



Disertasi

**SKENARIO PENGELOLAAN SAMPAH B3 RUMAH TANGGA
(B3 RT) DI KOTA SEMARANG DENGAN MENGGUNAKAN
PENDEKATAN *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)**

**ELANDA FIKRI
NIM : 30000212510011**

**PROGRAM DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2015**

**SKENARIO PENGELOLAAN SAMPAH B3 RUMAH TANGGA (B3 RT)
DI KOTA SEMARANG DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN
*LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)***

Elanda Fikri

NIM : 30000212510011

TIM PENGUJI :

Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA
(Ketua Sidang Ujian/Promotor)

Dr. Henna Rya Sunoko, Apt., MES
(Ko-Promotor)

Prof. Dr. Budi Widianarko, M.Sc
(Penguji Eksternal)

Dr. Ir. Eko Hendarto, M.Si
(Penguji Eksternal)

Prof. Dr. dr. Anies, M.Kes, PKK
(Penguji)

dr. Onny Setiani, Ph.D
(Penguji)

Dr. Ir. Syafrudin, CES, MT
(Penguji)

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Elanda Fikri
NIM : 30000212510011
Mahasiswa : Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan
Pascasarjana Universitas Diponegoro

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Disertasi yang berjudul “**Skenario Pengelolaan Sampah B3 Rumah Tangga (B3 RT) di Kota Semarang dengan Menggunakan Pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)***” adalah karya ilmiah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (doktor) di perguruan tinggi manapun.
2. Disertasi ini adalah murni ide, rumusan dan hasil penelitian saya serta dilakukan tanpa bantuan orang lain, kecuali tim promotor dan narasumber.
3. Disertasi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan judul aslinya serta dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh, dan sanksi lain sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Diponegoro.

Semarang, Agustus 2015
Yang Membuat Pernyataan,

Elanda Fikri

RIWAYAT HIDUP

ELANDA FIKRI, S.KM., M.Kes

Lahir di Cirebon, Jawa Barat pada tanggal 11 Maret 1989, yang merupakan anak tunggal dari pasangan suami istri Agus Saptaji, S.Pd dan Ibu Nina Mulyana. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri 1 Kemantren, Kabupaten Cirebon pada tahun 2000, SMP Negeri 1 Sumber tahun 2004, SMA Negeri 1 Sumber tahun 2007. Kemudian, pendidikan S1 ditempuh di Fakultas Kesehatan Masyarakat peminatan kesehatan lingkungan Universitas Diponegoro (UNDIP), lulus pada tahun 2011 dan menjadi lulusan terbaik dengan predikat cumlaude. Pendidikan Magister Kesehatan Lingkungan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro (UNDIP) diselesaikan pada tahun 2012, kembali lulus dengan predikat cumlaude. Pada akhir tahun 2012, penulis berkesempatan memperoleh Beasiswa Unggulan BPKLN Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dengan memilih program studi S3 Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro (UNDIP) sampai sekarang.



Riwayat Pekerjaan, Penulis sempat bekerja sebagai editor di Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia (2011) sekaligus sebagai asisten dosen di Universitas Muhammadiyah Semarang (2012-2014). Pada tahun 2012 penulis diangkat sebagai sanitarian di RSUP Dr. Kariadi Semarang sampai akhir tahun 2014. Pada awal tahun 2015, penulis diterima sebagai CPNS Dosen di Poltekkes Kemenkes RI – Bandung.

PUBLIKASI ILMIAH

JURNAL INTERNASIONAL TERINDEKS SCOPUS :

1. Journal Procedia Environmental Science

Modelling of Household Hazardous Waste (HHW) Management in Semarang City (Indonesia) by Using Life Cycle Assessment (LCA) Approach to Reduce Greenhouse Gas (GHG) Emissions (**Accepted 20 Januari 2015**)

2. International Journal of Applied Environmental Sciences (IJAES)

Combining Life Cycle Assessment (LCA) with Stakeholder Analysis (SA) to Produce The Best Scenario of Household Toxic Hazardous Waste Management (HTHWM) in Semarang City, Indonesia. (**Accepted 23 Mei 2015**)

3. International Journal of Applied Environmental Sciences (IJAES)

Characteristics and Household Toxic Hazardous Waste (HTHW) Generation Based on Economic Status and Topographic Regions in Semarang City, Indonesia. (**Accepted 16 Juni 2015**)

4. International Journal of Environment and Waste Management (IJEWM)

Life Cycle Assessment of Household Hazardous Waste Management (HHWM) Options for Semarang City, Indonesia (**Accepted 27 Juli 2015**)

PROSIDING INTERNASIONAL :

1. Conference On Legal Empowerment Power And Regulation (9-11 Juni 2014).
2. Proceeding of International Conference on Tropical and Coastal Region Eco-Development 2014 (11-13 Agustus 2014).

PROSIDING NASIONAL :

Prosiding Seminar Nasional; Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan (16 Oktober 2014)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan disertasi dengan judul “**Skenario Pengelolaan Sampah B3 Rumah Tangga (B3 RT) di Kota Semarang dengan Menggunakan Pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)***”. Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk meraih gelar kesarjanaan (S3) di Program Pasca Sarjana Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.

Dalam penulisan disertasi ini penulis telah memperoleh banyak bantuan yang tak terhingga nilainya dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis dengan segala kerendahan hati mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA, selaku Direktur Program Pascasarjana sekaligus promotor yang dengan tulus hati dan sabar mencurahkan perhatiannya sejak awal pembentukan ide/topik dan kerangka penelitian, serta selalu mengarahkan agar fokus dalam penulisan, memberi petunjuk, koreksi, perbaikan dan memacu penulis untuk segera menyelesaikan disertasi ini. (“*Penelitian dalam disertasi itu harus mengkerucut dan spesifik, tidak seperti S1 dan S2*”).
2. Dr. Henna Rya Sunoko, Apt, MES, selaku Ko-Promotor yang dengan tulus hati dan sabar mencurahkan perhatiannya sejak awal, memberikan masukan terhadap penulisan disertasi, serta selalu mengarahkan agar konsisten dalam penulisan, memberi petunjuk, koreksi, perbaikan dan memacu penulis untuk segera menyelesaikan disertasi ini. (“*Konsisten terhadap penulisan dan penelitian, cepet maju, agar cepat selesai*”).
3. Prof. Dr. Budi Widianarko, M.Sc, Rektor dari Universitas Katolik Soegijapranata dan selaku penguji eksternal yang telah meluangkan waktu di tengah kesibukan untuk memberikan banyak masukan khususnya dalam metode penelitian, temuan penting dan “*body of knowledge*” sehingga menunjang kesempurnaan penulisan disertasi ini.
4. Dr. Ir. Eko Hendarto, M.Si, selaku penguji eksternal dari Universitas Jenderal Soedirman yang telah meluangkan waktu di tengah kesibukan untuk sharing ilmu, dan memberikan saran yang sangat berguna terkait penulisan serta tata bahasa (EYD) hingga terselesaikannya disertasi ini.

5. Prof. Dr. dr. Anies, M.Kes, PKK, selaku penguji internal yang telah meluangkan waktu untuk dapat memberikan masukan kepada penulis, sehingga semakin menyempurnakan disertasi ini.
6. dr. Onny Setiani, Ph.D, selaku penguji internal dan sosok ibu yang telah memberikan dorongan, dukungan, motivasi, serta dengan ketelitian beliau telah banyak sekali memberikan saran, masukan dan ilmu yang sangat berharga hingga selesainya penulisan disertasi ini.
7. Dr. Ir. Syafrudin, CES, MT, selaku penguji internal yang telah meluangkan waktu di tengah kesibukan untuk memberikan masukan, terutama dalam aspek manajemen pengelolaan persampahan sehingga menunjang kesempurnaan penulisan disertasi ini.
8. Dr. Ing. Suherman, MT, selaku penguji internal yang telah memberikan arahan dan koreksi hingga terselesaikannya disertasi ini.
9. Kepala Kesbangpol dan Linmas Kota Semarang, Bappeda Kabupaten Tegal, RT dan RW di wilayah sampel penelitian (Kec. Pedurungan, Kec. Semarang Barat, Kec. Semarang Utara dan Kec. Banyumanik) yang telah memberikan ijin penelitian ini.
10. Kepala UPTD TPA Jatibarang, TPST Pedurungan, Bank Sampah “*Resik Becik*” serta para pemulung di TPA Jatibarang yang telah membantu penulis memberikan informasi terkait topik penelitian, sehingga penulis lebih mudah dalam menyusun dan mengembangkan ide dalam disertasi ini..
11. Jajaran pakar dan stakeholder Kota Semarang : Bapak Ir. Purnomo Dwi Sasongko, MM, MT (Kepala Bidang Perencanaan Program dan Lingkungan Hidup, Bappeda Kota Semarang), Drs. Woro Sugito, MM (Ka. Sie Pengelolaan Limbah Dinas Kebersihan dan Pertamanan, DKP Kota Semarang), Ir. Endang Pratiwi Ningsih, M.Si (Kepala Bidang Pengembangan Teknologi dan Pengendalian Lingkungan, BLH Kota Semarang), Dra. Usmiyati Dewi K., M.Eng (Staf Subid Pengendalian Pencemaran Udara, Limbah Padat dan B3, BLH Provinsi Jawa Tengah), Suhadi (Kepala Unit Pelaksana Tugas Dinas (UPTD) TPA Jatibarang, Semarang), dan Muhammad Abas (Staf Bidang Operasional dan Produksi PT. Narpati Agung Karya Persada Lestari Kota Semarang), terima kasih atas kesediaan waktu dan masukannya, sehingga

penulis dapat menggali informasi serta menentukan skenario pengelolaan sampah B3 RT di Kota Semarang.

