tahunnya, jumlah industri di Indonesia selalu mengalami pertumbuhan. Fenomena pertumbuhan industri ini pasti memberikan dampak negatif bagi lingkungan seperti pemanasan global dan pencemaran. Fenomena pemanasan global semakin ditegaskan dengan adanya laporan yang dikeluarkan oleh NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) yang menyatakan suhu rata-rata permukaan bumi pada tahun 2016 adalah sebesar 1,38°C, meningkat tajam jika dibandingkan pada suhu rata-rata tahun 2014 yang sebesar 0,13°C. UNEP (*United Nation Environment Programme*) juga mengemukakan bahwa air laut mengalami peningkatan volume sebesar 3,2 mm setiap tahunnya. UNEP juga menyatakan bahwa 46% emisi gas rumah kaca disebabkan oleh industri. Selain pencemaran udara yang memicu pemanasan global, pencemaran air juga terjadi akibat pertumbuhan industri. Badan Pusat Statistik Indonesia menurut laporan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, di tahun 2015 telah dilakukan perhitungan indeks kualitas air sungai di Indonesia, dan hasil perhitungan indeks kualitas air sungai menunjukkan hampir 68% atau mayoritas kualitas air sungai di 33 provinsi di Indonesia dalam status tercemar berat.

Dengan permasalahan lingkungan yang ada, sektor industri didorong dan diharapkan untuk mulai memperhatikan dan semakin memperhatikan aspek lingkungan dalam setiap kegiatannya. Terdapat juga alasan lainnya yaitu karena adanya peraturan-peraturan yang dibuat oleh kementerian maupun daerah dan regulasi serta standar nasional maupun internasional yang mencakup persoalan dan dampak industri terhadap lingkungan. Industri merupakan salah satu sumber utama pencemaran, degradasi, dan penggunaan sumber daya alam yang berlebihan (Herva et al, 2011). Karena itu, industri harus menerapkan sistem produksi yang lebih berkelanjutan (Azapagic dan Perdan, 2000).

Salah satu industri yang berkembang pesat di Indonesia adalah minuman isotonik. Industri minuman isotonik menunjukkan pertumbuhan sebesar 17-18% pada tahun 2011 yang bahkan melampaui pertumbuhan AMDK yang sebesar 15,17% di tahun yang sama (Asosiasi Industri Minuman Ringan, 2011). PT. Tirta Investama Klaten adalah perusahaan yang memproduksi produk AMDK dengan merk Aqua dan minuman isotonik Mizone. Kedua produk ini merupakan salah satu produk AMDK yang paling terkenal dan paling banyak dikonsumsi di Indonesia sehingga sudah seperti merek generik bagi produk AMDK di Indonesia. Produk-produk tersebut diproduksi oleh 14 pabrik di Indonesia yang berbeda-beda kepemilikannya, 3 pabrik milik PT. Tirta Investama, 10 pabrik milik PT. Aqua Golden Mississippi, dan 1 pabrik milik PT. Tirta Sibayakindo. Perusahaan ini merupakan salah satu perusahaan besar di Indonesia yang produknya juga dijual/diekspor ke negara

tetangga yaitu Malaysia, Singapura, dan Brunei. Perusahaan besar ini memiliki pabrik terbesar yang terletak di Klaten, Jawa Tengah yang merupakan pabrik milik PT. Tirta Investama Klaten.

PT. Tirta Investama Klaten memiliki slogan “Kemurnian Untuk Masa Depan” yang menunjukkan keinginan perusahaan untuk menjadi perusahaan yang menerapkan konsep *sustainability* dan menciptakan produk yang ramah lingkungan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk membantu mewujudkan konsep *sustainability* dan menganalisa dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh suatu produk, dalam penelitian ini produk minuman isotonik Mizone, yaitu dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA menjadi penting untuk dilakukan di PT. Tirta Investama Klaten karena perusahaan ini merupakan perusahaan AMDK terbesar di Indonesia dan pabrik di Klaten ini merupakan pabrik terbesar milik perusahaan ini. Selain itu pabrik ini juga berdiri didekat permukiman warga dan juga sawah milik warga, jadi perlu adanya perhatian khusus untuk dampak lingkungan yang dihasilkan seperti pencemaran udara, pencemaran tanah, dan juga pencemaran air mengingat limbah cair hasil produksi dibuang ke Sungai Pusur yang merupakan salah satu tempat wisata dan rekreasi air di Klaten. PT. Tirta Investama Klaten tentunya tidak ingin merusak citranya sebagai perusahaan AMDK terbaik di Indonesia karena permasalahan lingkungan ini, untuk itu perlu adanya penelitian mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan oleh perusahaan untuk perbaikan kedepannya.

Permasalahan yang terjadi mengenai dampak lingkungan dapat diukur dan diminimasi dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment*. *Life Cycle Assessment* adalah sebuah mekanisme untuk menganalisa dan memperhitungkan dampak lingkungan dari suatu produk dalam setiap tahapan daur hidupnya. Dimulai dari persiapan bahan mentah, proses produksi, penjualan dan transportasi, serta pembuangan produk. Melihat penjelasan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa LCA dapat diimplementasikan pada keseluruhan proses dan juga dapat diimplementasikan pada suatu proses tertentu atau sebagian proses. Dalam penelitian ini, analisis tidak dilakukan pada seluruh proses, tetapi hanya pada proses tertentu yaitu proses produksi dan pengolahan limbah produk minuman isotonik Mizone. LCA terdiri dari empat tahapan utama, yaitu penentuan definisi dan ruang lingkup, analisis persediaan, penilaian dampak, serta interpretasi (ISO 14040:1997).

2.1. *Life Cycle Assessment* (LCA)

2.1.1. Definisi *Life Cycle Assessment*

Konsep dasar dari *Life Cycle Assessment* (LCA) ini didasarkan pada pemikiran bahwa suatu sistem industri tidak lepas kaitannya dengan lingkungan tempat industri itu berada. Dalam suatu sistem industri terdapat *input* dan *output*. *Input* dalam

sistem adalah material-material yang diambil dari lingkungan dan *output* nya akan dibuang ke lingkungan kembali. *Input* dan *output* dari sistem industri ini tentu saja akan memberi dampak terhadap lingkungan. Pengambilan material (*input*) yang berlebihan akan menyebabkan semakin berkurangnya persediaan material, sedangkan hasil keluaran dari sistem industri yang bisa berupa limbah (padat, cair, udara) akan banyak memberi dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu *Life Cycle Assessment* (LCA) berusaha untuk melakukan evaluasi untuk meminimumkan pengambilan material dari lingkungan, memperbaiki proses, dan juga meminimumkan limbah industri. *Life cycle Assessment* (LCA) adalah sebuah mekanisme untuk menganalisa dan memperhitungkan dampak lingkungan total dari suatu produk dalam setiap tahapan daur hidupnya. Dimulai dari persiapan bahan mentah, proses produksi, penjualan dan transportasi, serta pembuangan produk. Konsep dalam *Life cycle Assessment* (LCA) ini disebut juga sebagai konsep “*cradle to grave*”. Dalam proses *Life cycle Assessment* (LCA) dilakukan suatu prosedur objektif dalam mengevaluasi dampak lingkungan dengan melakukan perhitungan kuantitatif dari semua aliran masuk/keluar (*exchange flow*) dari sistem terhadap lingkungan dalam tiap tahap kehidupan sistem. LCA memiliki 4 tahap yaitu *Goal and Scope Definition*, *Life Cycle Inventory*, *Life Cycle Impact Assessment*, dan *Interpretation*.

2.1.2. Prinsip Life Cycle Assessment

Life Cycle Assessment (LCA) memiliki prinsip sebagai berikut (Pujadi, 2013):

- Melihat siklus hidup sebagai suatu perspektif, dengan kata lain mempertimbangkan seluruh siklus hidup fisik dari suatu produk (atau jasa), mulai dari ekstraksi bahan baku, pemakaian energi dan material produksi, proses produksi, penggunaan produk, sampai akhir hidup produk tersebut. Perspektif yang lainnya adalah melihat siklus hidup pada suatu proses tertentu yang sekarang ini banyak dilakukan sebagai penelitian.
- Mencakup semua aspek lingkungan menjadi satu penilaian umum sehingga dampak lingkungan dapat diidentifikasi.
- Memberikan transparansi dalam rangka memastikan interpretasi yang tepat atas hasil yang didapatkan oleh perhitungan.
- Bersifat iteratif karena terdiri dari empat tahapan yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup penelitian, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dan interpretasi.
- Berfokus kepada lingkungan dengan mempelajari aspek lingkungan dari sistem produk dan mengesampingkan aspek ekonomi dan sosial ke luar penelitian.

