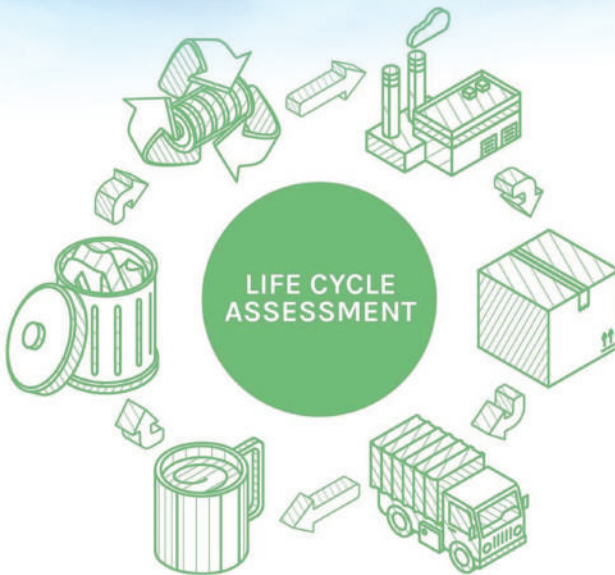


Dr. Hardianto, ST, MT
Dedy Kurnia Sunaryo, ST, MT
I Nyoman Sudiasa, SSi, Msi



Penilaian Daur Hidup ***(Life Cycle Assessment)***

Menggunakan Software SimaPro dan openLCA

Editor :
Achmad Afandi, S.Pd, M.Pd.

Penilaian Daur Hidup *(Life Cycle Assessment)*

Menggunakan Software SimaPro dan openLCA

Kegiatan manusia termasuk pengelolaan sampah berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Potensi dampak negatif tersebut bukan saja diakibatkan karena proses disuatu lingkungan, tetapi bisa saja diakibatkan karena ekstraksi bahan alam sebagai bahan baku, penggunaan produk itu sendiri, limbah yang dihasilkan setelah penggunaan suatu produk. Klasifikasi dampak yang dapat dihasilkannya pun beraneka macam, sehingga diperlukan metode yang komprehensif, diantaranya dengan menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA).

Buku petunjuk ini ditujukan sebagai acuan dalam menilai potensi dampak lingkungan dari studi kasus pengelolaan sampah pasar tradisional, dengan mengukur penggunaan sumber daya dan emisi lingkungan yang berkaitan dengan sistem yang sedang dievaluasi (cradle to grave). Materinya disusun dan dibahas secara sederhana agar mudah dipahami dan dapat diaplikasikan oleh kalangan praktisi, mahasiswa, akademisi, dan masyarakat umum. Setiap topik yang dibahas dalam buku ini tersusun secara sistematis dan ringkas, serta dilengkapi dengan contoh pengaplikasian pada software SimaPro dan openLCA, sehingga dapat dihasilkan skenario

Penilaian Daur Hidup (*Life Cycle Assessment*) Menggunakan *Software* SimaPro dan openLCA

Dr. Hardianto, ST. MT.
Dedy Kurnia Sunaryo, ST.MT.
I Nyoman Sudiasa, SSi. M.Si.



eureka
media aksara

PENERBIT CV. EUREKA MEDIA AKSARA

**Penilaian Daur Hidup (*Life Cycle Assessment*)
Menggunakan *Software* SimaPro dan openLCA**

Penulis : Dr. Hardianto, ST. MT.
Dedy Kurnia Sunaryo, ST.MT.
I Nyoman Sudiasa, SSi. M.Si.
Editor : Achmad Afandi, S.Pd., M.Pd.
Desain Sampul: Eri Setiawan
Tata Letak : Via Maria Ulfah
ISBN : 978-623-487-472-3

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA,**
DESEMBER 2022
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan
Bojongsari Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992
Surel : eurekamediaaksara@gmail.com
Cetakan Pertama : 2022

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian
atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan
dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam,
atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin
tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya milik Allah SWT, berkat limpahan dan rahmat-Nya, **Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) Menggunakan Software SimaPro dan openLCA** ini dapat diselesaikan.

Buku petunjuk ini ditujukan sebagai acuan dalam upaya menilai potensi dampak lingkungan dari sistem produk atau jasa pada semua tahap dalam siklus hidupnya, 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 (*cradle to grave*). Materinya disusun dan dibahas secara sederhana agar mudah dipahami dan dapat diaplikasikan kalangan praktisi, mahasiswa, akademisi, dan masyarakat umum. Setiap topik yang dibahas dalam buku ini tersusun secara sistematis dan ringkas, serta dilengkapi dengan contoh pengaplikasian pada software SimaPro versi 9.4.0.1 dan openLCA versi 1.11.0.

Tim penyusun menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan sehingga Buku Petunjuk ini dapat terselesaikan. Tim menyusun akan menerima saran dan masukan dari pengguna, agar Buku Petunjuk ini dapat diperbaiki dan disempurnakan lebih lanjut. Semoga Buku Petunjuk ini dapat memberikan manfaat, dan Tim Penyusun mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila ada kata-kata yang tidak berkenan.

Malang, November 2022

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB 1 PENGELOLAAN SAMPAH	1
A. Pengelolaan Sampah Pasar	1
B. Timbulan, Komposisi, dan Karakteristik Sampah.....	2
C. <i>Stakeholders</i> Pengelola Sampah	5
BAB 2 TAHAPAN LCA	7
A. Definisi <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA)	7
B. Tahapan <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA).....	9
C. Kebijakan Pengelolaan Lingkungan.....	14
D. Kebijakan Pemerintah Republik Indonesia	14
1. Peraturan Perundang-undangan	14
2. Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL).....	15
3. Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA)	15
BAB 3 PERANGKAT LUNAK	17
A. Perangkat Lunak SimaPro.....	18
B. Perangkat Lunak openLCA	20
BAB 4 TUTORIAL LCA DENGAN SimaPRO.....	25
A. Penggunaan Perangkat lunak SimaPro 9.4.0.1	25
1. Tutorial <i>Goal And Scope Definition</i>	26
2. Tutorial <i>Life Cycle Inventory</i> (LCI)	28
3. Tutorial <i>Life Cycle Impact Assessment</i> (LCIA)	33
4. Tutorial Intepretasi.....	37

BAB 5 TUTORIAL LCA DENGAN OpenLCA.....	38
A. Penggunaan Perangkat Lunak openLCA	
1.11.0.....	38
B. Tahapan Perangkat Lunak openLCA.....	38
DAFTAR PUSTAKA.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jumlah contoh timbunan sampah dari non perumahan [6]	5
Tabel 3. 1 Perangkat Lunak LCA [21]	17
Tabel 3. 2 Perbandingan Pemodelan LCA [21].....	22

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Tahapan dari LCA sesuai dengan ISO 14040 [8].	11
Gambar 4. 1	Tampilan Muka Awal SimaPro Version 9.4.0.1	25
Gambar 4. 2	Penentuan <i>goal</i> pada SimaPro 9.4.0.1	27
Gambar 4. 3	Penentuan Scope pada SimaPro 9.4.0.1 ...	28
Gambar 4. 4	Tampilan Menu dan Proses <i>Inventory</i>	29
Gambar 4. 5	Lanjutan Proses <i>Inventory</i>	29
Gambar 4. 6	Lanjutan Proses <i>Inventory</i>	30
Gambar 4. 7	Lanjutan Proses <i>Inventory</i>	30
Gambar 4. 8	Lanjutan Proses <i>Inventory</i>	31
Gambar 4. 9	Lanjutan Proses <i>Inventory</i>	31
Gambar 4. 10	Lanjutan Proses <i>Inventory</i>	31
Gambar 4. 11	Lanjutan Proses <i>Inventory</i>	32
Gambar 4. 12	Lanjutan Proses <i>Inventory</i>	32
Gambar 4. 13	Lanjutan Proses <i>Inventory</i>	32
Gambar 4. 14	Tahapan Proses <i>Life Cycle Impact Assessment</i>	34
Gambar 4. 15	Tampilan Grafik Perbandingan <i>Characterization</i>	34
Gambar 4. 16	Tampilan Grafik Perbandingan <i>Normalization</i>	35
Gambar 4. 17	Tampilan Grafik Perbandingan <i>Weighting</i>	35
Gambar 4. 18	Tampilan Grafik Perbandingan <i>Single Score</i>	36
Gambar 4. 19	Tampilan <i>Network</i> dari Dampak Lingkungan	36
Gambar 5. 1	Restore Database.....	39
Gambar 5. 2	Import LCIA	40