12. Ibu Nina selaku pimpinan CV. Limbah Berkah Mandiri. Terima kasih atas ijin, kesediaan waktu dan penjelasannya, sehingga penulis mengerti akan proses pengelolaan sampah di sektor pengepul.
13. Pimpinan dan Staf PT. Tritama Plastindo. Terima kasih atas ijin, kesediaan waktu dan penjelasannya, sehingga penulis mengerti akan proses pengolahan sampah daur ulang plastik.
14. Bapak Franskongi selaku direktur PT. Inti General Yaja Steel serta staf di unit peleburan, listrik dan energi. Terima kasih atas ijin, kesediaan waktu, penjelasan, dan data yang diberikan. Sehingga penulis mengerti akan proses pengelolaan sampah daur ulang logam (kaleng).
15. Bapak Supandi selaku pimpinan di PT. Lut Putra Solder (Kebasen, Tegal), Mas Yanto selaku Ka. Divisi Operasional, dan Mas Bio selaku penanggung jawab data. Terima kasih atas ijin, kesediaan waktu, penjelasan, dan data yang diberikan. Sehingga penulis mengerti akan proses pengelolaan limbah B3.
16. Teman-teman mahasiswa Teknik Lingkungan angkatan 2010, Universitas Diponegoro (Yunsa, Dimas, Arif, Tiwi, Irawan, Yose, Tunjung, Erfan, Nafa, Rani), terima kasih atas bantuan dalam sampling timbulan dan karakteristik sampah B3 RT selama 32 hari di 4 Kecamatan Kota Semarang. Ucapan terima kasih khususnya buat Dimas dan Yunsa, yang telah mengajari penulis tentang Arc GIS dan pemetaan wilayah sampling di Google Earth.
17. Bapak Main, S.Si, M.Si, terima kasih telah mengajari penulis tanpa henti-hentinya (siang hingga larut malam) terkait penggunaan software SimaPro 7.1 dalam analisis dampak lingkungan, sehingga penulis dapat menentukan skenario terbaik dalam pengelolaan sampah B3 RT. Mbak Hani Trisnawati, ST, M.Si selaku teman sharing, terima kasih juga untuk masukan dalam analisis SimaPro 7.1 sehingga penulis mengerti tentang *system boundary*, *functional unit* dalam analisis LCA.
18. Safrinal Sofaniadi, ST, M.Si, terima kasih atas peta, data-data terkait persampahan di Kota Semarang serta alokasi waktu yang diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat dipertemukan dan menggali informasi kepada

Bapak Ir. Purnomo Dwi Sasongko, MM, MT selaku Kepala Bidang Perencanaan Program dan Lingkungan Hidup, Bappeda Kota Semarang.

19. Direktur Poltekkes Kemenkes Bandung, Ketua Jurusan Kesehatan Lingkungan beserta staf dosen yang telah memberikan kesempatan dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi.
20. Yang amat mulia kedua orang tua penulis, Ibu dan Bapak tercinta (Agus Saptaji, S.Pd dan Nina Mulyana), yang telah mencurahkan kasih sayang, memberikan doa restu serta dorongan sebagai sumber motivasi utama.
21. Indah Muspita Pratiwi, S.KM, senantiasa memberikan masukan, support/dorongan sehingga penulis terpacu untuk menyelesaikan disertasi ini.
22. Rekan-rekan mahasiswa seperjuangan Program Doktor Ilmu Lingkungan, dan khususnya angkatan VI (PDIL-VI) Undip, terima kasih untuk semangat, *sharing*, dan masukan-masukan dalam penyusunan disertasi ini.
23. Biro Perencanaan dan Kerjasama Luar Negeri (BPKLN) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan atas kesempatan Beasiswa Unggulan (BU) yang telah diberikan sehingga penulis berkesempatan melanjutkan studi di Program Doktor Ilmu Lingkungan (DIL) Universitas Diponegoro (No Kontrak : 87189/A2.4/Ln/2012).
24. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas kesempatan beasiswa disertasi yang telah diberikan sehingga penulis dapat dengan mudah melaksanakan penelitian tanpa terkendala *finance* (No Kontrak PRJ-598/LPDP/2012).

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Penulis berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat untuk semua pihak, sebagai informasi tambahan, dan dapat dipergunakan bagi pengembangan ilmu pengetahuan yang akan datang. Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa dan Maha Penyayang melimpahkan berkat dan kasihNya kepada kita semua. Amin...

Semarang, Agustus 2015
Penulis

Elanda Fikri
30000212510011

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	iv
RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
DAFTAR SINGKATAN	xxi
DAFTAR ISTILAH	xxii
ABSTRAK	xxiv
ABSTRACT	xxv
RINGKASAN	xxvi
SUMMARY	xxxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	6
1.3 Orisinalitas	8
1.4 Tujuan Penelitian	13
1.5 Manfaat Penelitian	13
BAB II KAJIAN PUSTAKA	14
2.1 Kajian Sampah.....	14
2.2 Sampah B3 RT.....	16
2.2.1 Istilah sampah B3 RT	16
2.2.2 Definisi sampah B3 RT (B3 RT).....	16

2.2.3	Karakteristik sampah B3 RT	17
2.2.4	Sumber, tipe dan timbulan sampah B3 RT	18
2.3	Pengelolaan Sampah	20
2.4	Pengelolaan Sampah di Indonesia	29
2.5	Manajemen Sampah Terintegrasi	30
2.6	Payung Hukum Sebagai Landasan Awal Pengelolaan Sampah B3 RT	31
2.7	Konsiderasi dengan Undang-Undang 32 Tahun 2009	34
2.8	Dampak Sampah B3 RT Terhadap Kesehatan dan Lingkungan	36
2.9	Pendekatan Sistem	38
2.10	<i>Life Cycle Assessment</i> (LCA)	39
2.10.1	Pengertian <i>life cycle assessment</i>	39
2.10.2	Tujuan analisis daur hidup	42
2.10.3	Langkah utama analisis daur hidup	42
2.10.4	LCA dalam pengelolaan sampah	43
2.11	<i>Stakeholder Analysis</i> (SA)	46
2.11.1	Definisi <i>stakeholder analysis</i> (SA)	46
2.11.2	Tujuan <i>stakeholder analysis</i> (SA)	48
2.11.3	Pendekatan <i>stakeholder analysis</i> (SA)	48
 BAB III KERANGKA TEORI DAN KERANGKA KONSEP		49
3.1	Kerangka Teori Penelitian	52
3.2	Kerangka Konsep Penelitian	53
 BAB IV METODE PENELITIAN		54
4.1	Tempat dan Waktu Penelitian	54
4.2	Alur Penelitian	56
4.3	Desain Penelitian	57
4.4	Populasi dan Sampel	58
4.4.1	Populasi	58
4.4.2	Sampel	58
4.5	Tahapan LCA dalam sistem pengelolaan sampah B3 RT	63

4.5.1	Penentuan tujuan dan ruang lingkup (Langkah 1)	63
4.5.1.1	Tujuan (<i>Goal</i>).....	63
4.5.1.2	Unit fungsi (<i>Functional unit</i>)	63
4.5.1.3	Batasan sistem (<i>System boundaries</i>).....	63
4.5.1.4	Skenario	64
4.5.2	<i>Life cycle inventory</i> (LCI) (langkah 2).....	67
4.5.2.1	Pengumpulan data primer	67
4.5.2.2	Pengumpulan data sekunder.....	68
4.5.3	<i>Life cycle impact assessment</i> (LCIA) (Langkah 3).....	67
4.5.4	Interpretasi (Langkah 4)	70
4.5.5	Uji sensitivitas model (validasi model).....	71
4.6	Cara Pengumpulan dan Pengambilan Data Penelitian.....	71
4.6.1	Sampling timbulan sampah B3 RT	71
4.6.2	Sampling komposisi sampah B3 RT	72
4.7	Pengolahan dan Analisis Data	73
4.7.1	Analisis timbulan, komposisi dan densitas sampah B3 RT	73
4.7.1.1	Analisis univariat	73
4.7.1.2	Analisis bivariat	73
4.7.2	Analisis perhitungan emisi GRK pada sistem pengelolaan sampah B3 RT.....	74
4.7.2.1	Emisi gas rumah kaca dari sektor daur ulang sampah .	74
4.7.2.2	Emisi gas rumah kaca dari incinerator	74
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		75
5.1	Analisis Lokasi	75
5.1.1	Aspek geografi dan demografi	75
5.1.2	Administratif	77
5.1.3	Perekonomian.....	78
5.1.4	Kependudukan.....	79
5.2	Sampling Timbulan Sampah Organik, Anorganik dan B3 RT.....	81