- Merupakan metode yang berbasis ilmu pengetahuan meskipun keadaan ilmiah selalu berubah. LCA memberikan gambaran dari keadaan tertentu pada waktu tertentu.

2.1.3. Karakteristik dan Batasan LCA

Life Cycle Assessment (LCA) memiliki karakteristik dan batasan untuk menilai siklus hidup, adapun batasan tersebut adalah sebagai berikut (Pujadi, 2013):

- Karakteristik utama dari LCA adalah sifat analisis secara menyeluruh dan lengkap yang menjadi kekuatan utama metode ini.
- LCA tidak dapat mengukur suatu dampak lokal. LCA tidak menyediakan kerangka untuk sebuah studi penilaian dampak lokal di tempat yang spesifik.
- Metode LCA berfokus pada karakteristik fisik dari aktivitas industri dan proses ekonomi lainnya, dan tidak termasuk mekanisme pasar atau efek lain dalam pengembangan teknologi.
- LCA hanya berfokus pada aspek lingkungan dan tidak berkaitan dengan aspek ekonomi, aspek sosial, maupun aspek lainnya.
- LCA adalah sebuah alat analisis yang digunakan untuk menyediakan informasi untuk mendukung keputusan, namun LCA tidak dapat menggantikan proses pengambilan keputusan itu sendiri.

2.2. Minuman Isotonik

Menurut BSN (1998), minuman Isotonik merupakan salah satu produk minuman ringan karbonasi atau nonkarbonasi untuk meningkatkan kebugaran, yang mengandung gula, asam sitrat, dan mineral. Istilah isotonik seringkali digunakan untuk larutan minuman yang memiliki nilai osmolalitas yang mirip dengan cairan tubuh (darah), sekitar 280 mosm/kg H₂O. Minuman Isotonik juga dikenal dengan *sport drink* yaitu minuman yang berfungsi untuk mempertahankan cairan dan garam tubuh serta memberikan energi karbohidrat ketika melakukan aktivitas (Koswara, 2009).

Minuman isotonik didefinisikan juga sebagai minuman yang mengandung karbohidrat (monosakarida, disakarida dan terkadang maltodekstrin) dengan konsentrasi 6-9% (berat/volume) dan mengandung sejumlah kecil mineral (elektrolit), seperti natrium, kalium, klorida, posfat serta perisa buah *fruit flavors* (Murray dan Stofan, 2001).

2.3. Mizone

Dengan memiliki pengalaman lebih dari 35 tahun di bidang industri air minuman dalam kemasan, di abad 21 ini Danone-Aqua melakukan suatu inovasi dengan meluncurkan produk Mizone tepatnya pada 27 September 2005. Mizone sendiri merupakan

produk yang sudah dikenal di New Zealand, Australia, dan China.

Danone-Aqua melihat potensi pasar dengan memanfaatkan negara Indonesia yang beriklim tropis dengan aktivitas penduduk yang sehari-harinya padat dan sangat berpotensi dalam menyebabkan tubuh kehilangan cairan. Padahal, kehilangan cairan sebesar 2% saja dapat menurunkan konsentrasi dan stamina tubuh kita. Menjawab kebutuhan tersebut, Danone-Aqua menghadirkan Mizone di Indonesia sebagai sebuah inovasi baru dalam kategori minuman isotonik.

Dengan kandungan Hydromaxxx-nya, Mizone dapat menggantikan cairan tubuh yang hilang dengan mudah. Diluncurkan pertama kali di Surabaya pada tanggal 27 September 2005, Mizone hadir dalam dua rasa yaitu *Orange Lime* dan *Passion Fruit*, namun saat ini Mizone telah memiliki 5 varian rasa (Mizone story).

2.4. Proses Produksi Mizone

Dalam proses produksi minuman isotonik Mizone terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan. Berdasarkan data yang diambil pada tanggal 22 September 2016, tahapan-tahapan tersebut adalah:

1. Water Treatment (WT)

Air dari mata air Sigedang yang sudah dialirkan ke rumah pompa kemudian dialirkan ke fasilitas produksi Mizone yaitu *water treatment*. Secara sederhananya, pada proses ini air diberikan perlakuan yaitu penyaringan dan *disinfectant* (penyinaran dengan sinar UV) untuk menghilangkan atau membunuh bakteri jika ada. Air yang dialirkan dari rumah pompa kemudian disaring melewati 3 kali penyaringan, yang pertama dan kedua dilakukan pada proses *pre-filter* yaitu dengan saringan pertama berukuran 5 mikron nominal, dan kemudian saringan kedua yang berukuran 5 mikron absolut. Proses penyaringan ketiga disebut *final filter* dengan menggunakan saringan berukuran 1 mikron absolut. Setelah disaring, kemudian dilakukan *disinfectant* (penyinaran sinar UV) untuk menghilangkan kotoran atau bakteri jika ada yang lolos dari penyaringan. Lalu kemudian air mengalir menuju *finish tank* yang berfungsi sebagai penampungan air yang siap digunakan untuk proses produksi minuman isotonik Mizone.

2. Deaerator

Didalam proses ini yang dilakukan adalah penurunan DO (*dissolved oxygen*) atau kebutuhan oksigen dalam air yang akan digunakan untuk proses produksi.

3. Buffer Tank

Air yang sudah memiliki DO yang rendah kemudian dialirkan ke *buffer tank*. *Buffer tank* adalah tangki yang berfungsi untuk menampung air dengan DO rendah yang siap digunakan untuk proses selanjutnya yaitu *pre-mixing*. *Buffer tank* ini terbuat dari *stainless steel* yang berkapasitas 20 ton dan dilengkapi dengan mesin yang menginjeksi Nitrogen.

4. Pre-mixing

Proses ini memiliki 2 tangki yang dinamai dengan premix 1 dan premix 2. Premix 1 adalah tangki dengan kapasitas 500 liter yang dilengkapi dengan pengaduk model *High Shear*. Premix 2 adalah tangki dengan kapasitas 200 liter yang dilengkapi dengan pengaduk model *Propeller*. Pada proses ini dilakukan pencampuran awal untuk masing-masing campuran di kedua tangki.

5. Blending

Tahapan selanjutnya adalah *blending*. *Blending* adalah proses pencampuran semua komposisi untuk membuat produk minuman isotonik Mizone. Proses *blending* ini menggunakan tangki berkapasitas 16 ton yang dilengkapi dengan pengaduk didalamnya.

6. Micro Filter

Air yang sudah melewati proses *blending* kemudian masuk ke proses *macro filter*. Pada tahap ini proses yang dilakukan adalah penyaringan air dengan menggunakan *filter* yang terbuat dari titanium dengan besaran 10 mikron. Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk menangkap partikel halus yang tidak terlarut saat proses *blending*.

7. Pasteurizer

Pada proses ini yang dilakukan adalah pemanasan air yang bertujuan untuk membunuh organisme dan mikroorganisme yang merugikan seperti bakteri, protozoa, kapang, dan khamir. Air yang sudah melewati proses *macro filter* kemudian masuk kedalam boiler untuk dipanaskan. Proses pasteurisasi atau pemanasan dilakukan selama kurang lebih 30 detik dengan suhu 97-100°C. Air yang sudah dipanaskan kemudian diberikan proses pendinginan untuk mengembalikan suhunya menjadi sekitar 24-26°C.

8. Filling

Proses selanjutnya yang dilakukan adalah proses *filling* atau pengisian botol. Proses pengisian produk Mizone dilakukan di area mesin *filler* dengan kapasitas produksi 32.000 botol/jam. Sebelum proses *capping* atau dipasang tutup, produk terlebih dahulu diinjeksi dengan nitrogen dengan tujuan mengeluarkan oksigen yang berada di *space* dalam botol produk sehingga dapat menjaga kestabilan kondisi produk sampai masa kadaluarsa.

9. Checkmate Produk

Proses ini dilakukan sebagai pengganti tugas dari *visual checker* di lintasan produksi yang bertujuan untuk melihat produk yang tidak standar (produk *reject*) seperti *volume* kurang, tanpa tutup, tutup miring dan tutup terangkat. Prinsip kerjanya adalah ketika ada produk yang tidak standar yang melewati mesin *checkmate*, maka produk tersebut kemudian akan dipisahkan dengan di keluarkan dari konveyor dan masuk bak *reject*.

10. Coding Produk

Produk yang lolos dari proses *checkmate* kemudian akan memasuki proses *coding*. Proses *coding* merupakan proses pemberian kode produksi pada botol dan juga kode kadaluarsa produk. Mesin

coding akan secara otomatis memberikan kode kedaluwarsa produk yaitu 10 bulan dari tanggal produksi.