Gambar 5. 3.	Membuat Folder Baru	40
Gambar 5. 4.	Membuat Flow Baru.....	41
Gambar 5. 5	Nama, Tipe Flow, dan <i>Reference Flow</i> <i>Property</i>	41
Gambar 5. 6.	Membuat Folder Baru	42
Gambar 5. 7	Membuat <i>Process</i> Baru.....	43
Gambar 5. 8	Nama dan <i>Quantitative Reference</i> Proses Baru	43
Gambar 5. 9.	Proses baru di Jendela Navigasi dan Editor	44
Gambar 5. 10	Menambahkan Aliran Input dan Massa Material dalam Tab Input/Output.....	44
Gambar 5. 11	Membuat <i>product system</i> di <i>editor process</i>	45
Gambar 5. 12	Membuat <i>product system</i> baru	46
Gambar 5. 13	Model grafik dari contoh <i>product system</i>	46
Gambar 5. 14.	Membuat <i>project</i> baru	47
Gambar 5. 15.	Nama <i>project</i> baru.....	47
Gambar 5. 16	Menghitung <i>product system</i> dengan perhitungan Analisis	48
Gambar 5. 17	<i>Calculation Properties</i>	49
Gambar 5. 18	Pengaturan <i>Project</i>	50

BAB

1

PENGELOLAAN SAMPAH

A. Pengelolaan Sampah Pasar

Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat, yang terdiri dari sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga. Tahapan paradigma yang mendasar dalam pengelolaan sampah di Indonesia mengutamakan pada 2 (dua) tahapan yaitu pengurangan dan penanganan sampah. Tahap pengurangan sampah yaitu kegiatan pembatasan, penggunaan kembali, pendauran ulang atau dikenal dengan konsep 3R (*Reduce* (merubah pola hidup konsumtif), *Reuse* (menggunakan kembali bahan-bahan yang potensial menjadi sampah dan bahan *refill*) dan *Recycle* (mendaur ulang melalui pembuatan kompos, daur ulang, *waste to energy* dan lain-lain)). Tahap penanganan sampah yaitu pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pemrosesan akhir [1].

Sampah rumah tangga adalah sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik. Sampah sejenis sampah rumah tangga adalah sampah yang berasal dari kawasan komersial, kawasan industri,

kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lain [2]. Sampah pasar tradisional termasuk sampah sejenis sampah rumah tangga. Pasar Tradisional adalah pasar yang dibangun dan dikelola baik secara mandiri oleh Pemerintah Pusat, Pemerintah Daerah, pihak swasta maupun Badan Usaha Milik Daerah/Perusahaan Daerah atau dalam bentuk kerjasama antara Pemerintah Daerah dengan pihak swasta, berupa tempat usaha dalam bentuk toko, kios, los, dan tenda yang dimiliki/disewa oleh pedagang kecil atau menengah, kelompok masyarakat atau koperasi, dengan proses transaksi usaha dilakukan melalui proses tawar-menawar [3].

Penanganan sampah membantu mengurangi beban Tempat Penampungan Sementara (TPS) sampah di pasar tradisional, tetapi juga berpotensi menimbulkan dampak lingkungan. Pemrosesan sampah di TPS Pasar dan dampak lingkungan yang terkait menjadi perhatian, terutama peran Life Cycle Assessment (LCA). Alternatif didalam LCA hanya diukur dari sisi pengurangan dampak, padahal dalam kenyataannya ada pertimbangan lain yang mempengaruhi pemilihan alternatif terbaik. Perlu model yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dengan Analytic Network Process (ANP) agar memudahkan dalam pengambilan keputusan.

B. Timbulan, Komposisi, dan Karakteristik Sampah

Tingkat timbulan sampah dipengaruhi oleh perkembangan sosial, ekonomi, tingkat industrialisasi, dan iklim. Umumnya di kawasan ASEAN, semakin

besar kemakmuran di bidang ekonomi dan semakin tinggi persentase populasi di perkotaan, semakin besar jumlah sampah yang dihasilkan [4]. Sampling data dan analisis timbunan sampah sangat diperlukan untuk menentukan fasilitas setiap unit pengelolaan sampah, misalnya kapasitas pengelolaan di Tempat Penampungan Sementara (TPS), fasilitas peralatan, fasilitas kendaraan pengangkut dan rute angkutan, fasilitas daur ulang, luasan dan jenis Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Metode pengukuran timbunan sampah ada beberapa [5], antara lain yaitu:

1. *Load-count analysis*/analisis perhitungan beban, yaitu jumlah masing-masing volume sampah yang masuk ke TPA dihitung dengan mencatat: volume, berat, jenis angkutan dan sumber sampah, kemudian dihitung jumlah timbunan sampah kota selama periode tertentu.
2. *Weight-volume analysis*/analisis berat-volume, yaitu jumlah masing-masing volume sampah yang masuk ke TPA dihitung dengan mencatat volume dan berat sampah, kemudian dihitung jumlah timbunan sampah kota selama periode tertentu.
3. *Material-balance analysis*/analisis kesetimbangan bahan, *material-balance analysis* menghasilkan data lebih lengkap untuk sampah rumah tangga, industri dan lainnya dan juga diperlukan untuk program daur ulang.

Data dan analisis komposisi sampah yang sering dilakukan adalah berdasarkan komponennya, misalnya dinyatakan sebagai % berat (biasanya berat basah) atau % volume (basah) dari kertas, kayu, kulit,

karet, plastik, logam, kaca, kain, makanan, dan lain-lain. Komposisi sampah menggambarkan keanekaragaman aktifitas manusia. Komposisi sampah juga dipengaruhi beberapa faktor antara lain cuaca, frekuensi pengumpulan, musim, tingkat sosial ekonomi, kemasan produk.

Data dan analisis karakteristik sampah yang sering dilakukan berdasarkan sifat fisika, sifat kimia, dan sifat biologis. Pengetahuan akan sifat-sifat ini sangat penting untuk perencanaan dan pengelolaan sampah secara terpadu. Sampah diklasifikasikan dalam karakteristiknya meliputi karakteristik fisik, karakteristik kimia, serta karakteristik biologis [5].