5.3	Rata-Rata dan Proporsi Timbulan Sampah Domestik dan B3 RT di Kota Semarang.....	91
5.4	Uji Normalitas Data.....	93
5.5	Analisis Bivariate.....	94
5.6	Karakteristik Sampah B3 RT.....	96
5.7	Analisis Bivariate Karakteristik Sampah B3 RT.....	100
5.8	Timbulan Sampah Domestik dan B3 RT di Kota Semarang.....	101
5.9	Karakteristik Sampah Domestik dan B3 RT di Kota Semarang.....	115
5.10	Faktor Yang Mempengaruhi Timbulan dan Karakteristik Sampah B3 RT di Kota Semarang Berdasarkan Karakteristik Responden.....	125
5.11	Kondisi Pengelolaan Sampah di Kota Semarang Saat Ini.....	130
5.12	Identifikasi dan Analisis Permasalahan Sampah di Kota Semarang ...	147
5.13	Permasalahan dan Masukan dari Stakeholder Terkait Pengelolaan Sampah B3 RT.....	158
5.14	Hasil Observasi Penelitian di Industri Daur Ulang Plastik, Kaleng dan Industri Pengolah Limbah B3.....	162
5.15	Skenario Pengelolaan Sampah B3 RT dengan Metode <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	175
5.15.1	<i>Goal & Scope Definition</i>	176
5.15.2	<i>Life Cycle Inventory (LCI)</i>	178
5.15.2.1	Jarak dalam skenario pengelolaan sampah B3 RT..	179
5.15.2.2	Kebutuhan bahan bakar.....	182
5.15.2.3	Alur proses masing-masing skenario.....	183
5.15.3	<i>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</i>	186
5.15.3.1	Daur hidup skenario 1.....	186
5.15.3.2	Daur hidup skenario 2.....	188
5.15.3.3	Daur hidup skenario 2 (Pemisahan di TPST).....	188
5.15.3.4	Daur Hidup Skenario 3.....	189
5.15.3.5	Daur Hidup Skenario 4.....	189
5.15.3.6	Daur Hidup Skenario 5.....	190
5.15.3.7	Daur Hidup Skenario 6.....	190

5.15.3.8	Perbandingan Karakteristik Metode LCIA	191
5.15.3.9	Kontribusi Terbesar Masing-masing Skenario (<i>cut-off</i> : 0,2%).....	193
5.15.3.10	Metode emisi GRK.....	194
5.15.4	Interpretasi	198
5.15.4.1	Emisi GRK dari skenario pengelolaan sampah B3 RT.....	198
5.15.4.2	Penentuan skenario terbaik dalam pengelolaan sampah B3 RT.....	204
5.15.4.3	Skenario terbaik dalam pengelolaan sampah B3 RT	206
5.15.4.4	Kaitan pemilihan skenario yang dibuat dengan teori perencanaan.....	214
5.15.4.5	Analisis sensitivitas.....	220
5.15.4.6	Tantangan dan Alternatif Skenario Pengelolaan Sampah B3 RT	223
5.15.4.7	Keterkaitan skenario yang diusulkan dengan kebijakan penurunan emisi GRK	226
5.15.4.8	Skenario pengelolaan sampah B3 RT yang diusulkan	228
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		239
6.1	Kesimpulan.....	239
6.2	Saran	240
DAFTAR PUSTAKA		242
LAMPIRAN.....		259

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Daftar Penelusuran Hasil Penelitian Jurnal Internasional dan Nasional Terkait Tema Penelitian.....	11
Tabel 2.1	Penelitian terkait model pengelolaan sampah.....	23
Tabel 2.2	Skenario Pengelolaan Sampah Berdasar Pendekatan <i>Life Cycle Assessment</i>	46
Tabel 4.1	Kebutuhan jumlah sampel berdasarkan proporsi masing-masing kecamatan.....	60
Tabel 4.2	Sampel lokasi rumah tangga.....	61
Tabel 4.3	Rincian jumlah responden penelitian.....	68
Tabel 4.4	Pendekatan LCA pada sistem pengelolaan sampah berdasarkan pemilihan dampak lingkungan.....	69
Tabel 4.5	Faktor emisi sektor daur ulang sampah dalam mengurangi emisi GRK.....	74
Tabel 4.6	Faktor konversi energi dan faktor emisi bahan bakar.....	74
Tabel 5.1	Kondisi Topografi Kota Semarang.....	76
Tabel 5.2	Luas Wilayah Berdasarkan Kecamatan.....	77
Tabel 5.3	Rata-rata PDRB Perkapita Tahun 2007-2011.....	78
Tabel 5.4	Penduduk Kota Semarang Tahun 2005-2012.....	79
Tabel 5.5	Proyeksi penduduk Kota Semarang hingga tahun 2025.....	80
Tabel 5.6	Karakteristik sampah B3 RT di Kota Semarang.....	98
Tabel 5.7	Perbandingan timbulan sampah domestik di negara maju dan berkembang.....	101
Tabel 5.8	Perbandingan kontribusi/persentase sampah B3 RT dalam sampah domestik di beberapa Negara.....	110
Tabel 5.9	Persentase pelayanan sampah berdasarkan kecamatan di Kota Semarang.....	134
Tabel 5.10	Evaluasi Kondisi Pewadahan.....	136
Tabel 5.11	Fasilitas Pengomposan Terpusat Kota Semarang.....	141

Tabel 5.12	Nara sumber (stakeholder) dalam penelitian.....	158
Tabel 5.13	Daya dan tegangan motor pada <i>roughing mill</i> , <i>intermediate mill</i> dan <i>finishing mill</i>	168
Tabel 5.14	Hasil pengujian emisi sumber tidak bergerak PT. Inti General Yaja Steel.....	170
Tabel 5.15	Hasil uji emisi CV LPS periode 2013-2014.....	175
Tabel 5.16	Asumsi dalam LCA “ <i>from cradle to grave</i> ” pengelolaan sampah B3 RT.....	177
Tabel 5.17	Pembagian persentase berat sampah B3 RT berdasarkan wilayah sampling.....	178
Tabel 5.18	Pembagian jenis sampah B3 RT berdasarkan karakteristik (plastik, logam dan infeksi biologis) di 4 wilayah sampling.....	178
Tabel 5.19	Rencana rute tujuan masing-masing kecamatan menuju sentral TPST B3 Kota.....	182
Tabel 5.20	Perbandingan perhitungan dampak GWP dari metode yang berbeda.....	192
Tabel 5.21	Faktor konversi energi dan faktor emisi bahan bakar.....	195
Tabel 5.22	Emisi GRK pada masing-masing skenario berdasarkan kombinasi pendekatan yang berbeda.....	197
Tabel 5.23	Perbandingan dampak GWP berdasarkan pengelolaan sampah B3 RT dengan sistem daur ulang dan incinerator.....	212
Tabel 5.24	Analisis sensitivitas berdasarkan dampak dominan dalam skenario pengelolaan sampah B3 RT.....	223
Tabel 5.25	Kontribusi penurunan emisi GRK dari usulan skenario 2 dengan pemilahan di unit TPST.....	227

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan antara elemen fungsional dalam sistem pengelolaan sampah.....	20
Gambar 2.2	Hubungan antara pilihan pengelolaan sampah dikompilasi dengan pengelolaan sampah yang terintegrasi : (a) interaktif, (b) hierarki.....	22
Gambar 2.3	<i>Tahap Life Cycle</i>	40
Gambar 2.4	Konsep <i>life cycle</i> suatu system.....	41
Gambar 2.5	Langkah-langkah utama dalam <i>life-cycle analysis</i>	43
Gambar 3.1	Kerangka Teori Penelitian.....	52
Gambar 3.2	Kerangka Konsep Penelitian.....	53
Gambar 4.1	Peta Lokasi Penelitian.....	55
Gambar 4.2	Alur Penelitian.....	57
Gambar 4.3	Ploting sampel lokasi penelitian.....	62
Gambar 4.4	Batasan sistem (<i>system boundaries</i>).....	64
Gambar 4.5	Skenario Pengelolaan Sampah B3 di Kota Semarang.....	66
Gambar 5.1	Peta Rute Sampling Kelurahan Pedurungan Lor, Kecamatan Pedurungan.....	82
Gambar 5.2	Peta Rute Sampling di Kelurahan Karangayu, Kecamatan Semarang Barat.....	84
Gambar 5.3	Peta Rute Sampling di Kelurahan Kuningan, Kecamatan Semarang Utara.....	87
Gambar 5.4	Peta Rute Sampling di Kelurahan Srandol Kulon, Kecamatan Banyumanik.....	90
Gambar 5.5	Proporsi karakteristik sampah B3 RT di Kota Semarang berdasarkan skala berat.....	99
Gambar 5.6	Proporsi karakteristik sampah B3 RT di Kota Semarang berdasarkan skala volume.....	99
Gambar 5.7	Persamaan linear dan perbandingan proyeksi timbulan sampah B3 RT berdasarkan berat dan volume tahun 2005-2025 di Kota Semarang.....	107