11. *Labelling*

Proses selanjutnya merupakan pemberian label produk. Pelabelan produk ini sesuai dengan varian rasa dari Mizone yang diproduksi.

12. *Packing*

Proses *packing* dilakukan untuk produk yang sudah memiliki label dan kode produksi serta lolos dari proses *checkmate*. Pada proses *packing* ini, produk yang sudah memiliki label dan kode produksi kemudian dimasukkan kedalam karton box dengan menggunakan mesin *packer*. Mesin *packer* akan mengambil dan meletakkan 12 botol produk kedalam karton box, kemudian karton box yang sudah berisi produk akan dilem dengan mesin gluer dan kemudian akan ditangani oleh petugas pelaksana untuk ditempatkan di *pallet-pallet* yang tersedia

2.5. Proses Pengolahan Limbah Mizone

Proses pengolahan limbah dari produk minuman isotonik Mizone berbeda penanganannya dengan limbah air mineral karena kedua produk ini memiliki kandungan komposisi yang berbeda pula, jadi fasilitas untuk pengolahan limbahnya juga berbeda. Proses pengolahan limbah dari minuman isotonik Mizone melewati beberapa proses yang kemudian hasil akhirnya akan dibuang ke sungai Puser. Proses dan tahap pengolahan limbah minuman isotonik Mizone menurut data yang diambil pada tanggal 1 September 2016 adalah sebagai berikut:

1. *Emergency Pit*

Emergency Pit adalah bak penampungan sementara sebelum limbah dilakukan pengolahan lanjutan, limbah yang berasal dari proses produksi Mizone dikumpulkan/dialirkan dengan bantuan gravitasi melalui pipa *stainless steel* dengan tipe SS 304 menuju bak penampungan (*emergency pit*). Bak penampungan tersebut berkapasitas 34 M³ yang terbuat dari beton kedap air dengan kekerasan beton minimal K300 (epoksi). Untuk mengantisipasi jika terjadi overload kapasitas air limbah jika terjadi gagal proses maka disediakan tank yang terbuat dari *stainless steel* SS 316 dengan kapasitas 20 ton (2 tank @ 10 ton).

2. Equalisasi

Limbah cair yang berasal dari penampungan sementara (*emergency pit* kapasitas 34 M³) dialirkan menuju bak equalisasi yang berkapasitas 30 M³. Di bak ini perlakuan yang diberikan adalah penambahan NaOH Flake dengan maksud untuk menaikkan pH air limbah yang tadinya berada di range 3-4 menjadi 4-5, dan juga dilakukan penambahan *Diamonium Phospat* dan Urea. Di bak ini terjadi proses fermentasi oleh bakteri (aerob) yang dibantu dengan penambahan oksigen dengan *blower*. Bak ini dimaksudkan untuk memperbaiki laju alir yang berasal dari bak sebelumnya karena beban yang sangat tinggi sehingga limbah dapat tercampur sempurna (dapat

memperbaiki proses berikutnya) dan juga untuk menguraikan gula yang terkandung.

3. Netralisasi

Proses selanjutnya adalah netralisasi, dimana terdapat 4 bak yang digunakan dalam proses ini. Di bak ini dilakukan proses penambahan NaOH untuk mendapatkan pH yang diinginkan yaitu mendekati netral (pH mendekati 7).

4. *Degasified*

Pump-Pit/Degasified merupakan tempat diletakkannya pompa yang digunakan untuk mengalirkan limbah ke Reaktor Anaerobik. Didalam *Pump-Pit* terdapat dua buah pompa *submersible* dengan kapasitas 2,0 m³/jam. Pompa bekerja bergantian diatur dengan *timer* yang dapat diatur waktu kerjanya dari masing-masing pompa. Kedua pompa ini dapat bekerja baik secara manual maupun otomatis. Pompa transfer dilengkapi dengan sensor *floating switch* (WLC). Apabila tinggi air dalam *Pump-Pit* telah mencapai level minimum (L) maka pompa akan berhenti bekerja secara otomatis, dan jika tinggi air dalam *Pump-Pit* telah mencapai level medium (M) maka pompa akan bekerja kembali. Pada bak ini terjadi pencampuran antara limbah yang berasal dari bak netralisasi dan limbah balikan/return dari reaktor anaerob. Di bak ini dipasang *mixer* yang berguna untuk mencampur kedua limbah agar homogen. Di bak ini juga terjadi pelepasan CO₂ hasil samping proses degradasi oleh bakteri anaerob saat air limbah masuk ke reaktor.

5. Reaktor Anaerob

Reaktor anaerobik merupakan salah satu cara pengolahan limbah yang menerapkan proses biologis secara anaerob dengan menggunakan sistem pertumbuhan mikroorganisme yang melekat. Mikroorganisme tumbuh dan berkembang dengan menempel pada suatu media. Tujuan dari penggunaan reaktor anaerobik ini adalah untuk menurunkan komponen-komponen organik yang terkandung didalam air limbah yang melalui beberapa tahapan proses, antara lain:

- Hidrolisis dan fermentasi, yaitu perubahan senyawa organik kompleks menjadi sederhana yang bersifat terlarut.
- Pembentukan asam asetat oleh bakteri asetonik yang terjadi sebelum terjadi pembentukan gas methana.
- Pembentukan gas metana dari asetat dan hidrogen oleh bakteri methanogen.

Reaktor yang digunakan adalah EGSB, reaktor yang mana limbah cair dipompakan kedalam reaktor anaerobik melalui bagian bawah reaktor (up-flow) dengan pipa yang terdistribusi merata di dasar reaktor mengalir ke atas melalui media tumbuh mikroorganisme sesuai tahapan proses, sehingga terjadi kontak antara bahan organik yang akan didegradasi dengan mikroorganisme yang melekat pada media tersebut. Diatas reaktor anaerobik terdapat sebuah pipa yang berfungsi sebagai tempat pengumpulan gas methana yang selanjutnya

ditransfer ke tempat pembakaran gas methana sebelum akhirnya dibuang ke udara.

6. Aerasi

Proses penguraian zat organik atau polutan yang sudah diuraikan di proses sebelumnya dilanjutkan di bak aerasi. Penguraian zat organik (BOD) dilakukan oleh bakteri yang sering disebut sebagai lumpur aktif (*activated sludge*), bakteri yang digunakan untuk mengurai zat organik dipilih dari jenis bakteri aerobik atau bakteri yang bernafas/respirasinya menggunakan oksigen. Untuk mencapai kinerja yang baik, bakteri yang digunakan harus benar-benar hidup dalam kondisi yang baik. Bakteri akan tumbuh dengan baik di pH kisaran 6,8-7,2 dengan DO 2-4 ppm. Selain itu perlu juga dilakukan pengontrolan terhadap makanan/nutrisi dari bakteri tersebut dengan dilakukan penambahan Urea dan *Diamonium Phosphat* dengan pemberian secara seimbang.

7. Sedimentasi

Massa bakteri atau lumpur yang terdapat dalam aliran air yang berasal dari bak aerasi akan dipisahkan dari air limbah dengan cara pengendapan berdasarkan berat jenis di bak sedimentasi ini. Lumpur atau massa bakteri akan terendapkan pada bagian bawah bak sedimentasi mengalir ke *Sludge Drying Bed* dan sebagian lagi akan dikembalikan ke bak aerasi, sedangkan air limbah akan mengalir melalui *overflow* bak sedimentasi dengan bantuan gravitasi menuju bak kontrol (*control tank*).

8. Final Effluent/Control Tank

Bak kontrol merupakan tempat untuk pengambilan contoh air sebelum dibuang ke lingkungan. Di bak ini, limbah harus sesuai dengan baku mutu air limbah Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No.5 Tahun 2012. Bak ini dipasang *flow meter* untuk melakukan kontrol mengenai jumlah debit air limbah yang dibuang ke lingkungan (sungai Pusur).

9. Sludge Dry Bed

Lumpur padatan yang berasal dari bak sedimentasi akan dikeringkan di *Sludge Drying Bed* dengan menggunakan bantuan sinar matahari. *Sludge Drying Bed* dilengkapi dengan *filter cloth* dan lapisan pasir sehingga diharapkan sebagian air yang terkandung dalam lumpur padatan yang berasal dari bak sedimentasi akan meresap melewati *filter cloth* dan pasir, kemudian mengalir kembali ke *Pump-Pit*, sedangkan partikel padatan akan tertahan di permukaan lapisan pasir dan akan mengalami proses pengeringan secara rutin padatan yang telah kering dikeluarkan dari *Sludge Drying Bed* untuk selanjutnya dikemas dalam karung.