Frekuensi pengambilan sampel untuk sampah sejenis sampah rumah tangga dapat dilakukan sebagai berikut [6]:

1. Pengambilan sampel dilakukan dalam 8 hari berturut-turut pada lokasi yang sama, dan dilaksanakan dalam 2 pertengahan musim tahun pengambilan contoh;
2. Jumlah unit masing-masing lokasi pengambilan sampel timbulan sampah yaitu:
 - a. Perumahan : jumlah jiwa dalam keluarga;
 - b. toko : jumlah petugas atau luas areal;
 - c. sekolah : jumlah murid dan guru;
 - d. pasar : luas pasar atau jumlah pedagang;
 - e. kantor : jumlah pegawai;
 - f. jalan : panjang jalan dalam meter;
 - g. hotel : jumlah tempat tidur;
 - h. restoran : jumlah kursi atau luas areal;
 - i. fasilitas umum lainnya : luas areal

Jumlah sampel timbulan sampah sejenis sampah rumah tangga dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Jumlah Contoh Timbulan Sampah Dari Non Perumahan [6]

NO.	LOKASI PENGAMBILAN CONTOH	KLASIFIKASI KOTA			1 KK
		KOTA METROPOLITAN (CONTOH)	KOTA BESAR (CONTOH)	KOTA SEDANG & KECIL (CONTOH)	
1.	Toko	3 – 30	10 – 13	5 – 10	3 – 5
2.	Sekolah	13 – 30	10 – 13	5 – 10	3 – 5
3.	Kantor	13 – 30	10 – 13	5 – 10	3 – 5
4.	Pasar	6 – 15	3 – 6	1 – 3	1
5.	Jalan	6 – 15	3 – 6	1 – 3	1

C. *Stakeholders* Pengelola Sampah

Peran Pemerintah Kota/Kabupaten dalam mengelola sampah sangatlah penting, dan pengelolaan sampah merupakan salah satu tugas utamanya sebagai bentuk pelayanan yang merupakan bagian dari infrastruktur Kota/Kabupaten. *Stakeholders* utama yang biasa terdapat dalam pengelolaan sampah di Indonesia antara lain adalah [7]:

1. Pengelola Kota/Kabupaten, yang dapat bertindak sebagai pengelola sampah.
2. Masyarakat atau institusi penghasil sampah yang menggantungkan penanganan sampahnya pada sistem yang berlaku di Kota/Kabupaten.

3. Institusi non-pemerintah yang bergerak dalam pengelolaan sampah, termasuk aktifitas daur ulang seperti swasta, Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), pengelola perumahan, yang aktivitasnya berkoordinasi dengan pengelola sampah Kota/Kabupaten.
4. Masyarakat yang bertindak secara individu dalam penanganan sampah, baik secara langsung/tidak langsung, misalnya kelompok pemulung yang memanfaatkan sampah sebagai sumber penghasil (sektor informal).

BAB

2

TAHAPAN LCA

A. Definisi *Life Cycle Assessment* (LCA)

Definisi *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah metode untuk mengevaluasi input, output, serta potensi dampak lingkungan pada daur hidup suatu sistem produk. LCA dapat digunakan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan baik yang berdampak positif maupun dampak negatif dari suatu proses atau produk, sehingga dapat menemukan peluang untuk pengembangan proses atau produk [8]. LCA merupakan metode yang lebih rinci dibandingkan dengan konsep *life cycle thinking* yang lebih umum dan bersifat kualitatif dalam mempertimbangkan implikasi *cradle-to-grave* pada berbagai kegiatan proses atau produk [9]. Penerapan konsep LCA dalam berbagai proses atau produk sesuai dengan konsep pembangunan berwawasan lingkungan atau dikenal dengan istilah *Sustainable Development Goals* (SDGs) terkait produksi dan konsumsi yang berkelanjutan. SDGs nomor 12 memiliki tujuan terkait peningkatan kesejahteraan melalui aktivitas ekonomi yang mengurangi penggunaan sumber daya alam (isu *depletion* sumber

daya alam) dan mendegradasi kerusakan lingkungan di sepanjang siklus hidup [10].

Beberapa negara belum banyak memanfaatkan potensi metode LCA untuk membantu dalam upaya pembangunan yang berkelanjutan. Kapasitas LCA dinilai masih kurang terkait rendahnya ketertarikan sektor industri dan pemerintah pada pengembangan LCA [11]. Metode LCA bertujuan untuk mengidentifikasi, menghitung keberlanjutan sumber daya alam, pembuangan pada lingkungan, serta mengevaluasi dan menerapkan kemungkinan perbaikan lingkungan. Metode LCA memungkinkan dilakukan perkiraan dampak lingkungan yang diakibatkan oleh suatu produk, proses atau aktivitas dengan melakukan identifikasi dan kuantifikasi energi serta material yang digunakan, baik limbah yang dilepaskan ke lingkungan selama siklus hidup produk, maupun dalam proses atau aktivitas operasional.

Penerapan Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan (PROPER) dalam pengelolaan lingkungan hidup di Indonesia menunjukkan efektifitas dalam mendorong industri dalam pengelolaan lingkungan [12]. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menambahkan kriteria baru dalam penilaian PROPER yaitu penilaian daur hidup atau dikenal dengan LCA. Penilaian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menghitung keberlanjutan penggunaan sumber daya alam, pembuangan beban pencemaran pada lingkungan serta mengevaluasi dan menerapkan kemungkinan perbaikan lingkungan [13]. Penilaian dampak lingkungan melalui penilaian daur hidup

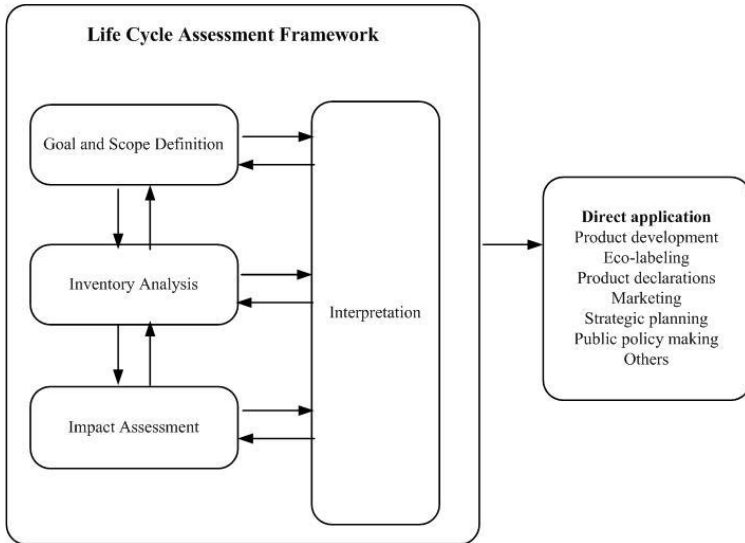
(LCA) disyaratkan secara teknis untuk memenuhi dokumen hijau PROPER Nasional. Dokumen Hijau adalah laporan yang berisi data dan bukti kinerja pengelolaan lingkungan hidup melebihi dari yang diwajibkan. Penanggung jawab usaha yang melebihi ketaatan diwajibkan untuk melaksanakan penilaian daur hidup [14]. Penetapan kriteria penilaian daur hidup (LCA) pada PROPER 2021 sebagai salah satu aspek penilaian *beyond compliance* bertujuan untuk mendorong industri-industri untuk meningkatkan pengelolaan lingkungan secara menyeluruh [15].

B. Tahapan *Life Cycle Assessment* (LCA)

Konsep dasar dari 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 outputnya 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. LCA berusaha untuk melakukan evaluasi untuk meminimumkan pengambilan material dari lingkungan dan juga meminimumkan limbah industri. LCA dapat diaplikasikan dalam perencanaan produksi,

pengembangan proses produksi agar menghasilkan yang lebih baik, inovasi produksi dan prosesnya, meningkatkan kegiatan Sistem Manajemen Lingkungan (SML), pemilihan produk atau proses serta pemilihan pemasok, informasi lingkungan untuk produk yang dihasilkan oleh kegiatan industri, penetapan strategi dalam industri, sampai pengambilan keputusan *stakeholder* dalam penentuan kebijakan di pemerintahan.

LCA adalah metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi dan meminimalkan dampak lingkungan dari produk industri, namun masih cukup baru dalam bidang pengelolaan sampah. LCA pada dasarnya perhitungan untuk semua arus massa dan emisi, serta penggunaan energi dan produksi dalam sistem manajemen limbah mulai dari hulu sampai proses hilir. Semua emisi dan sumber daya yang digunakan dikumpulkan ke dalam kategori dampak, seperti misalnya pemanasan global dan asidifikasi. LCA adalah sistem perhitungan komprehensif yang memungkinkan untuk mengevaluasi alternatif sesuai dengan kriteria lingkungan yang ditetapkan. Pemikiran *life cycle* harus diperkenalkan dalam semua pengambilan keputusan pengelolaan sampah [16]. Tahapan dari LCA sesuai dengan ISO 14040 dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Tahapan dari LCA sesuai dengan ISO 14040 [8].