Gambar 5.8	Perbandingan timbunan B3 RT berdasarkan strata ekonomi.....	108
Gambar 5.9	Perbandingan persentase sampah organik diberbagai Negara.....	116
Gambar 5.10	Perbandingan karakteristik sampah B3 RT di Kota Semarang....	120
Gambar 5.11	Faktor-faktor yang mempengaruhi timbunan dan karakteristik sampah B3 RT di Kota Semarang.....	128
Gambar 5.12	Skema penanganan sampah dari berbagai sumber di Kota Semarang.....	132
Gambar 5.13	Skema penanganan sampah pemukiman di Kota Semarang.....	133
Gambar 5.14	Diagram komposisi sampah Kota Semarang.....	135
Gambar 5.15	Sarana Pewadahan Berdasarkan Strata Ekonomi di Lokasi Penelitian.....	137
Gambar 5.16	Alur Pengumpulan Sampah Permukiman.....	138
Gambar 5.17	Alur Pengumpulan Sampah Fasilitas Umum.....	138
Gambar 5.18	Alur Pengumpulan Sampah Jalan.....	139
Gambar 5.19	Contoh Sarana Pengangkutan Sampah (<i>Armroll truck</i>).....	139
Gambar 5.20	Contoh Sarana Pengangkutan Sampah (<i>Dump truck</i>).....	139
Gambar 5.21	Kolam Ekualisasi IPL TPA Jatibarang.....	143
Gambar 5.22	(A) Bak Aerasi, (B) Bak Sedimentasi IPL TPA Jatibarang.....	144
Gambar 5.23	Sumur Uji TPA Jatibarang.....	144
Gambar 5.24	Zona Timbunan TPA Jatibarang.....	145
Gambar 5.25	Pewadahan sampah di TTU (Stasiun Poncol Semarang).....	148
Gambar 5.26	Pewadahan sampah di Taman Kota (Taman Diponegoro).....	148
Gambar 5.27	Proses pengolahan daur ulang plastik di CV. Limbah Berkah Mandiri.....	163
Gambar 5.28	PT. Tritama Plastindo, Industri Terboyo Megah, Semarang.....	163
Gambar 5.29	Proses pengolahan daur ulang plastik di PT. Tritama Plastindo..	164
Gambar 5.30	Proses pengolahan daur ulang besi/kaleng di PT. IGYS Semarang.....	170

Gambar 5.31	Papan Nama Industri Pengumpul, Pemanfaat dan Pengolahan Limbah B3 (CV. LPS dan DPLI Kebasen, Tegal).....	171
Gambar 5.32	Proses pengelolaan limbah B3 di CV. LPS.....	172
Gambar 5.33	TPS Limbah B3 CV. Lut Putra Solder.....	173
Gambar 5.34	Proses pembuatan batako/paving block sebagai hasil penggunaan residu (slag) hasil peleburan kaleng/besi terkontaminasi.....	174
Gambar 5.35	Rencana rute pengangkutan sampah B3 RT berdasarkan 4 wilayah sampling di Kota Semarang.....	181
Gambar 5.36	Alur proses skenario 1.....	183
Gambar 5.37	Alur proses skenario 2.....	183
Gambar 5.38	Alur proses skenario 2 (TPST).....	184
Gambar 5.39	Alur proses skenario 3.....	184
Gambar 5.40	Alur proses skenario 4.....	185
Gambar 5.41	Alur proses skenario 5.....	185
Gambar 5.42	Alur proses skenario 6.....	185
Gambar 5.43	Daur hidup skenario 1 (<i>cut-off</i> : 2%).....	187
Gambar 5.44	Analisis kontribusi dampak GWP pada skenario pengelolaan sampah B3 RT.....	193
Gambar 5.45	Komparisasi skenario terbaik	198
Gambar 5.46	Pilihan skenario terbaik pengelolaan sampah B3 RT.....	205
Gambar 5.47	Penurunan emisi GRK dengan perubahan skenario pengangkutan sampah B3 RT.....	221
Gambar 5.48	Penurunan emisi GRK dengan perubahan skenario pemisahan di RT menjadi pemisahan di TPST.....	222
Gambar 5.49	Penurunan dampak GWP berdasarkan substitusi incinerator dengan daur ulang pada pengelolaan sampah B3 RT golongan infeksius.....	225
Gambar 5.50	Komparasi dan alternatif pengelolaan sampah B3 RT.....	226
Gambar 5.51	Skenario pengelolaan sampah B3 RT di Kota Semarang yang diusulkan.....	232

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Uji Beda (ANOVA dan T-test *independent samples*)
- Lampiran B Perhitungan Proyeksi Penduduk Menggunakan 3 (Tiga) Pendekatan
- Lampiran C Hasil Perbandingan Jumlah Penduduk Kota Semarang Menggunakan 3 (Tiga) Pendekatan
- Lampiran D Data Sampling Timbulan dan Karakteristik Sampah B3 RT
- Lampiran E Uji Normalitas Data dan Analisis Bivariate Timbulan Sampah B3 RT
- Lampiran F Karakteristik Sampah B3 RT
- Lampiran G Analisis Bivariate Karakteristik Sampah B3 RT
- Lampiran H Hasil Proyeksi Timbulan Sampah B3 RT Sampai Tahun 2025
- Lampiran I Perhitungan Gas Metana TPA Jatibarang per Unit Fungsi B3 RT
- Lampiran J Inventory Data di Lokasi Penelitian
- Lampiran K Lembar observasi
- Lampiran L Banyaknya Rumah Penduduk di Kota Semarang Berdasarkan Jenis Bangunan.
- Lampiran M Jumlah Rumah Tangga PPLS 2011 Menurut Kecamatan dan Klasifikasi Kemiskinan Provinsi Jawa Tengah
- Lampiran N Informasi Penelitian dan *Inform Concern*
- Lampiran O Kuesioner Pada Stakeholder dan Masyarakat
- Lampiran P Hasil Rekap Dan Input Kuesioner, Sampling Timbulan dan Karakteristik Sampah B3 RT
- Lampiran Q Hasil Output Analisis Statistik dengan SPSS Versi 20
- Lampiran R Dokumentasi penelitian

DAFTAR SINGKATAN

3R	: <i>Reduce, Reuse, Recycle</i>
B3	: Bahan Berbahaya dan Beracun
BBM	: Bahan Bakar Minyak
BLH	: Badan Lingkungan Hidup
BPS	: Badan Pusat Statistik
DKP	: Dinas Kebersihan dan Pertamanan
GHG	: <i>Greenhouse Gas Emissions</i>
GRK	: Gas Rumah Kaca
GWP	: <i>Global Warming Potential</i>
IPAL	: Instalasi Pengolahan Air Limbah
IPCC	: <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	: <i>International Organization for Standardization</i>
KK	: Kepala Keluarga
KLH	: Kementerian Lingkungan Hidup
KSM	: Kelompok Swadaya Masyarakat
LCA	: <i>Life Cycle Assessment</i>
LCIA	: <i>Life Cycle Impact Assessment</i>
LDPE	: <i>Low Density Polyethylene</i>
MRF	: <i>Material Recovery Facility</i>
MSW	: <i>Municipal Solid Waste</i>
PDRB	: Produk Domestik Regional Bruto
PE	: <i>PolyEthelene</i>
Perda	: Peraturan Daerah
Perwal	: Peraturan Walikota
PLH	: Pendidikan Lingkungan Hidup
PPLH	: Pejabat Pengawas Lingkungan Hidup.
PPLS	: Pendapatan Program Perlindungan Sosial
RT	: Rumah Tangga
SA	: <i>Stakeholder Analysis</i>
Satpol PP	: Satuan Polisi Pamong Praja
SNI	: Standar Nasional Indonesia
SSK	: Strategi Sanitasi Kota
TPA	: Tempat Pengolahan Akhir
TPS	: Tempat Penampungan Sementara
TPST	: Tempat Pengolahan Sampah Terpadu
TTU	: Tempat-Tempat Umum
UPTD	: Unit Pelaksana Teknis Dinas
UU	: Undang-Undang
XOC	: <i>Xenobiotic Organic Compound</i>

DAFTAR ISTILAH

- B3** : Zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain.
- Combustible Waste** : Sampah yang dapat terbakar.
- Combustion Waste to Energy** : Pengelolaan sampah menjadi energi.
- Controlled Landfill** : TPA sampah yang dalam pemilihan lokasi maupun pengoperasiannya sudah mulai memperhatikan Syarat Teknis (SK-SNI) mengenai TPA sampah. Sampah ditimbun dalam suatu TPA Sampah yang sebelumnya telah dipersiapkan secara teratur, dibuat barisan dan lapisan (SEL) setiap harinya dan dalam kurun waktu tertentu timbunan sampah tersebut diratakan dipadatkan oleh alat berat seperti Buldozer maupun Track Loader dan setelah rata dan padat timbunan sampah lalu ditutup oleh tanah, pada control landfill timbunan sampah tidak ditutup setiap hari, biasanya lima hari sekali atau seminggu sekali.
- Dioxin** : Nama kelompok senyawa kimia beracun yang terbentuk sebagai hasil pembakaran sampah dan bahan bakar. Merupakan hasil sampingan proses industri yang terbentuk oleh pembakaran senyawa kimia yang mengandung Chlorine. 95% dioksin yang ada di lingkungan berasal dari pembakaran sampah yang telah terchlorine pada industri-industri pembuat paper dan pulp mills, PVC (*Polyvinyl Clorida*) plastics, PCB yang menggunakan Ferrycloride ($FeCl_3$), pestisida dan industri kimia.
- Ecological Footprints** : Alat ukur yang mengkaji tingkat konsumsi manusia dan dampaknya terhadap lingkungan.
- Emissions** : Zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar.
- Extended Producer Responsibility** : Perluasan tanggung jawab produsen - Konsep yang didesain untuk mengintegrasikan biaya-biaya lingkungan kedalam proses produksi suatu barang sampai produk ini tidak dapat dipakai lagi, sehingga biaya lingkungan menjadi komponen harga pasar produk tersebut.
- From Cradle to Grave** : Pengambilan bahan baku hingga produksi, penggunaan dan pembuangan.
- Gas Rumah Kaca** : Sejumlah gas yang terdapat di atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca (CO_2 , CH_4 , N_2O , HCFC, CFC, serta uap air (H_2O)).
- Global Warming Potential** : Sebuah nilai yang membandingkan potensi gas rumah kaca sebagai penyerap dan penahan sinar matahari untuk memanaskan bumi, dibandingkan dengan potensi karbon dioksida.
- Goal and Scope Definition** : Tahapan pertama dalam LCA, yang merupakan penentuan tujuan dan ruang lingkup/cakupan penilaian.
- Incinerator** : Metode penghancuran limbah melalui pembakaran dengan suhu tertentu dan dalam suatu sistem yang terkontrol serta terisolir dari lingkungan sekitarnya.
- Interpretation** : Interpretasi hasil perhitungan yang digunakan untuk menilai hubungan antara *life cycle*

inventory dan life cycle impact assessment.