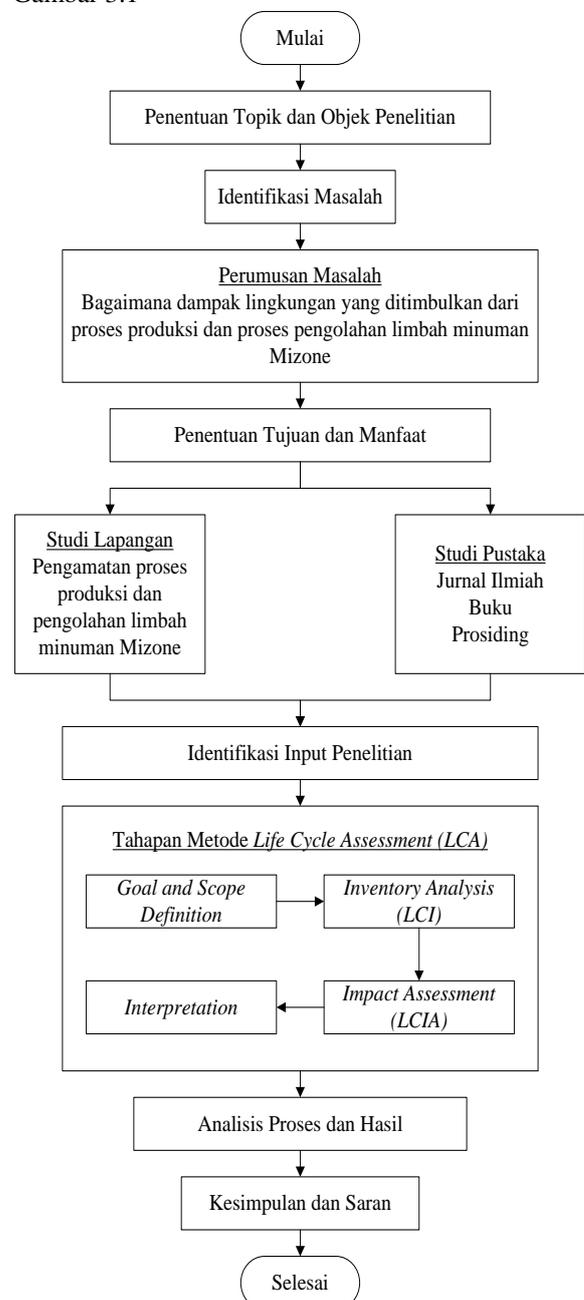
2.6. SimaPro

SimaPro adalah *software* yang digunakan untuk mengumpulkan data, untuk menganalisis, dan memantau kinerja keberlanjutan produk dan jasa dari suatu perusahaan. SimaPro dapat digunakan untuk penilaian siklus hidup, pembuatan laporan mengenai *sustainability*, desain produk, menentukan indikator kinerja utama, dan lainnya. SimaPro dikembangkan

untuk membantu dalam pengumpulan fakta dan menggunakan metode LCA untuk memberikan wawasan yang diperlukan untuk menciptakan nilai yang berkelanjutan. SimaPro telah menjadi perangkat lunak LCA terkemuka di dunia selama 25 tahun, dan dipercaya oleh industri dan akademisi di lebih dari 80 negara (www.simapro.co.uk).

3.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan untuk Tugas Akhir ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu tahap identifikasi masalah, perumusan masalah, penentuan tujuan dan manfaat, identifikasi input penelitian, perhitungan LCA, analisis, dan penutup. Metode penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 1 Alur Penelitian

4.1. Life Cycle Assessment (LCA) Mizone

4.1.1 Penentuan Goal and Scope

Tahap pertama dalam LCA adalah penentuan *goal* dan *scope* atau penentuan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Tujuan dan ruang lingkup penelitian ini telah ditentukan sebelum fase-fase LCA berikutnya dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi dan proses pengolahan limbah Mizone. Tujuan dari penelitian ini juga didukung dengan penentuan batasan-batasan dan ruang lingkup penelitian.

Tabel 1 Tujuan dan Ruang Lingkup Penelitian

<i>Goal</i>	Mengidentifikasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses produksi dan pengolahan limbah produk minuman isotonik Mizone.
<i>Scope</i>	Sistem yang akan dievaluasi adalah pada proses produksi dan proses pengolahan limbah produk minuman isotonik Mizone.
	Penelitian terfokus hanya pada permasalahan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses produksi dan pengolahan limbah minuman isotonik Mizone.
	Input pada analisis LCA ini diantaranya adalah bahan baku yang digunakan dalam proses produksi, energi listrik yang digunakan untuk operasional mesin produksi dan mesin pengolahan limbah, serta bahan kimia tambahan untuk proses pengolahan limbah. Bahan baku yang berupa komposisi Mizone tidak dimasukkan sebagai input atau diabaikan karena nantinya bahan-bahan tersebut tidak menjadi <i>waste</i> dan menimbulkan dampak lingkungan karena akan dikonsumsi oleh pembeli. Data-data input adalah data bulan November 2016.
	Perhitungan dilakukan dengan menggunakan <i>software</i> SimaPro versi 7.1.8 menggunakan metode EDIP/UMIP 97 versi 2.04 dan juga didukung oleh <i>database</i> yang sudah termasuk didalam <i>software</i> . Faktor karakterisasi dan normalisasi berasal dari <i>database</i> yang ada didalam <i>software</i> SimaPro versi 7.1.8.

4.1.2. Life Cycle Inventory Mizone

Untuk tahap kedua pada LCA adalah fase *Life Cycle Inventory* (LCI) dimana dalam tahap LCI ini ditunjukkan kebutuhan berbagai macam bahan baku yang digunakan dan dibutuhkan sebagai input penelitian. Sebelum menentukan data yang menjadi LCI, harus dilakukan penelitian pendahuluan terlebih dahulu. Penelitian pendahuluan tersebut dimaksudkan agar peneliti dapat mengerti aliran proses yang terjadi sehingga dapat diketahui juga data-data input apa saja yang nantinya akan digunakan. Data bahan baku komposisi Mizone tidak diikutsertakan menjadi data LCI karena bahan-bahan tersebut merupakan bahan

pembentuk komposisi Mizone yang nantinya akan dikonsumsi oleh pembeli.

Tabel 2 Data Life Cycle Inventory

No	Input	Jumlah	Satuan	
Proses Produksi	1	Air	4,725,838	Liter
	2	Listrik	199,994	kWh
	3	Solar	6,830	Liter
	4	Resin PET	34,728	kg
	5	Resin PET-E	33,277	kg
	6	Blue Mizone (Resin PET)	468	kg
	7	Lem Euromelt	12	kg
	8	Lem Technomelt	141	kg
	9	Karton Box	173824	p
	10	Label Botol	14797	gr
	11	SO ₂ (Sulfur Dioksida)	313	mg
	12	NO ₂ (Nitrogen Dioksida)	232	mg
Proses Pengolahan Limbah	1	Air Limbah	2,210,747	Liter
	2	Listrik	120682	kWh
	3	NaOH	1201	Liter
	4	NaCl	1128	Liter

4.1.3. Life Cycle Impact Assessment Mizone

Tahap ketiga pada LCA adalah tahap *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) atau tahap analisa mengenai jenis dan besarnya nilai tiap kategori dampak yang dihasilkan. Pada tahap LCIA ini terbagi lagi menjadi beberapa tahapan analisa yaitu karakterisasi, normalisasi, dan single score dari dampak lingkungan yang dihasilkan. Analisa LCIA ini menggunakan bantuan *software* SimaPro 7.1.8 dengan menggunakan metode EDIP/UMIP 97 versi 2.04 dan didukung oleh *database-database* yang ada didalam *software*.

Tahap karakterisasi adalah tahap mengidentifikasi dan mengelompokkan data input yang berasal dari LCI kedalam kategori-kategori dampak yang heterogen yang ditentukan sebelumnya. Penentuan kategori dampak yang heterogen ini dilakukan oleh *software* SimaPro sesuai dengan metode dan *database* yang digunakan. Karakterisasi merupakan penilaian besarnya data input yang berkontribusi pada kategori dampak. Nilai kontribusi terhadap lingkungan dari tiap data input dapat diketahui dengan memasukkan data input kedalam *software* yang nantinya akan dikonversi menjadi dampak-dampak lingkungan yang sudah dikategorikan

Tahap berikutnya setelah karakterisasi adalah tahap normalisasi. Tahap normalisasi merupakan prosedur yang diperlukan untuk menunjukkan kontribusi relatif dari semua kategori dampak pada seluruh masalah lingkungan di suatu daerah dan dimaksudkan untuk menciptakan satuan yang seragam untuk semua kategori dampak. Nilai normalisasi dapat diketahui dengan mengalikan nilai karakterisasi faktor normalisasi, dengan demikian semua kategori dampak sudah memiliki unit satuan yang sama dan bisa dibandingkan besarnya.