Secara garis besar, pada tahapan LCA ada 4 tahap yakni tahap *goal and scope* untuk mengetahui tujuan serta ruang lingkup LCA, tahap *Life Cycle Inventory* (LCI) sebagai pengumpulan data, tahap *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) sebagai penilaian dari dampak lingkungan yang ditimbulkan, dan tahap interpretasi merupakan tahap terakhir dimana pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan serta rekomendasi dari analisis LCA tersebut. Empat tahapan pada LCA [8] adalah:

1. Tujuan dan Ruang Lingkup (*Goal Dan Scope Definition*)

Tujuan dari studi aplikasi LCA yang dimaksud dan alasan untuk melaksanakan studi harus dinyatakan secara jelas. Tujuan yang ditetapkan pada gilirannya mendefinisikan ruang

lingkup yang diperlukan untuk penelitian dalam rangka memenuhi tujuan tersebut. Batasan sistem juga harus ditentukan. Penentuan dalam ruang lingkup, seperti cakupan waktu, studi banding perbedaan antara sistem, unit fungsional dan pertimbangan metodologi harus diidentifikasi dan dilaporkan. Tujuan dari LCA dapat dianalisis dalam beberapa dimensi.

2. Analisis Inventori Siklus Hidup (*Life Cycle Inventory*)

Analisis inventori siklus hidup adalah fase ketika data dikumpulkan dan perhitungan yang dibuat dalam rangka untuk menentukan input dan output untuk produk sepanjang siklus hidupnya. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Semua proses yang terlibat dalam siklus hidup sistem produk harus diidentifikasi.
- b. Data pada setiap proses dikumpulkan. Data dapat diperoleh dari literatur ilmiah, file data yang digunakan oleh praktisi LCA, dari industri dan dari catatan pemerintah. Data yang digunakan sebaiknya bersifat kuantitatif, tetapi bila terlalu sulit untuk menemukan data kuantitatif, estimasi kualitatif dapat digunakan.
- c. Mendefinisikan kembali batas-batas sistem. Informasi dari diagram alur sistem dan data yang dikumpulkan. Batas perlu diatur untuk memisahkan sistem produk dari lingkungan, dari sistem produk lainnya dan dari proses yang tidak diperhitungkan dalam sistem produk. Input dan output dari semua proses

disesuaikan untuk berhubungan dengan unit fungsional.

3. Penilaian Dampak (*Life Cycle Impact Assessment*)

LCIA adalah fase LCA yang bertujuan untuk memahami dan mengevaluasi besarnya dan signifikansi dari potensi dampak lingkungan dari sistem produk.

Hal ini dibagi menjadi beberapa elemen, beberapa digambarkan sebagai wajib dalam LCIA dan beberapa sebagai opsional. Penilaian dampak pada LCA terdiri dari 3 (tiga) bagian antara lain:

- a. Klasifikasi dan karakterisasi. Tahap klasifikasi seperti konsumsi sumber daya atau emisi diklasifikasikan ke kategori dampak berdasarkan dampak lingkungan yang potensial. Tahap karakterisasi adalah kuantifikasi kontribusi terhadap dampak yang dipilih dari sistem produk.
- b. Normalisasi dan pembobotan. Normalisasi merupakan tahapan perhitungan tingkat kepentingan indikator hasil relatif terhadap informasi dari sumber yang tersedia. Tahapan ini akan menunjukkan data indikator dampak dengan kategori dampak dan kategori dampak dalam satuan waktu. Pembobotan merupakan tahapan dimana keseluruhan dampak yang telah dinilai akan dibandingkan dan disederhanakan dalam suatu basis ukuran yang sama.

4. Interpretasi (*Interpretation*)

Tahap interpretasi LCA melalui temuan dari analisis inventori dan penilaian dampak digabungkan bersama-sama untuk menghasilkan kesimpulan dan rekomendasi, konsisten dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian.

C. Kebijakan Pengelolaan Lingkungan

Penilaian Daur Hidup (LCA) berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) merupakan kompilasi dan evaluasi masukan, keluaran dan dampak lingkungan potensial dari sistem produk di seluruh daur hidupnya. LCA merupakan pendekatan dari hulu ke hilir atau *cradle to grave* untuk menilai suatu sistem produk secara kuantitatif [17].

D. Kebijakan Pemerintah Republik Indonesia

1. Peraturan Perundang-undangan

Penegakan hukum sebagaimana tercantum dalam Undang-Undang Pengelolaan Lingkungan Hidup diadakan berbagai perubahan untuk memudahkan penerapan ketentuan yang berkaitan dengan penegakan hukum lingkungan yaitu UU RI No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang merupakan revisi dari UU RI No.23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup. Perbedaan mendasar antara UU No.23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup dengan UU RI No. 32 Tahun 2009 adalah adanya penguatan yang terdapat dalam UU ini tentang prinsip-prinsip

perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang didasarkan pada tata kelola pemerintahan yang baik karena dalam setiap proses perumusan dan penerapan instrumen pencegahan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup serta penanggulangan dan penegakan hukum mewajibkan pengintegrasian aspek transparansi, partisipasi, akuntabilitas, dan keadilan [18].

2. Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL)

Analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL) adalah kajian mengenai dampak besar dan penting suatu usaha dan/atau kegiatan yang direncanakan pada lingkungan hidup yang diperlukan bagi proses pengambilan keputusan tentang penyelenggaraan usaha dan/atau kegiatan [18-19]. AMDAL merupakan kajian dampak besar dan penting terhadap lingkungan hidup, dibuat pada tahap perencanaan, dan digunakan untuk pengambilan keputusan. Hal-hal yang dikaji dalam proses AMDAL antara lain aspek fisik-kimia, ekologi, sosial-ekonomi, sosial-budaya, dan kesehatan masyarakat sebagai pelengkap studi kelayakan suatu rencana usaha dan/atau kegiatan.

3. Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA)

Buku Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA) yang disusun oleh Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Kementerian LHK diharapkan menjadi rujukan atau referensi dalam

menyusun laporan Penilaian Daur Hidup bagi entitas penyusun laporan khususnya bagi peserta PROPER untuk memastikan agar laporan yang diajukan sesuai dengan standar dan komunikatif.

Pedoman LCA ini dapat digunakan untuk menyusun kerangka laporan yang pragmatis, mengembangkan konsep laporan yang diharapkan dapat mendorong lebih banyak pelaku industri/usaha untuk mengomunikasikan potensi dampak lingkungan dari produk yang dihasilkan, mengembangkan sistem penilaian evaluasi laporan kajian LCA. Tahapan dalam pedoman LCA ini terdiri dari:

1. Penetapan ruang lingkup,
2. Metode pelaksanaan LCA,
3. Inventori daur hidup,
4. Pelaksanaan daur hidup,
5. Interpretasi daur hidup,
6. Kesimpulan dan rekomendasi.

Kementerian LHK mengeluarkan Peraturan Menteri No.1 Tahun 2021 terkait dengan PROPER dan termuat dalam peraturan ini yang dimaksud dengan Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup yang selanjutnya disebut PROPER adalah evaluasi kinerja penanggung jawab usaha dan/ atau kegiatan di bidang pengelolaan lingkungan hidup.

BAB 3

PERANGKAT LUNAK

Kebutuhan analisis LCA menggunakan perangkat lunak (*software*) menjadi semakin penting. Aplikasi LCA seringkali menggunakan perangkat lunak, dan sampai saat ini lebih dari 30 (tiga puluh) perangkat lunak LCA [20]. Kualitas perangkat lunak yang baik dapat dilihat berdasarkan struktur, *display of process*, transparansi, database, metode kalkulasi, serta metodologinya. Berikut adalah contoh beberapa perangkat lunak untuk menganalisis LCA.