- Inventory** : Fase penilaian siklus hidup yang melibatkan kompilasi dan kuantifikasi input dan output untuk produk sepanjang siklus hidupnya didalam batasan (sistem produk) yang ditentukan.
- Life Cycle Assessment** : Suatu alat yang digunakan untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan dari suatu produk, proses atau aktivitas selama seluruh siklus hidup dengan mengukur penggunaan sumber daya (“input” seperti energi, bahan baku, air) dan emisi lingkungan (“output” untuk udara, air dan tanah) yang berkaitan dengan sistem yang sedang dievaluasi.
- Life Cycle Impact Assessment** : Pengelompokkan dan penilaian mengenai efek yang ditimbulkan terhadap lingkungan berdasarkan data-data yang diperoleh pada tahapan *life cycle inventory*.
- Landfill** : Sebuah area yang menjadi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah.
- Leachate** : Larutan yang terjadi akibat bercampurnya air limpasan hujan (baik melalui proses infiltrasi maupun proses perlokasi) dengan sampah yang telah membusuk dan mengandung zat tersuspensi yang sangat halus serta mikroba *pathogen*.
- Limbah** : Sisa suatu usaha dan/atau kegiatan.
- Limbah B3** : Sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3.
- Open Dumping** : Membuang sampah pada suatu legokan atau cekungan tanpa menggunakan tanah sebagai penutup sampah (tanpa ada perlakuan apapun).
- Pelet** : Hasil akhir/produk dari proses daur ulang sampah plastik.
- Recycling** : Proses untuk menjadikan suatu bahan bekas menjadi bahan baru dengan tujuan mencegah adanya sampah yang sebenarnya dapat menjadi sesuatu yang berguna, mengurangi penggunaan bahan baku yang baru, mengurangi penggunaan energi, mengurangi polusi, kerusakan lahan, dan emisi gas rumah kaca jika dibandingkan dengan proses pembuatan barang baru.
- Reduce** : Upaya mengurangi volume sampah.
- Reuse** : Upaya menggunakan kembali sampah tanpa perubahan bentuk untuk kegiatan lain yang bermanfaat.
- Sampah** : Sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat.
- Sampah B3** : Sisa kegiatan sehari-hari manusia yang mengandung B3.
- Sanitary Landfill** : Sistem pembuangan akhir sampah yang dilakukan dengan cara sampah ditimbun di TPA sampah yang sudah disiapkan sebelumnya dan telah memenuhi syarat teknis, setelah ditimbun lalu dipadatkan dengan menggunakan alat berat seperti buldozer maupun track loader, kemudian ditutup dengan tanah sebagai lapisan penutup setiap hari pada setiap akhir kegiatan. Hal ini dilakukan terus menerus secara berlapis-lapis sesuai rencana yang telah ditetapkan.
- Skenario based modelling** : Merupakan permodelan sistem yang dilakukan dari sudut pandang pengguna.
- Unit fungsi** : Satuan ukuran yang digunakan untuk menentukan besaran tiap unit yang dinilai.
- Valorisasi** : Manfaat atau nilai tambah produk yang dihasilkan pada suatu proses
- Virgin material** : Bahan baku asli.

ABSTRAK

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) tidak hanya dihasilkan dari sektor industri. Tetapi kenyataannya, aktifitas rumah tangga juga menjadi salah satu sumber penghasil sampah B3. Permasalahan terletak dari belum adanya regulasi/rumusan operasional yang baku serta pola pembuangan sampah yang masih mencampur antara sampah domestik dengan B3 RT, sehingga berpotensi menimbulkan dampak terhadap kesehatan dan penurunan kualitas lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan skenario terbaik dalam pengelolaan sampah B3 RT dengan indikator dampak lingkungan adalah GWP.

Penelitian ini menggunakan pendekatan desain *Life Cycle Assessment* (LCA) sesuai ISO 14040:2006 dengan unit fungsi 150 kg sampah B3 RT. Kategori dampak (LCIA) yang diamati dibatasi pada pemanasan global dengan indikator emisi gas rumah kaca (GRK). Metode (LCIA) yang digunakan adalah IPCC 2007 GWP 100a V1.01 menggunakan *software* SimaPro *Version* 7.1.

Karakteristik sampah B3 RT di Kota Semarang terbagi menjadi 4 jenis, yaitu: golongan korosif (1,9%)(1,7%), mudah terbakar/meledak (5,8%)(11,4%), beracun (17,4%)(41,0%), dan menyebabkan infeksi (74,9%)(45,9%). Sedangkan, timbulan sampah B3 RT di Kota Semarang adalah 0,01 kg/orang/hari (5,1% MSW) atau 0,059 l/orang/hr (3,9% MSW). Perkiraan timbulan sampah B3 RT di Kota Semarang di tahun 2014 mencapai 16,003 ton/hari atau 94,415 m³/hari (persamaan linear: $y=1,278x+82,00$ (berdasarkan volume), $y=0,216x+13,89$ (berdasarkan berat)).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daur ulang sampah B3 RT pada skenario 2 dengan pemilahan di unit TPST, merupakan skenario terbaik berdasarkan pendekatan LCA. Dampak emisi GRK yang dilepaskan ke lingkungan 5.266,72 ton CO₂ eq/tahun, atau skenario ini dapat menurunkan emisi GRK sebesar 14,59% dari kondisi tanpa pengelolaan.

Kata Kunci : Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Rumah Tangga (B3 RT), Gas Rumah Kaca (GRK), Global Warming Potential (GWP), *Life Cycle Assessment* (LCA)

ABSTRACT

Hazardous and toxic waste are not only produced by industry, but also by household. Unfortunately, no established regulation and standard operational procedure was available for handling Household Toxic and Hazardous Waste (HTHW). Most of HTHW are currently mixed with domestic waste. So that, it can impact human health and environmental quality. The research was aimed to produce the most effective and efficient model of HTHW management taking into account the impact on global warming

This research used Life Cycle Assessment (LCA) approach according to ISO 14040:2006 by using 150 kg of HTHW as a functional unit. Observation of impacts was limited to GHG emission. The LCIA method used was IPCC 2007. All the computation was done using Simapro program version 7.1.

The result show, characteristic of HTHW in Semarang was consist of corrosive (1.9%)(1.7%), ignitable/reactive (5.8%)(11.4%), toxic (17.4%)(41.0%), and infectious (74.9%)(45.9%). While the HTHW generation in Semarang City is 0.01 kg/person/day (5.1% MSW) or 0.0591 l/person/day (3.9% MSW). Estimated HTHW generation in 2014 reach 16.003 tons/day or 94.415 m³/day (linear equations: $y=1.278x+82.00$ (based on volume), $y=0.216x+13.89$ (based on weight)).

Scenario 2 with recycling HTHW is the best scenario based on the LCA approach. The impact of greenhouse gases emissions is only about 5.266,72 ton CO₂ eq/year release to environment. This scenario can reduce the GHG impact of 14,59% compare with existing condition.

Keywords : Household Toxic and Hazardous Waste (HTHW), Greenhouse Gas (GHG) Emissions, Global Warming, Life Cycle Assessment (LCA), ISO 14040 : 2006.

RINGKASAN

A. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan masyarakat akan berimplikasi pada produksi sampah yang dihasilkan, tidak terkecuali sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun atau yang lebih dikenal dengan B3. Sektor industri dianggap sebagai sumber penghasil B3, tetapi kenyataannya aktifitas rumah tangga juga menjadi salah satu sumber penghasil sampah B3. Pembuangan sampah bahan berbahaya dan beracun rumah tangga (B3 RT) dalam pemukiman hanya 3,9% dari total sampah domestik, tetapi karena populasi penduduk yang terus meningkat dan tidak ada penanganan khusus, maka akan menimbulkan bahaya yang serius terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan skenario terbaik dalam pengelolaan sampah B3 RT dengan indikator dampak lingkungan adalah GWP.