Tahap berikutnya setelah tahap normalisasi adalah tahap *single score*. Tahap *single score* adalah tahap untuk mengklasifikasikan nilai kategori dampak berdasarkan aktivitas atau proses. Dari nilai *single score* akan terlihat aktivitas atau proses mana yang memiliki kontribusi tinggi terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkan.

4.1.3.1 Karakterisasi

Karakterisasi adalah tahapan untuk mengelompokkan data-data input model LCA kedalam kategori dampak lingkungan yang ada. Pada tahapan ini, data diinput kedalam *software* dan dilakukan perhitungan pada kedua aktivitas yaitu proses produksi dan proses pengolahan limbah produk minuman isotonik Mizone. Setelah dilakukan perhitungan, maka akan didapatkan hasil berupa besaran dampak lingkungan yang ditimbulkan dari aktivitas-aktivitas tersebut. Kategori dampak lingkungan ini dibuat dengan bantuan *software* SimaPro 7.1.8 dan dengan menggunakan metode EDIP/UMIP 97 versi 2.04.

- Proses Produksi

Tabel 3 Karakterisasi Proses Produksi

Impact category	Unit	Produksi Mizone
Global warming (GWP 100)	g CO ₂	321896200
Ozone depletion	g CFC ₁₁	48.046167
Acidification	g SO ₂	1389960
Eutrophication	g NO ₃	1001968.7
Photochemical smog	g ethene	212663.89
Ecotoxicity water chronic	m3	39513601
Ecotoxicity water acute	m3	3926778.3
Ecotoxicity soil chronic	m3	786928.26
Human toxicity air	m3	1.65E+10
Human toxicity water	m3	1185571.6
Human toxicity soil	m3	13833.481
Bulk waste	kg	1379.9484
Hazardous waste	kg	541.07974
Radioactive waste	kg	2.692272
Slags/ashes	kg	763.35393
Resources (all)	kg	9.1429862

- Proses Pengolahan Limbah

Tabel 4 Karakterisasi Proses Pengolahan Limbah

Impact category	Unit	Pengolahan Limbah
Global warming (GWP 100)	g CO ₂	400985700
Ozone depletion	g CFC ₁₁	7.4209611
Acidification	g SO ₂	552875.25
Eutrophication	g NO ₃	755051.12
Photochemical smog	g ethene	34090.128
Ecotoxicity water chronic	m3	5811996.7
Ecotoxicity water acute	m3	570913.52
Ecotoxicity soil chronic	m3	856878.84
Human toxicity air	m3	74336983000
Human toxicity water	m3	255025.68
Human toxicity soil	m3	26227.688
Bulk waste	kg	4.847743
Hazardous waste	kg	5.3413292
Radioactive waste	kg	0.005921006
Slags/ashes	kg	15.715778
Resources (all)	kg	5.4544132

Berdasarkan tabel 3 dan tabel 4, dapat dilihat bahwa proses produksi dan proses pengolahan limbah produk minuman isotonik Mizone menghasilkan beberapa kategori dampak terhadap lingkungan yaitu *Global warming* (pemanasan global), *Ozone depletion* (penipisan ozon), *Acidification* (pengasaman), *Eutrophication* (eutrofikasi), *Photochemical smog* (asap fotokimia), *Ecotoxicity water chronic* (ekotoksitas kronis air), *Ecotoxicity water acute* (ekotoksitas akut air), *Ecotoxicity soil chronic* (ekotoksitas tanah kronis), *Human toxicity air* (toksisitas udara terhadap manusia), *Human toxicity water* (toksisitas air terhadap manusia), *Human toxicity soil* (toksisitas tanah terhadap manusia), *Bulk waste* (limbah ukuran besar), *Hazardous waste* (limbah berbahaya), *Radioactive waste* (limbah radioaktif), dan *Slags/ashes* (abu).

4.1.3.2. Normalisasi

Tahapan yang harus dilakukan setelah tahap karakterisasi dalam fase LCA adalah tahap normalisasi. Tahap normalisasi merupakan tahapan yang diperlukan untuk menunjukkan kontribusi relatif dari semua kategori dampak pada seluruh masalah lingkungan dan nantinya akan menciptakan satuan yang seragam untuk semua kategori dampak. Nilai normalisasi dapat diketahui dengan mengalikan nilai karakterisasi dan faktor normalisasi. Pada tahap normalisasi, perhitungan dibantu dengan menggunakan *software* SimaPro 7.1.8 dengan metode EDIP/UMIP 97 versi 2.04 beserta dengan *database*

yang meliputi faktor normalisasi didalamnya. Berikut adalah faktor normalisasi berdasarkan EDIP/UMIP 97.

Tabel 5 Faktor Normalisasi

Impact category	Unit
Global warming (GWP 100)	0.00000011491
Ozone depletion	0.00972916667
Acidification	0.00001352518
Eutrophication	0.00000842000
Photochemical smog	0.00003995305
Ecotoxicity water chronic	0.00000283544
Ecotoxicity water acute	0.00003435115
Ecotoxicity soil chronic	0.00000103939
Human toxicity air	0.00000000033
Human toxicity water	0.00001915966
Human toxicity soil	0.00789855072
Bulk waste	0.00073913043
Hazardous waste	0.04824399261
Radioactive waste	28.62453531599
Slags/ashes	0.00285714286
Resources (all)	0.00000000000

- Proses Produksi

Tabel 6 Normalisasi Proses Produksi

Impact category	Produksi Mizone
Global warming (GWP 100)	37.018063
Ozone depletion	0.46652828
Acidification	18.76446
Eutrophication	8.4165371
Photochemical smog	8.5065556
Ecotoxicity water chronic	112.21863
Ecotoxicity water acute	135.08117
Ecotoxicity soil chronic	0.81840539
Human toxicity air	5.3805028
Human toxicity water	22.762975
Human toxicity soil	108.86949
Bulk waste	1.0225417
Hazardous waste	26.134152
Radioactive waste	76.998978
Slags/ashes	2.1831923
Resources (all)	0

- Proses Pengolahan Limbah

Tabel 7 Normalisasi Proses Pengolahan Limbah

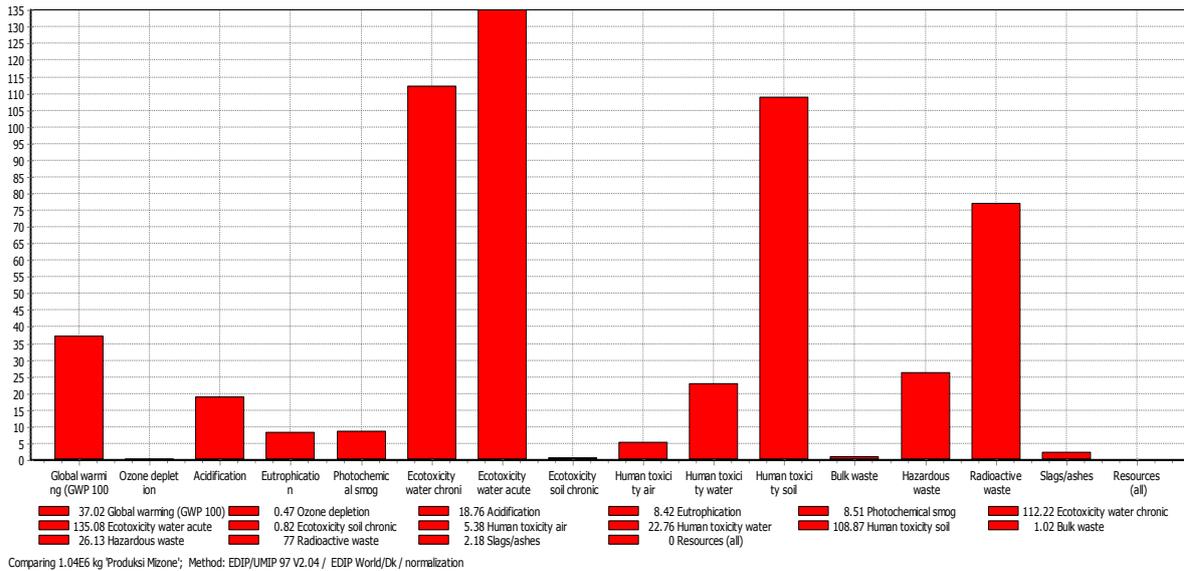
Impact category	Pengolahan Limbah
Global warming (GWP 100)	46.113355
Ozone depletion	0.072057533
Acidification	7.4638159
Eutrophication	6.3424294
Photochemical smog	1.3636051
Ecotoxicity water chronic	16.506071
Ecotoxicity water acute	19.639425
Ecotoxicity soil chronic	0.89115399
Human toxicity air	24.308193
Human toxicity water	4.896493
Human toxicity soil	206.4119
Bulk waste	0.003592178
Hazardous waste	0.2579862
Radioactive waste	0.16934077
Slags/ashes	0.044947124
Resources (all)	0