Tabel 3. 1 Perangkat Lunak LCA [21]

<i>Tool</i>	<i>Developer</i>	<i>Approach</i>
AIST-LCA 4	<i>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan</i>	<i>Generic</i>
Athena	<i>Athena Sustainable Materials Institute, Canada</i>	<i>Building and construction</i>
BEES 4.0	<i>National Institute of Standards and Technology, USA</i>	<i>Building materials</i>
CMLCA 4.2	<i>Leiden University, Institute of Environmental Sciences (CML), Holland</i>	<i>Generic</i>
E ³ DATABASE	<i>Ludwig-BölkowSystemtechnik GmbH, Germany</i>	<i>Generic</i>

<i>Tool</i>	<i>Developer</i>	<i>Approach</i>
EARTHSTER 2 TURBO	<i>GreenDelta GmbH</i>	<i>Generic</i>
ECO-BAT 4.0	<i>Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud, Switzerland</i>	<i>Building and construction</i>
GaBi	<i>Pe-International</i>	<i>Generic</i>
GEMIS	<i>Oeko Institut, Germany</i>	<i>Generic</i>
LEGEP	<i>LEGEP Software GmbH, Germany</i>	<i>Generic and Building</i>
openLCA	<i>GreenDelta GmbH</i>	<i>Generic</i>
REGIS	<i>Sinum AG-EcoPerformance Systems</i>	<i>Generic</i>
SABENTO	<i>ifu Hamburg GmbH, Germany</i>	<i>Chemical</i>
SimaPro	<i>PRé-Consultants</i>	<i>Generic</i>
SULCA 4.2	<i>VTT Technical Research Centre of Finland</i>	<i>Generic and forest</i>
TEAM	<i>Ecobilan Pricewaterhouse Coopers</i>	<i>Generic</i>
TESPI	<i>ENEA, Italy</i>	<i>Generic</i>
UMBERTO	<i>ifu Hamburg GMBH</i>	<i>Generic</i>
USES-LCA 2.0	<i>Netherlands Center For Environmental Modeling</i>	<i>Terrestrial, freshwater, and marine ecosystems</i>

A. Perangkat Lunak SimaPro

Perangkat lunak SimaPro ini merupakan salah satu yang bisa digunakan dalam membantu analisis LCA. SimaPro dikembangkan oleh Pre Konsultan, didirikan pada tahun 1990, di Belanda. *PRé Consultants* menawarkan konsultasi global dan membantu dalam menilai, memperbaiki dan mengelola lingkungan, kinerja produk dan jasa dengan bantuan alat

profesional seperti SimaPro. Berdasarkan ISO 14040 series, perangkat lunak memungkinkan pengguna untuk memodelkan dan menganalisis siklus kehidupan yang kompleks secara sistematis dan transparan. SimaPro memiliki kelebihan dibandingkan perangkat lunak lainnya [22], antara lain perangkat ini lebih fleksibel, dapat digunakan secara multi-user-version sehingga dapat menginput data secara berkelompok, memiliki metode dampak yang bermacam-macam, dapat menginventarisasi data dengan jumlah banyak, data yang dihasilkan memiliki nilai transparansi yang sangat tinggi, dimana hasil interaktif analisis dapat melacak hasil lainnya kembali ke asal-usulnya, serta mudah terhubung dengan perangkat lain, salah satunya adalah *Analytic Hierarchy Process* (AHP). SimaPro terdapat 3 (tiga) versi antara lain:

1. SimaPro Compact: untuk mengatur tugas kompleks
2. SimaPro Analyst: untuk melakukan permodelan siklus hidup dan berisi fitur analisis yang canggih
3. SimaPro Developer: untuk untuk menciptakan alat penilaian siklus hidup yang berdedikasi dengan fitur diperpanjang

SimaPro 9.4.0.1 memiliki bermacam fitur unggulan yang dibutuhkan dalam LCA seperti analisis aspek lingkungan yang berasal dari produk maupun bidang jasa secara sistematis dan terkonsisten. Perangkat lunak awalnya adalah "SimaPro 7.3.3", direkomendasikan untuk perangkat lunak dapat melakukan pemodelan dan menganalisis siklus hidup

yang kompleks dari adanya unit produksi secara transparan dan tersistematis. Metode yang dapat digunakan dalam penilaian dampak yang terdapat pada perangkat lunak SimaPro 9.4.0.1, seperti ReCipe, CML-IA, EcoIndikator 99, Greenhouse gas protocol, USEtox, IPCC 2007, EPD, Impact 2002+, BEES, Ecological Footprint EDIP 2003, Ecological scarcity 2006, EPS 2000, dan lainnya. SimaPro menggunakan berbagai metode evaluasi yang akan mengklasifikasikan zat menurut efeknya terhadap dampak lingkungan seperti perubahan iklim, asidifikasi, eutrofikasi dan penipisan lapisan ozon.

B. Perangkat Lunak openLCA

openLCA merupakan perangkat lunak *open source* dan terkenal luas yang mudah digunakan dan memungkinkan pengguna untuk memahami semua tahapan dalam LCA. Perangkat lunak ini memberikan keuntungan kepada pengguna karena dapat menganalisis data dengan *database* dari sumber yang berbeda-beda, seperti halnya digunakan oleh perangkat lunak lainnya. openLCA sebelumnya dirancang untuk menghitung dampak lingkungan dari produk dan proses, tetapi sekarang dapat menambahkan aspek lain, seperti ekonomi.

Perangkat lunak openLCA memiliki pilihan terluas dari database LCI dan keberlanjutan yang relevan dan konsisten yang tersedia di seluruh dunia serta memiliki pengenalan perangkat lunak yang banyak fiturnya dan mutakhir secara teknis. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh GreenDelta sejak tahun

2006 dengan dukungan PE International, PRé Consultants dan UNEP. Perangkat lunak openLCA tersedia pada tingkatan yang berbeda-beda, seperti proses, sistem produk, proyek, dan *database* metode dampak. Perangkat lunak untuk penilaian dampak tersedia secara gratis, tetapi tidak disertakan secara *default*, dan keunggulannya dalam proses jaringan dan pemodelan grafis dapat dibuat secara otomatis atau manual. Perbedaan perangkat LCA berdasarkan pada 6 (enam) aspek berikut [23]:

1. Definisi produk dan siklus terkait kemudahan dan akurasi perangkat dalam menentukan produk atau jasa yang akan dinilai.
2. Metode LCA yang digunakan serta kemampuan pengguna dalam memilih metode sesuai dengan produk yang akan dinilai.
3. Jangkauan serta juaantitas database pada perangkat lunak.
4. Ketersediaan dan modifikasi database untuk digunakan oleh pengguna.
5. Bentuk atau layout tata letak grafis, dampak ekologis, hasil penilaian.
6. Informasi detail hasil LCIA.

Perbandingan perangkat lunak LCA dengan menggunakan metode penilaian dampak di SimaPro dan openLCA untuk menganalisis antara lain [24]:

1. SimaPro tidak hanya memberikan nilai numerik tetapi juga hasil tambahan dengan grafik berwarna yang menunjukkan proses produksi dan nilai dampak. Persentase dalam grafik SimaPro dihitung berdasarkan total dampak dibandingkan

dengan kategori dampak yang sama di setiap proses. openLCA menyajikan hasil penilaian dampak dengan nilai numerik tertentu berdasarkan metode yang digunakan.

2. SimaPro dan openLCA tidak hanya memberikan hasil penilaian dampak tetapi juga menunjukkan kontributor dampak dan proses apa yang menghasilkan hasil.
3. Hasil penilaian dampak berbeda antara SimaPro dan openLCA meskipun menggunakan input variabel, database, dan metode yang sama. Versi database yang digunakan berbeda antara SimaPro dan openLCA. Meskipun metode analisisnya sama, kemungkinan bahwa faktor konversi dan karakterisasi berbeda yang belum dapat kami tentukan karena perhitungan program perangkat lunak dijalankan dalam sistem tertutup (blackbox).
4. Kontribusi proses pada dampak terdapat hasil yang berbeda jauh antara SimaPro dan openLCA.