Mengingat potensi dampak negatif sampah B3 RT terhadap kesehatan dan penurunan kualitas lingkungan, maka upaya pengelolaan sampah B3 RT sudah seharusnya mulai dilakukan dengan baik, oleh karena itu diperlukan pendekatan/strategi untuk mengelola sampah B3 RT tersebut. Pendekatan yang digunakan adalah *Life Cycle Assessment (LCA)*. LCA merupakan pendekatan yang sistematis untuk mengidentifikasi, mengukur dan menilai dampak lingkungan dari seluruh siklus hidup pada proses yang sedang dievaluasi. Pendekatan LCA dapat diterapkan dalam merencanakan sistem pengelolaan sampah, tidak terkecuali sampah B3 RT. Penggunaan pendekatan LCA memberikan keuntungan untuk menghasilkan strategi (skenario) yang paling efektif dalam mengelola sampah B3 RT dengan mempertimbangkan dampak pada lingkungan sehingga kelestarian lingkungan dapat tercapai.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian terbagi menjadi 4 tahapan studi, meliputi: penentuan skenario yang merupakan sebuah hipotesis, melakukan sampling timbulan dan karakteristik sampah B3 RT, LCA berdasarkan ISO 14040:2006, serta analisis komparasi menggunakan *software* SimaPro 7.1 sehingga dihasilkan skenario terbaik.

Perhitungan jumlah sampel minimal untuk Kota Semarang adalah 400 KK, terbagi atas 109 KK untuk Kecamatan Pedurungan (strata ekonomi atas), 129 KK untuk Kecamatan Semarang Barat (strata ekonomi menengah), 77 KK untuk Kecamatan Semarang Utara (strata ekonomi bawah), dan 85 KK untuk Kecamatan Banyumanik

(topografi wilayah dataran tinggi). Perhitungan timbulan sampah B3 RT mengacu pada SNI 19-3694-1994 dengan pengambilan sampel dilakukan selama 8 hari berturut-turut per kecamatan, sedangkan identifikasi karakteristik/komposisi B3 RT berdasarkan lampiran SNI 19-2454-2002.

Analisis tahapan LCA meliputi penentuan tujuan dan ruang lingkup, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) dengan dampak GWP (indikator emisi GRK) menggunakan metode IPCC 2007 GWP 100a V1.01, dan yang terakhir adalah interpretasi hasil LCA. Jumlah unit fungsi yang di analisis dalam LCA adalah 150 kg sampah B3 RT yang terkelola.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Sampah B3 RT

Karakteristik sampah B3 RT di Kota Semarang terbagi menjadi 4 jenis, yaitu : golongan korosif (1,9%)(1,7%), mudah terbakar/meledak (5,8%)(11,4%), beracun (17,4%)(41,0%), dan menyebabkan infeksi (74,9%)(45,9%).

Dominasi karakteristik sampah B3 RT berdasarkan perhitungan skala berat dan volume adalah golongan “infeksius” dengan persentase (79%, 45%). Berdasarkan hasil sampling tersebut tentunya perlu ada perhatian serius untuk sampah B3 RT golongan “infeksius” untuk dikelola, karena belum tertera/tercantum dalam regulasi yang ada, termasuk dalam SNI 19-2454-2002, sehingga perlu adanya revisi terhadap SNI tersebut. Hal tersebut didasari atas dasar dampak yang akan ditimbulkan terhadap kesehatan (penyebaran infeksi) dan penurunan kualitas lingkungan. Dasar ini juga diperkuat berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Delgado et al (2007) dan Jin et al (2006).

Hasil sampling menggunakan analisa statistik ANOVA dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$) menunjukkan perbedaan karakteristik sampah B3 RT berdasarkan strata ekonomi dengan nilai *p-value* 0,001 (*p-value*<0,05). Uji tersebut dipertegas dengan uji Pos Hoc yang menyatakan beda dari keempat karakteristik B3 RT tersebut. Hasil menunjukkan, karakteristik B3 RT infeksius menunjukkan beda yang sangat signifikan berdasarkan strata ekonomi dengan nilai *p-value* 0,001.

2. Timbulan Sampah B3 RT

Timbulan sampah B3 RT di Kota Semarang adalah 0,01 kg/orang/hari (5,1% MSW) atau 0,059 l/orang/hr (3,9% MSW). Perkiraan timbulan sampah B3 RT di Kota Semarang di tahun 2014 mencapai 16,003 ton/hari atau 94,415 m³/hari. Hasil proyeksi

5 tahun ke depan (2019) diperkirakan mencapai minimal 17,1 ton/hari atau 101 m³/hari. Bahkan tren tersebut akan terus meningkat setiap tahunnya hingga mencapai 18,5 ton/hari atau 109,4 m³/hari di tahun 2025 (persamaan linear: $y=1,278x+82,00$ (berdasarkan volume), $y=0,216x+13,89$ (berdasarkan berat)).

Perbedaan secara deskriptif ditunjukkan berdasarkan uji ANOVA untuk skala berat dan volume dengan *p-value* masing-masing 0,001 dan 0,015. Sehingga hasil tersebut menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan (*p-value* <0,05) antara timbulan sampah B3 RT berdasarkan strata ekonomi di Kota Semarang.

Berdasarkan hasil penelitian masih lebih rendah dengan penelitian yang dilakukan di Tehran (Iran) yang dilakukan oleh Ziaee et al (2012), hasil penelitiannya menunjukkan persentase sampah B3 RT di Kota Tehran (Iran) adalah 10% dari MSW. Penelitian lain masih menunjukkan persentase lebih rendah, sebagai contoh penelitian di Massachusetts, USA (4,0%), Mexicali (3,7%), Morelia, Meksiko (1,6%), Greenland (1,2%), Cuitzeo, Basin, Meksiko (1,01%), Karnataka, India (0,9%), Mekong Delta City, Vietnam (0,2%), Thesaloniki, Yunani (0,06%), dan Hangzhou, China (0,05%). Hal tersebut menandakan keragaman tingkat timbulan sampah B3 RT di setiap negara.

Penelitian mengenai timbulan sampah B3 RT hanya dipaparkan mengenai timbulan sampah B3 RT berdasarkan skala berat, belum menyentuh timbulan sampah B3 RT berdasarkan skala volume, sehingga tidak dapat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Padahal seharusnya jika seorang *planner* akan merancang sistem pengelolaan sampah B3 RT, setidaknya harus mengetahui timbulan sampah B3 RT berdasarkan skala volume. Hanya pada penelitian ini yang mampu menghitung timbulan sampah B3 RT berdasarkan skala volume sebagai acuan untuk kota-kota lainnya pada negara berkembang seperti Indonesia.

3. Penentuan Model Skenario Terbaik Dalam Pengelolaan Sampah B3 RT

Berdasarkan 6 skenario yang telah dibuat dan dianalisis menggunakan metode IPCC 2007 GWP 100a V1.01, IPCC 2006 (incinerator) dan TDEP's *Guidlines*, hasil menunjukkan bahwa urutan skenario yang menunjukkan dampak emisi GRK tertinggi sampai terendah adalah sebagai berikut : skenario 3, skenario 5, skenario 1, skenario 2, skenario 6, skenario 4 dan yang terakhir skenario 2 dengan pemisahan di unit TPST. Artinya dampak emisi GRK tertinggi ditunjukkan pada skenario 3, dan emisi GRK terendah ditunjukkan pada skenario 2 dengan pemisahan sampah B3 RT di unit TPST.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pengolahan sampah B3 RT di industri daur ulang memberikan dampak emisi GRK lebih rendah dibandingkan dengan hanya proses tunggal berupa *combustion* di incinerator dan proses pengolahan di industri pengolahan limbah B3. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa proses pengolahan dengan incinerator menyumbangkan dampak emisi GRK yang cukup signifikan. Diketahui bahwa, rata-rata emisi GRK pada proses pembakaran di incinerator sebesar 66-75% ton CO₂ eq/tahun.

Kekuatan dari penelitian adalah mampu menguraikan fenomena tersebut secara ilmiah. Banyak lembaga atau peneliti yang memberikan *statement* bahwa pengelolaan sampah dengan incinerator menyumbangkan emisi cukup tinggi terhadap lingkungan. Memang *statement* tersebut benar, apabila dilihat dari satu sisi saja yaitu pembakaran (*combustion*), tetapi banyak juga peneliti yang tidak melihat bahwa sebenarnya proses/pengelolaan sampah tersebut mempunyai dampak lain yang cukup besar. Dampak tersebut dapat dilihat dari fase sebelum proses atau ketika proses pengolahan yang ikut berkontribusi pada unit *life cycle-nya*. Kelebihan menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* adalah mampu mengkaji dampak lingkungan secara menyeluruh atau "*from cradle to grave*". Artinya tidak hanya sebatas output akhir yang dihasilkan, tetapi input berupa material (bahan baku) dan proses juga diikutsertakan dalam kajian dampak lingkungan.

Kegiatan daur ulang yang merupakan bagian dari skenario terbaik merupakan kegiatan yang sangat penting dalam praktek-praktek manajemen sampah. Daur ulang akan dikembalikan pada bahan baku semula untuk pasar yang dipilih menjadi produk-produk yang dapat digunakan kembali. Banyak keuntungan yang didapat dari daur ulang. Setidaknya melindungi sumber daya alam dan mengurangi dampak terhadap lingkungan hidup. Daur ulang dapat membantu memperkuat kapasitas *landfill*, dan mengurangi pencemaran air tanah.

Hasil penelitian ini dikuatkan dengan hasil penelitian sebelumnya terkait manfaat dari daur ulang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daur ulang dapat mencapai penghematan energi yang cukup signifikan, termasuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Hal tersebut diperkuat berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Finnveden & Ekvall (1998) di Swedia, Chen & Lin (2008) di Taipei (Taiwan), Liamsangan & Gheewala (2008) di Phuket (Thailand), Batool & Chuadhry (2009) di Lahore (Pakistan), dan King & Gutberlet (2013) di Ribeirao Pires (Brazil). Kelebihan daur ulang juga dapat menurunkan biaya ekonomi (*lower economic cost*) (Eriksson et al.,

2005), serta dapat berkontribusi dalam pelestarian sumber daya alam (Batool & Chuadhry, 2009).