4.1.3.3. Perbandingan *Single Score*

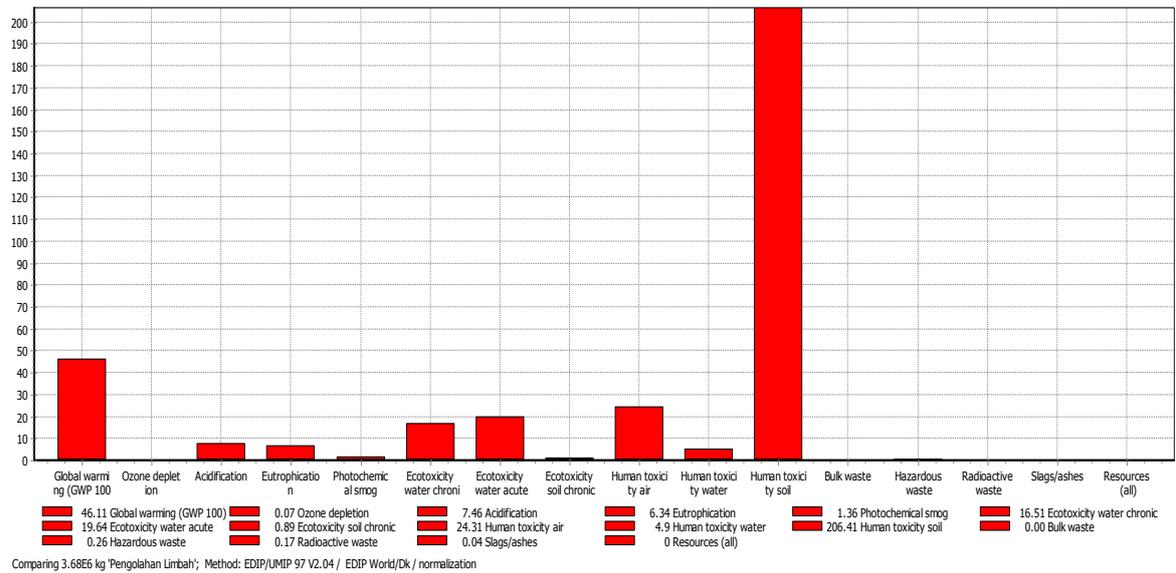
Tahapan selanjutnya dari fase LCA setelah karakterisasi dan normalisasi adalah melakukan perbandingan *single score* yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan besaran dampak aktivitas-aktivitas yang sudah diukur sebelumnya yaitu dari proses produksi produk minuman isotonik Mizone dan proses pengolahan limbah produk minuman isotonik Mizone.

Tabel 8 Perbandingan Single Score

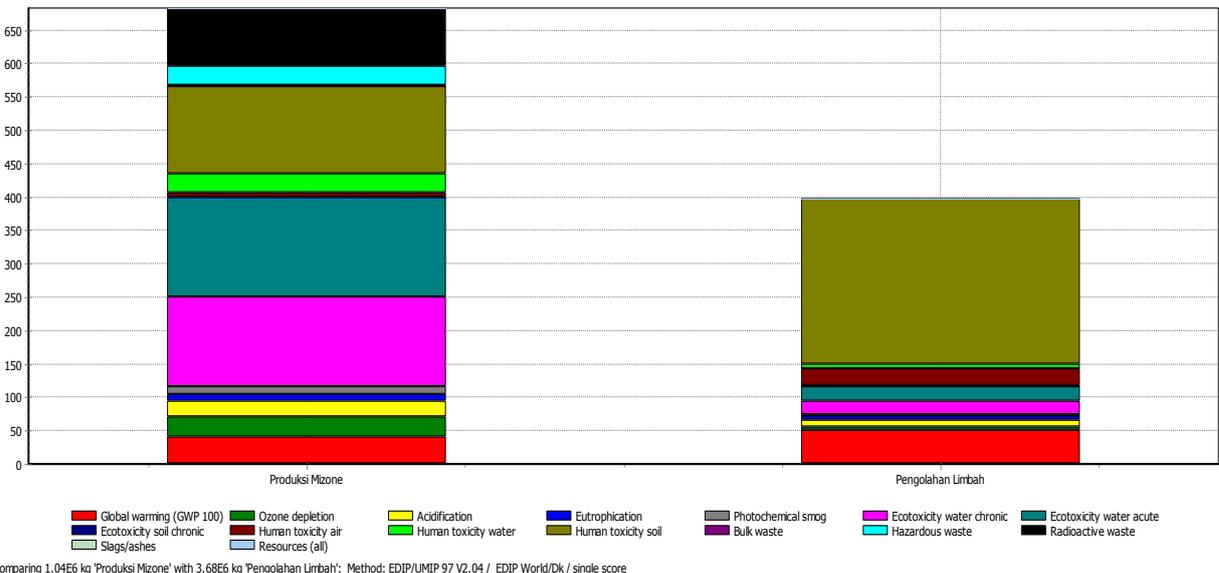
Impact category	Unit	Produksi Mizone	Pengolahan Limbah
Total	Pt	682.85993	397.97488
Global warming (GWP 100)	Pt	40.719869	50.724691
Ozone depletion	Pt	29.391282	4.5396246
Acidification	Pt	24.393798	9.7029606
Eutrophication	Pt	10.099845	7.6109153
Photochemical smog	Pt	11.058522	1.7726866
Ecotoxicity water chronic	Pt	134.66235	19.807285
Ecotoxicity water acute	Pt	148.58929	21.603368
Ecotoxicity soil chronic	Pt	0.81840539	0.89115399
Human toxicity air	Pt	5.918553	26.739013
Human toxicity water	Pt	29.591867	6.365441
Human toxicity soil	Pt	130.64339	247.69429
Bulk waste	Pt	1.1247959	0.003951395
Hazardous waste	Pt	28.747567	0.28378482
Radioactive waste	Pt	84.698876	0.18627485
Slags/ashes	Pt	2.4015115	0.049441837
Resources (all)	Pt	0	0



Gambar 2 Normalisasi Proses Produksi



Gambar 3 Normalisasi Proses pengolahan Limbah



Gambar 4 Perbandingan Single Score

5.1. Karakterisasi

Hasil dari tahap karakterisasi untuk proses produksi dan proses pengolahan limbah Mizone ditampilkan pada tabel 3 dan tabel 4.

Hasil dari tahap karakterisasi menghasilkan beberapa kategori dampak yaitu: *Global Warming, Ozone Depletion, Acidification, Eutrophication, Photochemical Smog, Ecotoxicity Water Chronic, Ecotoxicity Water Acute, Ecotoxicity Soil Chronic, Human Toxicity Air, Human Toxicity Water, Human Toxicity Soil, Bulk Waste, Hazardous Waste, Radioactive Waste, dan Slags/ashes.*

Hasil dari tahap karakterisasi menunjukkan hasil sebesar 100% untuk tiap kategori karena tiap kategori masih dalam satuannya masing-masing sehingga belum dapat dibandingkan.

5.2. Normalisasi

Pada tahap normalisasi proses produksi Mizone tiap kategori dampak lingkungan sudah memiliki satuan yang sama dan dapat dilihat besarnya kontribusi tiap kategori terhadap dampak lingkungan. Kategori yang menghasilkan dampak lingkungan tertinggi pada proses produksi Mizone adalah kategori *Ecotoxicity water acute* (ekotoksitas air akut) dan diikuti oleh kategori *Ecotoxicity water chronic* (ekotoksitas air kronis) di posisi kedua. Kategori ekotoksitas air akut ini menghasilkan dampak lingkungan sebesar 135.08117 dan kategori ekotoksitas air kronis menghasilkan dampak lingkungan sebesar 112.21863. Kedua kategori ini terfokus pada dampak lingkungan pencemaran air, namun disamping itu juga ada kategori dampak lingkungan yang tinggi lainnya yaitu *Human toxicity soil* (toksisitas tanah terhadap manusia). Kategori toksisitas tanah ini juga memiliki nilai yang tinggi yaitu sebesar 108.86949 karena menurut metode EDIP/UMIP 97, toksisitas atau pencemaran terhadap air juga akan mempengaruhi pencemaran tanah. Tingginya nilai kontribusi kategori toksisitas tanah terhadap lingkungan juga dipengaruhi oleh penggunaan kemasan Mizone yang terbuat dari biji plastik, namun penggunaan kemasan plastik tidak akan menghasilkan kontribusi dampak setinggi itu jika tidak digabungkan dengan hubungan antara kategori dampak pencemaran air dan kategori dampak pencemaran tanah. Tingginya nilai dampak lingkungan untuk pencemaran air dan tanah yang dihasilkan oleh proses produksi Mizone disebabkan oleh banyaknya penggunaan air sebagai bahan baku tetapi sedikit yang menjadi produk, kenyataan yang terjadi adalah banyak bahan baku yaitu air yang menjadi *waste* sehingga harus masuk ke dalam proses pengolahan limbah. Dari sebanyak 4,7 juta liter air yang digunakan sebagai bahan baku, hanya sekitar 1,1 juta liter yang menjadi produk Mizone dan bisa dipasarkan atau dijual, sedangkan 3,6 juta liter air yang lain menjadi *waste* dan harus masuk ke pengolahan limbah Mizone, hal ini membuat kategori dampak lingkungan pencemaran air dan tanah