Analisis perbandingan perangkat lunak LCA dengan menggunakan kriteria sebagai berikut [21]:

Tabel 3. 2 Perbandingan Pemodelan LCA [21]

Aspek	SimaPro	openLCA
Grafis	<i>Sankey diagram</i>	<i>Flowpath and Sankey diagram</i>
Analisis Ketidakpastian	Monte Carlo, others	Monte Carlo
Perbandingan Hasil	✓	✓

Aspek	SimaPro	openLCA
<i>Database</i>	EcoInvent, U.S. Input/output, U.S. LCI, Dutch Input/output, Swiss Input/output, LCAfood, industry data v2, Japanese Input Output, IVAM	X
Pertukaran Informasi	Ya, antara SimaPro dan Pengguna EcoSpold	Ya, antara Ecospol atau ILCD
Laporan	Pelaporan grafis dari hasil atau ekspor ke excel	pelaporan grafis, tabel atau ekspor ke excel
Grafis	<i>Sankey diagram</i>	<i>Flowpath and Sankey diagram</i>
Analisis Ketidakpastian	Monte Carlo, others	Monte Carlo
Perbandingan Hasil	✓	✓
<i>Database</i>	EcoInvent, U.S. Input/output, U.S. LCI, Dutch Input/output, Swiss Input/output, LCAfood, industry data v2, Japanese Input Output, IVAM	X

Aspek	SimaPro	openLCA
Pertukaran Informasi	Ya, antara SimaPro dan Pengguna EcoSpold	Ya, antara Ecospol atau ILCD
Laporan	Pelaporan grafis dari hasil atau ekspor ke excel	pelaporan grafis, tabel atau ekspor ke excel

Buku pedoman ini menjelaskan perbedaan yang dapat ditemukan pada beberapa perangkat lunak LCA antara lain metode, kecepatan, fleksibilitas, dan informasi yang digunakan di setiap perangkat atau *system*. Analisis dampak lingkungan saat ini dapat dilakukan dengan lebih mudah menggunakan metode LCA. Tentunya setiap perangkat lunak memiliki kelebihan/kekurangan masing-masing. Metode LCA memberikan hasil analisis dampak lingkungan secara kuantitatif meskipun perbedaan beberapa faktor seperti jenis metode, proses, bahan mentah, lingkungan dapat mempengaruhi hasil analisis.

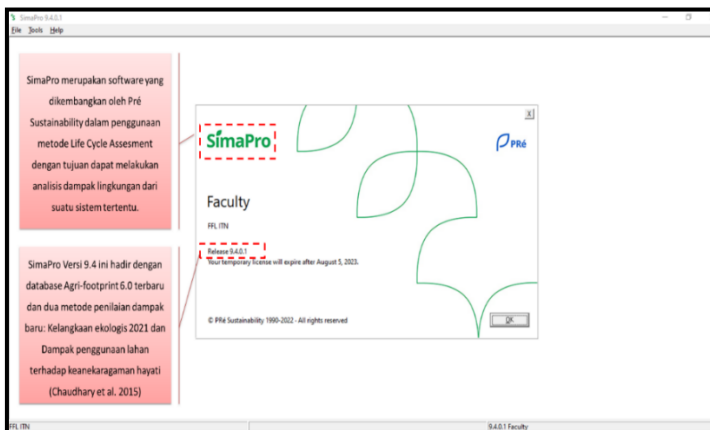
BAB 4

TUTORIAL LCA DENGAN SimaPRO

A. Penggunaan Perangkat lunak SimaPro 9.4.0.1

SimaPro 9.4.0.1 adalah perangkat lunak yang memiliki tujuan untuk menganalisis dan membandingkan lingkungan suatu produk, sehingga hasilnya akan menghitung input seperti kuantitas dan kualitas bahan baku dan menghasilkan output suatu nilai grafik.

Tahapan penggunaan perangkat adalah tampilan awal pada SimaPro 9.4.0.1 yang ditunjukkan pada Gambar 4.1:



**Gambar 4. 1 Tampilan Muka Awal SimaPro Version
9.4.0.1**

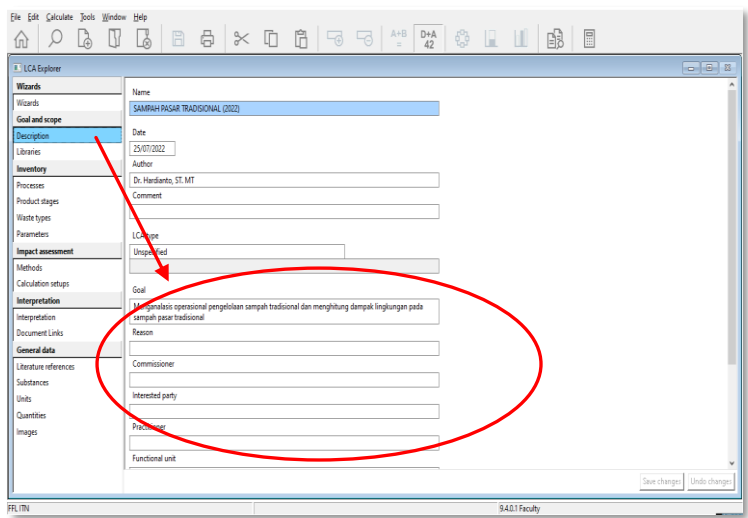
Perangkat lunak SimaPro ini membantu menganalisis aspek lingkungan dari produk maupun jasa secara sistematis dan konsisten. Metode LCA dilakukan melalui empat tahap yaitu *Goal And Scope*, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) dan Interpretasi. SimaPro menggunakan berbagai metode evaluasi yang akan mengklasifikasikan zat menurut efeknya terhadap dampak lingkungan. Terdapat beberapa tahapan pada SimaPro yakni:

1. Tutorial *Goal And Scope Definition*

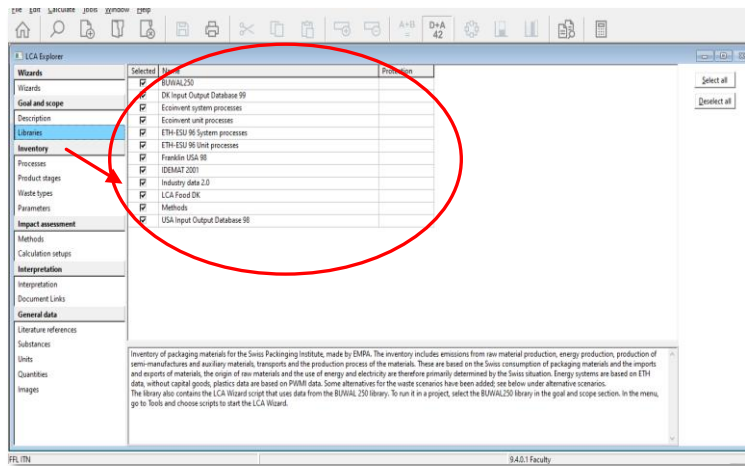
Tujuan penggunaan LCA dalam penelitian ini adalah menganalisis dampak lingkungan pengelolaan sampah pasar khususnya sampah pasar tradisional, serta opsi skenario usaha daur ulang sampah yang mempunyai dampak lingkungan terkecil. Pasar Tradisional biasanya dibagi dalam beberapa kelas [25-26].