4. Penentuan Skenario Terbaik Dalam Pengelolaan Sampah B3 RT

Dalam studi dijelaskan bahwa terdapat 3 ranah utama yaitu ranah A, B, dan C yang akan menjadi patokan dalam penentuan skenario terbaik. Ranah A yang merupakan bagian dari skenario 2, menunjukkan bahwa sebagian besar *stakeholder* memilih skenario tersebut, ditambah dengan dukungan responden sebesar 19,3% dan kriteria dampak emisi GRK yang ditimbulkan (5.266,72 ton CO₂ eq/tahun), sedangkan pada ranah B yang merupakan bagian dari skenario 1 hanya dipilih oleh 1 orang *stakeholder*, ditambah dukungan responden sebesar 25,0% dan kriteria dampak yang jauh lebih besar dibandingkan ranah A dan ranah C yaitu mencapai 6.911,18 ton CO₂ eq/tahun. Selanjutnya, pada ranah C yang merupakan bagian dari skenario 6 menunjukkan pilihan skenario yang paling populer dan banyak dipilih oleh responden dengan persentase 39,5% dengan kriteria dampak yang ditimbulkan sebesar 5.586,42 ton CO₂ eq/tahun. Meskipun menunjukkan dukungan responden lebih besar, hanya saja pada skenario tersebut tidak didukung dan bukan menjadi pilihan skenario terbaik dari para *stakeholder* dan dampak yang ditimbulkannya.

5. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas digunakan untuk mengevaluasi strategi yang mungkin dilakukan untuk mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan pengelolaan sampah B3 RT melalui skenario permodelan. Hasil analisis sensitivitas dengan menggunakan model terintegrasi di satu area (TPA) mampu menurunkan dampak emisi GRK menjadi 2.158,48 ton CO₂ eq/tahun. Artinya terdapat penurunan sebesar 183,41 ton CO₂ eq/tahun atau sebesar 3,48%, yang semula mencapai 2.341,81 ton CO₂ eq/tahun.

Analisis sensitivitas selanjutnya adalah dengan mengarahkan pemisahan sampah B3 RT di unit TPST bukan di RT. Upaya tersebut dapat menurunkan dampak emisi GRK hingga 658,49 ton CO₂ eq/tahun atau 11,59% yang semula mencapai hingga 3.000,38 ton CO₂ eq/tahun.

6. Tantangan dan Alternatif Skenario Pengelolaan Sampah B3 RT

Pengembangan model diarahkan dengan mengganti/substitusi penggunaan incinerator dengan sistem daur ulang untuk jenis B3 RT golongan infeksius. Sistem tersebut dapat mengurangi emisi GRK sebesar 2.354,51 ton CO₂ eq/tahun atau 52,34% dari penggunaan incinerator pada skenario 2 sebelumnya. Penelitian lain yang

diungkapkan oleh Deloitte (2011) di Inggris, menyatakan bahwa proses daur ulang popok bayi dapat mengurangi emisi GRK sebesar 71% dibandingkan pengelolaan berbasis *landfill* atau incinerator. Apabila dikorelasikan dengan skenario 2 dengan sistem pengelolaan sampah B3 RT menggunakan incinerator, ternyata daur ulang mampu menggantikan incinerator, karena daur ulang dapat menurunkan emisi GRK hingga 3.193,64 ton CO₂ eq/tahun atau tidak lebih dari 1.304,44 ton CO₂ eq/tahun yang dilepaskan ke lingkungan, tetapi teknologi daur ulang sampah B3 RT golongan bahan infeksius belum tersedia di Indonesia.

7. Usulan Skenario Pengelolaan Sampah B3 RT

Teknis pengelolaan sampah B3 RT yang diusulkan dan dijadikan model dalam penelitian adalah mengacu pada skenario 2 dengan pemisahan di unit TPST, yaitu proses pengelolaan sampah B3 RT dengan sistem daur ulang untuk jenis B3 RT logam, plastik, dan infeksius. Pemilihan skenario 2 menjadi usulan model karena ditentukan berdasarkan 3 hal, yakni kriteria dampak GWP (emisi GRK) yang ditimbulkan melalui metode LCA dan, dukungan dari para *stakeholder* serta dukungan dari responden/masyarakat di lokasi penelitian.

Salah satu hal yang cukup penting adalah program-program pengelolaan sampah kota harus disesuaikan dengan kondisi setempat agar berhasil, dan tidak mungkin dibuat sama dengan kota lainnya. Terutama program-program di negara-negara berkembang seharusnya tidak begitu saja mengikuti pola program yang telah berhasil dilakukan di negara-negara maju, mengingat perbedaan kondisi fisik, ekonomi, hukum dan budaya.

D. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

- a. Karakteristik sampah B3 RT di Kota Semarang terbagi menjadi 4 sifat, yaitu : golongan korosif, mudah terbakar/meledak, beracun dan infeksius. Proporsi tertinggi adalah golongan infeksius, selanjutnya beracun, mudah terbakar/meledak dan terakhir golongan korosif.
- b. Timbulan sampah B3 RT di Kota Semarang : 0,01 kg/orang/hr (5,1% MSW) atau 0,059 l/orang/hr (3,9% MSW).
- c. Kondisi pengelolaan sampah B3 RT di Kota Semarang belum ada, dan belum menjadi prioritas terkait fasilitas dan regulasi yang ada.

- d. Skenario pengelolaan sampah B3 RT yang baik dan *feasible* untuk diaplikasikan adalah skenario 2 dengan pemilahan sampah B3 RT di unit TPST. Skenario ini dapat menurunkan dampak emisi GRK sebesar 14,59% dibandingkan dengan kondisi tanpa pengelolaan.

2. Saran

- a. Perpaduan konsep LCA dan Stakeholder Analysis (SA) dapat menjadi pendekatan dalam merumuskan kebijakan terkait penyusunan skenario pengelolaan sampah B3 RT.
- b. Pemilahan sampah B3 RT dioptimalkan di unit TPST bukan di unit rumah tangga (penurunan hingga 658,49 ton CO₂ eq/tahun atau sekitar 11,59%).
- c. Peran dari masing-masing *stakeholder* :
- DKP Kota Semarang : Pelaksana teknis dan penyediaan sarana dan prasarana B3 RT.
 - BLH Kota Semarang: Pengawas dan pengendali (*controlling*) serta sosialisasi/penyuluhan B3 RT termasuk pendampingan di unit TPST.
 - Bappeda Kota Semarang sebagai "*policy maker*" (regulasi/kebijakan terkait perpanjangan Perda Persampahan (Perda No.6 Tahun 2012), sehingga regulasi dapat diakomodir melalui produk hukum turunannya seperti Perwal yang berisi Juklak dan Juknis pengelolaan sampah B3 RT yang sampai saat ini belum ada.
- d. Perlu ditambahkan kategori infeksius dalam klasifikasi sampah B3 RT yang tercantum dalam SNI 19-2454-2002.
- e. Tantangan ke depan Indonesia, sudah saatnya sampah B3 RT golongan bahan infeksius, seperti : pembalut dan popok bayi, dikelola dengan sistem daur ulang terkait kuantitas, dampak dan valorisasi produk.

SUMMARY

A. Introduction

The more the needs of the society, the more the waste was produced including the hazardous waste (HW) contained of dangerous and poisonous materials. Nowadays, industrial sector is to be the blame for the main producer of HW, but in fact household activity is also becoming one of the HW producers. HW disposal in the housing complex is relatively low, but high population and the absence of special handling cause serious danger for the environment and the human health to appear.

Considering the potential Household Toxic and Hazardous Waste (HTHW) toward the human health and the decreasing environment quality, the effort on HTHW management should be done better. Therefore, a certain strategy or approach is needed to manage the HTHW. The approach used is Life Cycle Assessment (LCA). LCA is a systematic approach to identify, to measure, and to assess environment effect from all life cycle on the evaluated process. LCA approach can be applied in planning waste management system, including HTHW. The use of LCA approach gives benefit to generate the most effective scenario in managing HTHW by considering the effect toward the environment to reach the nature preservation.

B. Research Method

The research flow chart was divided into 4 steps: scenario making, sampling the characteristic and the HTHW generation, LCA based in ISO 14040:2006, and comparative analyses using SimaPro 7.1 software.

The number of minimum sample measurement for Semarang City was 400 family, divided into 109 family in Pedurungan Sub-District (high economic level), 129 family for West Semarang Sub-District (medium economic level), 77 family for North Semarang Sub-District (low economic level), and 85 family for Banyumanik Sub-District (topography of high land zone). The measurement of generation HTHW refers to SNI 19-3694-1994 (National Standard of Indonesia). The characteristic or composition of HTHW identification was based on SNI 19-2454-2002 attachment.

The analyses stages of LCA in this study was the making of purpose and scope, Life Cycle Inventory (LCI), Life Cycle Impact Assessment (LCIA) with the effect of GWP (GHG emission indicator) using IPCC 2007 GWP 100a V1.01 method, and the last was the interpretation of LCA result. The number of function unit analyzed in LCA was 150 kg managed HTHW.