memiliki nilai kontribusi tertinggi. Kategori dampak lingkungan pencemaran air dan tanah pada proses produksi Mizone sebenarnya dapat diabaikan karena setelah melewati proses produksi, air sisa produksi yang telah menjadi *waste* tadi akan diproses lebih lanjut di pengolahan limbah. Setelah kategori dampak lingkungan pencemaran air dan tanah, kontribusi tinggi terhadap dampak lingkungan lainnya dihasilkan oleh kategori limbah radioaktif yaitu sebesar 76.998978 dan kategori pemanasan global sebesar 37.018063. Limbah radioaktif memiliki beberapa pengertian, namun yang dimaksud dengan limbah radioaktif disini merupakan limbah berbahaya dan limbah yang telah terpapar oleh radiasi pengion yaitu kemasan botol Mizone dan air sisa produksi Mizone. Air sisa produksi Mizone dimasukkan kedalam kategori limbah radioaktif karena memang sebelum diproduksi, air yang akan digunakan diberikan perlakuan khusus terlebih dahulu yaitu ionisasi dan ozonisasi sehingga termasuk kedalam kategori ini, sedangkan penggunaan kemasan botol plastik Mizone termasuk kedalam kategori ini karena digunakan dalam skala yang besar sehingga berbahaya bagi lingkungan jika penanganannya tidak baik. Kategori pemanasan global juga memberikan kontribusi yang tinggi terhadap dampak lingkungan akibat pemakaian energi untuk operasional mesin, emisi-emisi yang dihasilkan oleh *boiler* Mizone dan juga karbon.

Pada tahap normalisasi proses pengolahan limbah Mizone tiap kategori dampak lingkungan sudah memiliki satuan yang sama dan dapat dilihat besarnya kontribusi tiap kategori terhadap dampak lingkungan. Hasil perhitungan tahap normalisasi untuk proses pengolahan limbah Mizone ditampilkan pada tabel 6 dan gambar 7. Kontribusi dampak lingkungan yang paling tinggi pada proses pengolahan limbah adalah kategori *Human toxicity soil* (toksisitas tanah terhadap manusia). Kategori dampak lingkungan pencemaran tanah pada proses pengolahan limbah Mizone memiliki nilai sebesar 206.4119. Besarnya kontribusi kategori dampak lingkungan pencemaran tanah ini disebabkan oleh banyaknya *sludge* (lumpur) yang dihasilkan oleh proses pengolahan limbah Mizone. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, proses pengolahan limbah Mizone memang menghasilkan *sludge* yang cukup banyak sehingga kontribusi dampak ini pun menghasilkan nilai yang tinggi. Pada kenyataannya, *sludge* yang dihasilkan tidak berbahaya bagi tanah. *Sludge* yang dihasilkan oleh proses pengolahan limbah Mizone merupakan lumpur aktif yang memiliki kandungan organik yang tinggi, hal ini disebabkan oleh adanya mikroorganisme berupa bakteri aerob yang terdapat didalam lumpur tersebut. *Sludge* dapat digunakan kembali sebagai mikroorganisme dalam proses aerob, namun jika *sludge* yang dihasilkan terlalu banyak maka akan dikeringkan dan digunakan sebagai pupuk atau dibuang ke tanah. Selain *sludge*, proses pengolahan

limbah Mizone pun menghasilkan limbah yang lain yaitu air limbah yang sudah diolah dan juga gas metana. Air limbah hasil produksi Mizone diproses dan diberikan perlakuan sedemikian rupa sehingga air limbah tersebut sudah memiliki pH yang aman dan sesuai dengan standar dan regulasi setempat untuk dibuang ke sungai. Gas metana yang dihasilkan oleh proses pengolahan limbah Mizone dikeluarkan oleh reaktor anaerob yang merupakan salah satu proses pengolahan limbah. Tujuan dari reaktor anaerob ini sebenarnya adalah untuk menguraikan komponen-komponen organik yang terdapat didalam air limbah sehingga nantinya aman untuk dibuang ke sungai, namun reaktor anaerob ini menghasilkan gas metana sebagai gantinya. Gas metana yang dihasilkan oleh reaktor anaerob ini termasuk dalam jumlah yang besar karena menghasilkan bau tidak sedap di area pengolahan limbah Mizone. Gas metana seharusnya tidak berbau, namun jika gas metana memiliki bau yang tidak sedap maka artinya gas tersebut memiliki konsentrasi yang tinggi dan berbahaya untuk kesehatan. Gas metana juga dikenal sebagai gas yang berbahaya dan memiliki efek 40 kali lebih kuat untuk menghasilkan pemanasan global jika dibandingkan dengan karbon dioksida. Selain kategori dampak lingkungan pencemaran tanah, kategori dampak lingkungan lain yang memiliki kontribusi tinggi lainnya adalah pemanasan global dengan nilai sebesar 46.113355. Nilai kontribusi ini adalah hasil dari penggunaan energi untuk operasional mesin pengolahan limbah dan juga dari efek limbah yang dibuang. Nilai kontribusi untuk dampak lingkungan yang dihasilkan oleh kategori pemanasan global seharusnya bisa lebih tinggi jika ditambahkan dengan dampak lingkungan yang dihasilkan dari gas metana hasil proses pengolahan limbah, namun *software* SimaPro tidak dapat menghitung dampak lingkungan gas metana karena pada *software* SimaPro gas metana merupakan data yang bersifat dependen.

5.3. Single Score

Single score merupakan tahap untuk membandingkan besarnya jumlah dampak lingkungan total yang dihasilkan dari aktivitas yang dievaluasi. Perbandingan *single score* ditampilkan pada tabel 8 dan gambar 4 yang menunjukkan perbandingan nilai kontribusi total terhadap lingkungan antara proses produksi dan proses pengolahan limbah Mizone. Nilai kontribusi total terhadap lingkungan yang dihasilkan oleh proses produksi Mizone adalah sebesar 682.85993 sedangkan nilai kontribusi total terhadap lingkungan yang dihasilkan oleh proses pengolahan limbah Mizone adalah sebesar 397.97488. besarnya nilai kontribusi total terhadap lingkungan yang dihasilkan oleh proses produksi Mizone ini disebabkan oleh lebih kompleksnya proses yang terjadi didalam proses produksi Mizone dan juga lebih banyaknya kebutuhan bahan baku dan juga energi yang

dibutuhkan oleh proses produksi Mizone jika dibandingkan dengan pengolahan limbah Mizone

5.4. Rekomendasi

Tabel 9 Usulan Rekomendasi

No.	Permasalahan	Rekomendasi Perbaikan
1	Mesin sering mengalami gangguan sehingga menghasilkan produk cacat yang harus di- <i>rework</i> . Hal ini turut menambah penggunaan energi listrik mengingat mesin yang digunakan memerlukan energi yang besar.	Melakukan perawatan (<i>maintenance</i>) mesin secara berkala agar proses produksi dapat berjalan dengan efektif dan efisien. Harus ada penjadwalan perawatan mesin produksi oleh bagian Teknik.
2	Penggunaan solar sebagai bahan bakar pada proses pasteurisasi dalam proses produksi Mizone menghasilkan emisi karbon yang tinggi dan turut berperan terhadap potensi pemanasan global yang menyebabkan perubahan iklim.	Melakukan substitusi terhadap bahan baku yang digunakan pada proses pasteurisasi menjadi biosolar agar emisi yang dihasilkan dapat diminimalisir.
3	Kemasan botol berbahan PET (<i>Polyethylene Telephthalate</i>) yang digunakan sebagai kemasan Mizone turut menghasilkan dampak lingkungan yang tinggi meskipun dapat didaur ulang.	Mempertimbangkan pergantian bahan kemasan plastik PET menjadi kemasan berbahan karton guna mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan.
4	Pengolahan limbah Mizone secara anaerob kurang efektif dan menghasilkan gas metan yang berbahaya bagi lingkungan, selain itu tidak ada penanganan khusus yang dilakukan oleh pihak perusahaan terhadap gas metan yang dihasilkan.	Melakukan pengolahan limbah secara aerob agar pengolahan limbah yang dilakukan lebih efektif, selain itu dampak lingkungan yang dihasilkan juga berkurang karena tidak menghasilkan gas metana.