Batasan penggunaan LCA dalam contoh aplikasi ini adalah unit fungsi yang digunakan dalam *Life Cycle Inventory* (LCI) yaitu timbunan sampah, komposisi sampah, serta karakteristik sampah pasar tradisional yang masuk ke TPS. Batasan yang dibuat pada tiap skenario menggunakan unit fungsi yang sama, yakni tonase/tahun [27]. Batasan satuan yang digunakan dalam penghitungan dampak di TPS adalah 1 kg/sekali pengelolaan sampah [28]. Dampak lingkungan yang dianalisis disesuaikan dengan inventori data dampak. Merupakan tahap pendefinisian dilakukannya LCA berupa

merumuskan tujuan, sistem yang dievaluasi, batasan, dan asumsi yang berhubungan dengan dampak di sepanjang siklus hidup yang akan dievaluasi. Tampilan perangkat lunak di menu *goal* and *scope* bisa dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Penentuan *goal* pada SimaPro 9.4.0.1



Gambar 4. 3 Penentuan Scope pada SimaPro 9.4.0.1

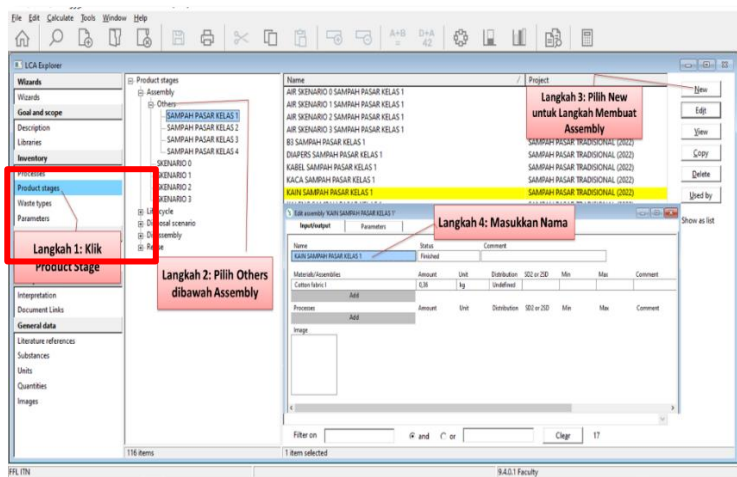
Sub menu ini dapat dipilih scope penelitian yang akan dilakukan, serta disesuaikan dengan penelitian dampak pengelolaan sampah yang akan dilakukan. Tahap scope penelitian yang dipilih adalah Ecoinvent database.

2. Tutorial *Life Cycle Inventory (LCI)*

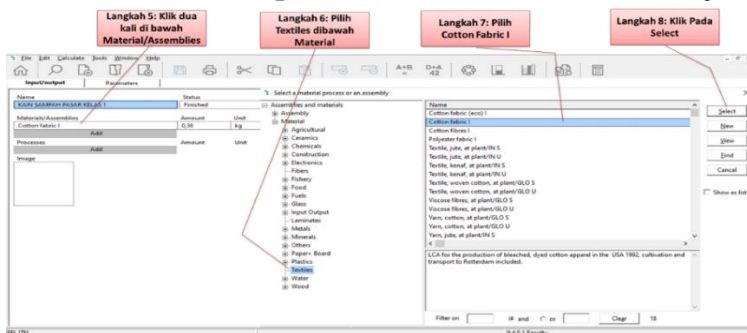
Analisis LCI adalah proses inventarisasi data berupa bahan dan energi yang digunakan pada saat proses masing-masing skenario pengelolaan sampah tradisional. Data-data yang diinventarisasi adalah:

- Bahan baku adalah sampah basah untuk proses komposting, dan sampah kering untuk daur ulang. Bahan baku dihitung berdasarkan timbulan dan komposisi sampah per kg.
- Bahan tambahan antara lain air untuk kegiatan pengomposan, bahan bakar untuk mesin

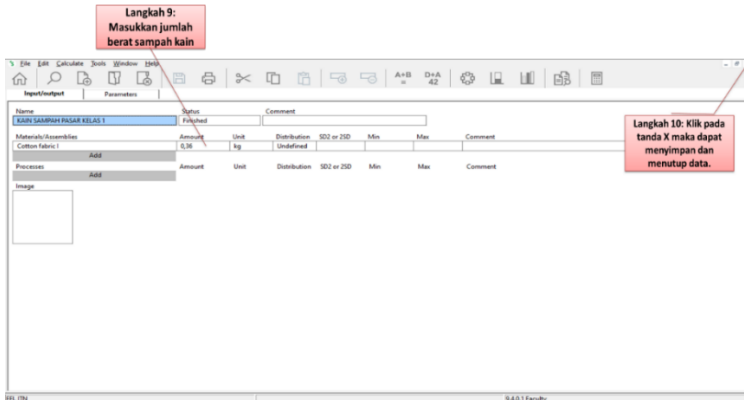
pencacah kompos, mesin pencacah plastik, listrik. Jenis air yang sesuai untuk proses pengomposan adalah *tapwater from surface water* dengan satuan liter. Mesin pencacah digunakan juga untuk pencacahan bahan baku kompos dan pencacahan plastik. Data hasil perhitungan tersebut, menjadi data yang akan dimasukkan ke dalam perangkat lunak SimaPro untuk inventarisasi data metode LCA.



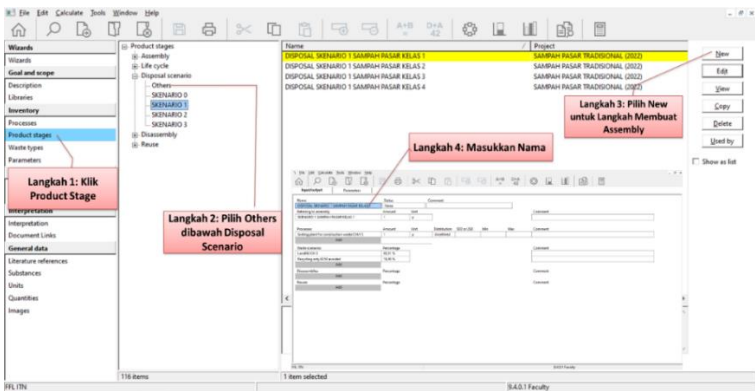
Gambar 4. 4 Tampilan Menu dan Proses *Inventory*