C. Result and Discussion

1. The characteristic of HTHW

The characteristic of HTHW in Semarang was consist of corrosive (1.9%)(1.7%), ignitable/reactive (5.8%)(11.4%), toxic (17.4%)(41.0%), and infectious (74.9%)(45.9%).

The domination characteristic of HTHW based on the measurement of weight and volume scale was infectious group with 79%, 45% percentage. From the sampling result there should be a serious concern to manage infectious group of HTHW. Until now, there is no stated regulation including in SNI 19-2454-2002. Revision is needed in that SNI. In this research, HTHW infectious group was included in the analyses based on the effect on health (infection spreading) that would be caused and the degrading of environment quality. This background was supported by the categorization conducted by Delgado et al., (2007) and Jin et al., (2006).

The sampling result using ANOVA with 95% significance level ($\alpha = 0.05$) showed the difference HTHW based on economic level with p-value 0.001 (p-value < 0.05). This test was clarified by Poc Hoc test stating the difference of the four HTHW characteristic. The result showed significant difference on infectious characteristic based on economic level with p-value 0.001.

2. Household Toxic and Hazardous Waste (HTHW) Generation

HTHW generation in Semarang City is 0.01 kg/person/day (5.1% MSW) or 0.0591 kg/person/day (3.9% MSW). Estimated HTHW generation in 2014 reach 16,003 tons/day or 94,415 m³/day. Projection result in the next 5 years (2019) is estimated to reach minimum 17.1 ton/day or 101 m³/day. More over this trend will increase by 18.5 ton/day each year or 109.4 m³/day in 2025 (linear equations : $y=1,278x+82,00$ (volume), $y=0,216x+13,89$ (weight)).

The descriptive difference was based on ANOVA test for weight and volume scale with p-value each 0.001 and 0.015. Therefore the result showed the significant difference (p-value < 0.05) between generations HTHW based on economic level in Semarang City.

The result of this research is lower than the research conducted in Tehran (Iran) by Ziaee et al., 2012. The result showed the HTHW percentage in Tehran (Iran) was 10% from MSW. While the other research sill showed lower percentage from this research. For example, the research in Massachusetts, USA (4.0%), Mexicali, Mexico (1.6%),

Greenland (1.2%), Cuitzeo, Basin, Mexico (1.01%), Karnataka, India (0.09%), Mekong Delta City, Vietnam (0.2%), Thesaloniki, Greece (0.06%), and Hangzhou, China (0.05%). It signed the various level of HTHW in each country.

The researches about generation HTHW presented only the generation HTHW based on the weight scale, not yet did it discuss the volume scale base. Therefore, the writer could not compare it with the previous research. In fact, when a writer would like to design a HTHW system, the generation HTHW based on the volume scale should have been found out. Only in this research did the writer measure the generation HTHW based on the volume scale as the reference for other cities in the developing country like Indonesia.

3. The best scenario model making in the management of HTHW

Based on the 6 scenarios made and analyzed using IPCC 2007 GWP 100a V1.01, IPCC 2006 (incinerator) and TDEP's Guidelines, the result showed that scenario order showing GWP effect from the biggest to the smallest respectively; scenario 3, scenario 5, scenario 1, scenario 2, scenario 6, scenario 4, and the last scenario 2 with the segregation in unit TPST (integrated waste disposal area). In other words, the highest GWP effect was shown in scenario 3, and the lowest GWP was shown in scenario 2 with the segregation HTHW in unit TPST.

The research result showed that HTHW management process in recycling industry gave lower GWP of environment effect compared with only single process of combustion in the incinerator and the management process in HW industrial. This result also showed that management process using incinerator contributed significant effect toward CO₂ release. It was figured out that the average of CO₂ release on the incinerator process was 66-75% ton CO₂ eq/year.

The strength of this research is the ability to analyze the phenomenon scientifically. Most institutions or researchers stated that waste management using incinerator contributed high emission toward the environment. The statement is true indeed if it is viewed from one side point of view that is combustion point, but a lot of researchers who did not see that in fact waste management has strong enough side effect. It can be seen from the previous process or when the management process was contributing the life-cycle unit. In this point, the benefit of using LCA method is able to study the environment effect from cradle to grave. In other words, it is not only the

final output resulted, but also the material input and the process included in the study of environment effect.

Recycling activity as a part of the best scenario is an important activity in the waste management practice. Recycling would be returned to the previous materials for the market selected to be reusable products. There are many benefits from the recycling. At least it protects natural sources and decreases the effect toward environment. Recycling can support landfill capacity, besides this activity can reduce well water pollution (Suyoto, 2004).

This research result is supported by the previous research result showing the same point related to the benefit of recycling. The research result shows that recycling can reach the significant energy saving including the reduce of greenhouse gas emission. It is supported by the research conducted by Finnveden and Ekvall (1998) in Sweden, Chen and Lin (2008) in Taipei (Taiwan), Liamsanguan and Gheewala (2008) in Phuket, Thailand, Batool and Chuadhry (2009) in Lahore (Pakistan), and King and Gutberlet (2013) in Riberiao Pires (Brazil). Moreover, recycling lower the economic cost (Eriksson et al., 2005), and can contribute in the preservation of natural resources (Batool and Chuadhry, 2009).

4. The best scenario selection section in HTHW management

In this study it was explained that there were 3 sections; A, B, and C which would be the reference in the best scenario selection. In section A as a part of scenario 2, it was shown that most expert and stakeholder chose this scenario plus respondent support 19.3% and GWP effect criteria caused (5,266.72 ton CO₂ eq/year). While, in section B as a part of scenario 1, only 1 stakeholder selected it, plus respondent support 25.0% and effect criteria contributed high enough GWP compared to section and section C that is 6,911.18 ton CO₂ eq/year. Furthermore, in section C as a part of scenario 6, it was shown that the most popular choice by the respondent with 39.5% of GWP effect was 5,586.42 ton CO₂ eq/year. Although showing higher respondent support, this scenario was not supported by the expert and stakeholder including the effect criteria caused.

5. Sensitivity analysis

A sensitivity analysis was carried out to evaluate the strategy possibly conducted to decrease the effect on the environment from the HTHW management process through the modeling scenario. The result showed that using integrated model in one

area (in the landfill) could lower the environment effect to GWP 2,158.48 ton CO₂ eq/year. In other words, there was 183.41 ton CO₂ eq/year or 3.48% decreasing, which was previously 2,341.81 ton CO₂ eq/year.

The next sensitivity analysis was the direction of HTHW segregation in TPST unit, not in the household. This effort could lower the environment effect of GWP 658.49 ton CO₂ eq/year or 11.59%, which previously was 3,000.38 ton CO₂ eq/year.

6. Challenge and Alternative Model of HTHW Management Scenario

The development of the model was leading to the incinerator substitution with recycling system for infectious group of HTHW type. This system would lower GWP effect by 2,354.51 ton CO₂ eq/year or 52.34% from the use of incinerator in the previous scenario 2. Other research by Deloitte (2011) in England, it was stated that the recycling of baby diapers could reduce 71% CO₂ emission compared with landfill base management or incinerator. If it was related with scenario 2 with HTHW management using incinerator, in fact that recycling could replace incinerator, because recycling could lower CO₂ emission to 3,193.64 ton CO₂ eq/year or not more than 1,304.44 ton CO₂ eq/year released to the environment.

7. The HTHW management scenario proposed

It referred scenario 2 to be the scenario proposed in this research. This selection of scenario 2 as a model was based on 3 points. They are the GWP effect criteria caused by LCA method and released CO₂ directly to the environment, support from the expert and the stakeholder; and support from the society in the research area.

One important point was to customize the waste management in each different city to make it succeed. Considering the different physical condition, economic level, law and culture, it was not proper to immediately adopt the program conducted in developed country.

D. Conclusion and Suggestion

1. Conclusion

- a. The largest characteristic of HTHW in Semarang is infectious, further toxic, ignitable/reactive, and corrosive.
- b. HTHW generation in Semarang City : 0.01 kg/person/day (5.1% MSW), 0.059 l/person/day (3.9% MSW).

- c. There is not yet HTHW management in Semarang since it was not the main priority.
- d. The feasible scenario of HTHW management to apply was scenario 2 with HTHW segregation in TPST unit (TPST – integrated waste management area). This scenario can reduce the GHG impact of 14.59%.

2. Suggestion

- a. Combining LCA dan Stakeholder Analysis (SA) approach to produce the best scenario HTHW management.
- b. HTHW segregation could be optimized the best in TPST unit, not in the house unit the decrease was 658.49 ton CO₂ eq/year or about 11.59%.
- c. The role of the stakeholders :
 - Office of Sanitary Service and Landscaping Semarang City: technical implementation and providing the facility for HTHW.
 - Environment Board Semarang City: controlling and HTHW training including the guidance in TPST unit.
 - Board of Regional Planning and Development as the policy maker (policy related to waste regulation (No. 2, year 2012). Therefore, regulation can be accommodated through the different law product like the major regulations contained of standard operational procedure of HTHW management which is not yet fixed until now.
- d. It is necessary to add infectious group in HTHW classification in SNI 19-2454-2002.
- e. Indonesia's future challenge is to realize that it is time to manage HTHW of infectious group like sanitary napkins and baby diapers using recycling system related with quantity, effect, and product valorization.