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Dari tahap *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) yang telah dilakukan, dampak yang ditimbulkan dari proses produksi dan pengolahan limbah produk minuman isotonik Mizone diketahui dan dibagi menjadi beberapa kategori. Kategori-kategori tersebut didapatkan berdasarkan metode EDIP/UMIP 97 versi 2.04 dalam perhitungan yang dibantu dengan software SimaPro 7.1.8. Kategori-kategori dampak yang ditimbulkan adalah potensi pemanasan global, penipisan lapisan ozon, pengasaman, eutrofikasi, asap fotokimia, pencemaran air, pencemaran tanah, limbah berbahaya, dan abu.
2. Melalui tahap perhitungan yang dilakukan maka diketahui bersaran dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi dan juga proses pengolahan limbah produk minuman isotonik Mizone. Proses produksi minuman isotonik Mizone menghasilkan dampak terbesar yaitu pencemaran terhadap air sebesar 247.2998 dan diikuti oleh kategori terbesar kedua yaitu pencemaran tanah sebesar 108.86949. Hasil tersebut disebabkan oleh besarnya volume penggunaan air sebagai bahan baku utama produksi yang tidak dapat dimanfaatkan menjadi produk, dimana 4,7 juta liter air yang digunakan sebagai bahan baku, hanya sekitar 1,1 juta liter air yang menjadi produk Mizone. Pencemaran air juga mempengaruhi pencemaran tanah dan mengakibatkan kategori dampak pencemaran tanah juga bernilai besar. Proses pengolahan limbah minuman isotonik Mizone menghasilkan dampak tertinggi pada pencemaran tanah sebesar 206.4119 dan diikuti oleh kategori terbesar kedua yaitu potensi pemanasan global sebesar 46.113355. Tingginya nilai kategori dampak pencemaran tanah ini disebabkan oleh pencemaran tanah yang dipengaruhi oleh lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah, sedangkan kategori dampak pemanasan global disebabkan oleh penggunaan energi untuk proses pengolahan limbah dan juga gas metan yang dihasilkan oleh proses pengolahan limbah secara anaerob.
3. Rekomendasi yang dapat diberikan kepada PT. Tirta Investama Klaten untuk meminimalkan dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi dan proses pengolahan limbah Mizone adalah sebagai berikut:
 - Melakukan perawatan mesin secara berkala agar tidak terjadi masalah-masalah yang menghambat proses produksi. Hal ini dianggap penting agar tidak banyak produk yang menjadi *reject* akibat mesin-mesin

yang tidak bekerja secara optimal dan juga tidak membuang energi dengan sia-sia untuk melakukan proses ulang terhadap produk *reject* tersebut.

- Penggantian penggunaan bahan baku untuk *boiler* pada proses pasteurisasi dalam proses produksi Mizone dari solar menjadi biosolar. Penggunaan biosolar akan mengurangi produksi emisi CO₂ sebesar 78.5% dan tidak akan menghasilkan sulfur dioksida karena biosolar dibuat dari bahan-bahan terbarukan dan alami. Penggunaan biosolar akan mengurangi penyebab fenomena gas rumah kaca dan juga lebih ramah terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.
- Melakukan pertimbangan mengenai substitusi bahan kemasan PET menjadi berbahan karton. Penggunaan kemasan karton lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan penggunaan kemasan plastik PET, selain itu kemasan karton juga terbuat dari bahan alami yang terbarukan.
- Mengganti proses pengolahan limbah yang tadinya secara aerob dan anaerob menjadi pengolahan limbah secara aerob saja. Proses pengolahan limbah secara aerob terbukti lebih efektif dan juga lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pengolahan limbah secara anaerob meskipun penanganan yang dibutuhkan lebih rumit dan biaya operasional yang dikeluarkan akan lebih besar.

6.2. Saran

Berikut merupakan saran yang mengacu pada hasil penelitian mengenai penilaian kapabilitas inovasi yang dapat diberikan untuk kelanjutan penelitian ini:

1. Penelitian ini dapat dilakukan kembali dengan objek penelitian yang berbeda atau pada lingkup yang berbeda. Penelitian ini hanya dilakukan pada lingkup proses produksi dan proses pengolahan limbah saja, tidak melihat proses yang lain. Pada penelitian selanjutnya mungkin dapat mencakup lingkup yang lebih luas bahkan hingga tahap akhir atau *end of life* dari produk tersebut agar dapat menghasilkan evaluasi yang lebih baik dan lebih menyeluruh.
2. Pemilihan objek penelitian harus diperhatikan untuk penelitian dengan metode LCA ini. Objek yang dipilih pada penelitian ini adalah Mizone karena merupakan produk yang umum di masyarakat dan juga merupakan produk yang paling kompleks proses produksinya dan proses pengolahan limbahnya. Disarankan penelitian selanjutnya agar memiliki jurnal acuan sebagai dasar pemilihan objek penelitian yang dilakukan.

3. Ketelitian dalam pengumpulan dan pengolahan data merupakan hal yang penting dalam penelitian yang menggunakan metode LCA, oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya diharapkan untuk teliti dalam observasi lapangan, pengumpulan data, dan juga pengolahan data menggunakan bantuan *software* apapun.
4. Bagian penelitian yang cukup sulit dalam melakukan perhitungan LCA dengan bantuan *software* SimaPro adalah membangun sistem yang relevan dengan sistem yang diteliti dan menemukan input serta output dalam *software* yang dapat mewakili input dan output yang digunakan dalam sistem. Oleh karena itu peneliti menyarankan untuk mempelajari sistem yang akan diteliti dengan baik juga mempelajari pemakaian *software* SimaPro agar hasil LCA dapat sepenuhnya merepresentasikan sistem yang diteliti.
5. Pada penelitian selanjutnya dapat melakukan perhitungan LCA dengan bantuan *software* selain SimaPro, contohnya GaBi dan juga Umberto NXT.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Azpagic, & S. Perdan. (2000). *Indicators of Sustainable Development for Industry: A General Framework*.
- Asosiasi Industri Minuman Ringan. (2011). *Prospek dan Tren Industri Minuman Ringan Indonesia Memasuki 2012*.
- Change, I. P. (2014). *Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymaker*.
- Committee on Specifications Codex. (1972). *Food Chemical Codex*. Washington DC: National Research Council.
- Council, C. o. (1997). *Food Chemical Codex*. Washington D.C.: National Academy of Sciences.
- Curran, M. (1996). *Environmental Life-Cycle Assessment*. New York: McGraw-Hill.
- Handayani, S. (2007). *Analisis Kepuasan Konsumen Minuman Isotonik Mizone*.
- Herva, M., Franco, A., Carrasco, E., & Roca, E. (2011). *Review of Corporate Environmental Indicators*.
- Jansen, B., & Gerlo, J. (2005). *Worldwide Environmental Impacts of Consumption and Production in Flanders: Feasibility of an Environmental Input Output Model for Flanders*. Flemish Environment Agency.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2015). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Khan, M. M., Khan, R. U., Khan, F. Z., & Athar, M. (2013). *Impacts of Biodiesel on the Environment*.
- Koswara, S. (2009). *Minuman Isotonik*.
- Lee, K. M., & Inaba, A. (2004). *Life Cycle Assessment: Best Practices of ISO 14040 Series*. Committee on Trade and Investment.
- Murray, R., & Stofan, J. (2001). *Formulating Carbohydrate-Electrolyte Drinks for Optimal Efficacy*. London: CRC Press.
- Pujadi. (2013). *Analisis Sustainability Packaging dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA)*.
- Research, I. f. (2012). *First Europe-wide Life-cycle Assessment for UHT Milk Packaging*.
- Winarno, F., & Laksmi, B. (1974). *Kerusakan Bahan Pangan dan Cara Pencegahannya*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- <http://nationalgeographic.co.id/berita/2015/08/di-2015-suhu-bumi-meningkat-1-26-derajat>, diakses pada 17 Desember 2016
- <http://simapro.co.uk/>, diakses pada 17 Desember 2016
- <https://www.nasa.gov/>, diakses pada 17 Desember 2016
- <http://www.noaa.gov/research>, diakses pada 17 Desember 2016