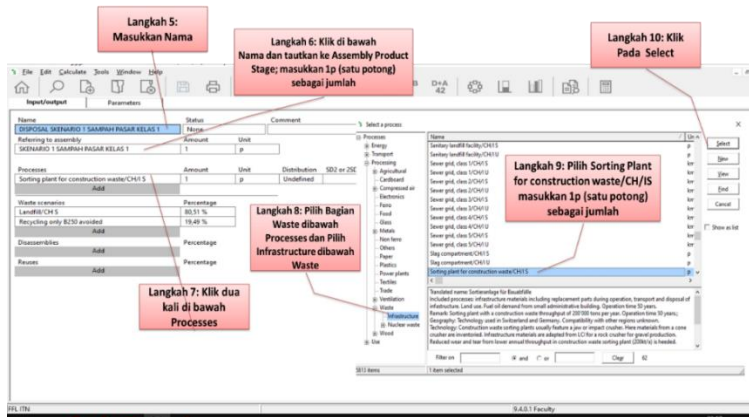
Gambar 4. 5 Lanjutan Proses *Inventory*



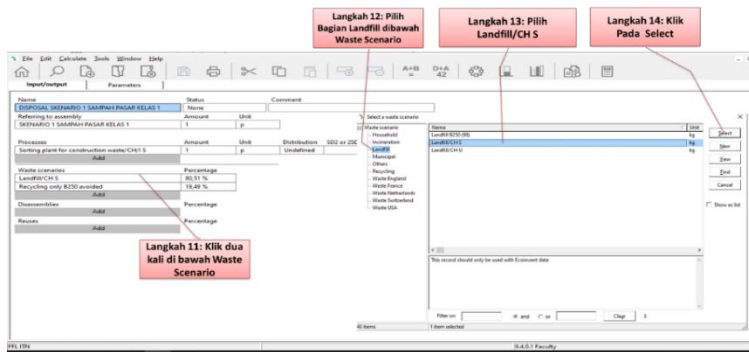
Gambar 4. 6 Lanjutan Proses Inventory



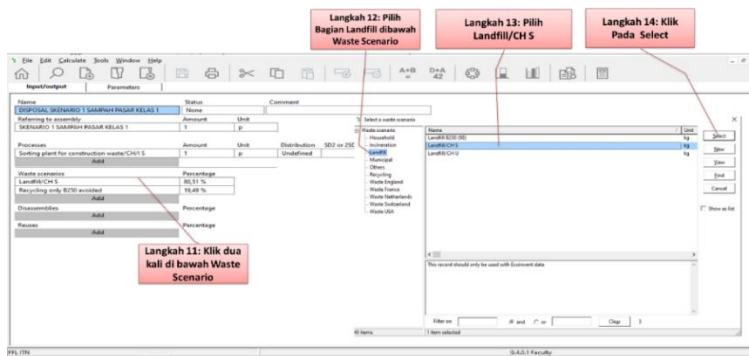
Gambar 4. 7 Lanjutan Proses Inventory



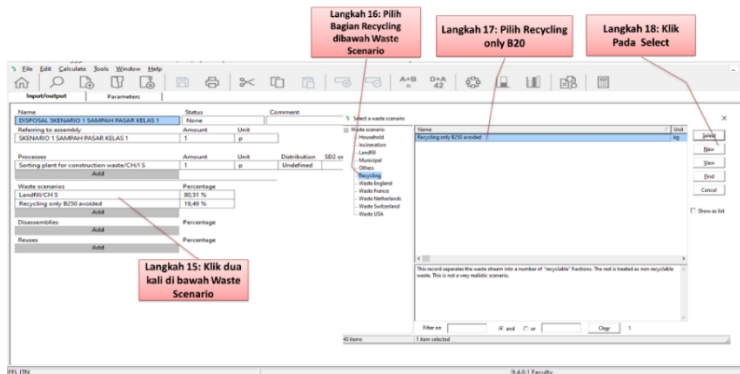
Gambar 4. 8 Lanjutan Proses *Inventory*



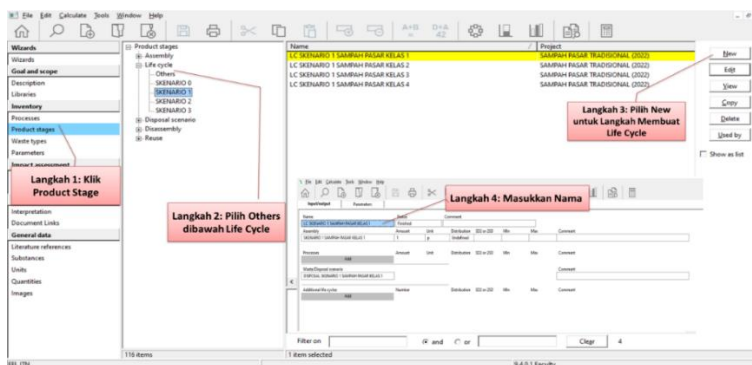
Gambar 4. 9 Lanjutan Proses *Inventory*



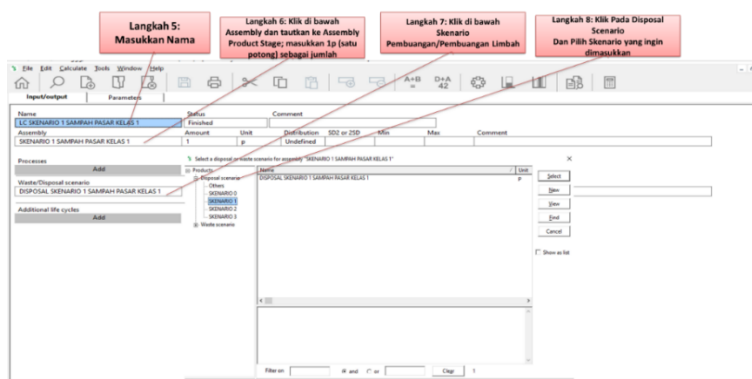
Gambar 4. 10 Lanjutan Proses *Inventory*



Gambar 4. 11 Lanjutan Proses *Inventory*



Gambar 4. 12 Lanjutan Proses *Inventory*

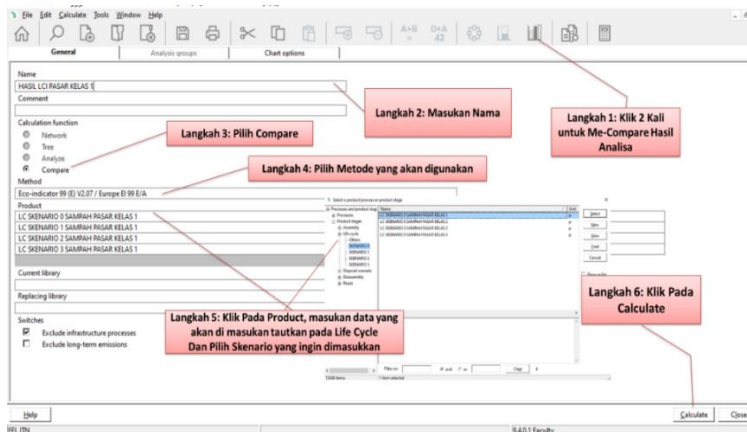


Gambar 4. 13 Lanjutan Proses *Inventory*

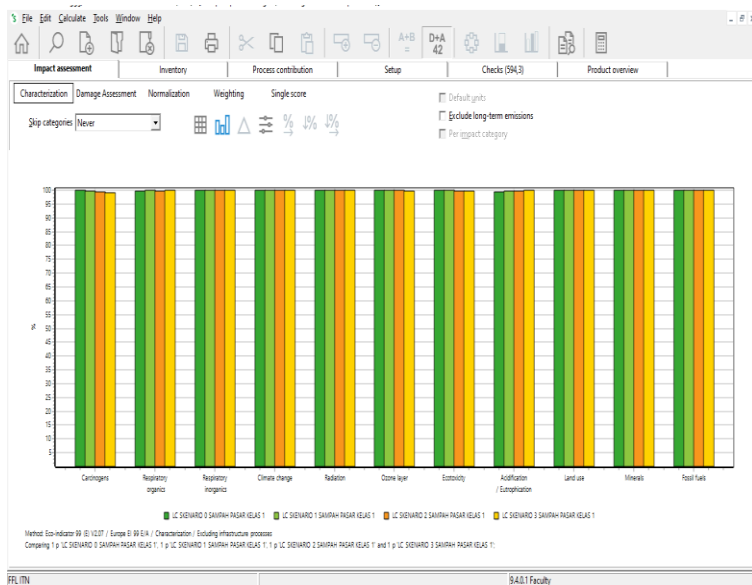
3. Tutorial *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*

Tahap penilaian dampak dilakukan penentuan dampak terhadap lingkungan yang telah diperoleh dari tahapan LCI. Karakterisasi/*Characterization* merupakan tahapan untuk membandingkan secara langsung hasil LCI dalam tiap kategori. Metode yang digunakan dalam melakukan penilaian dampak lingkungan adalah Eco-Indicator 99 (E), Metode Eco-indicator 99 digunakan pada software SimaPro 9.4.0.1 kategori dampak pada indikator ini dievaluasi menggunakan dasar pembobotan sesuai prespektif hirarki struktural. Kategori dampak ini dikelompokkan menjadi 3 kategori kerusakan: kesehatan manusia, kualitas ekosistem dan sumber daya. Perbandingan skenario dilakukan untuk membandingkan dampak lingkungan yang dihasilkan sehingga dapat dianalisis skenario manakah yang menghasilkan dampak lingkungan paling kecil.

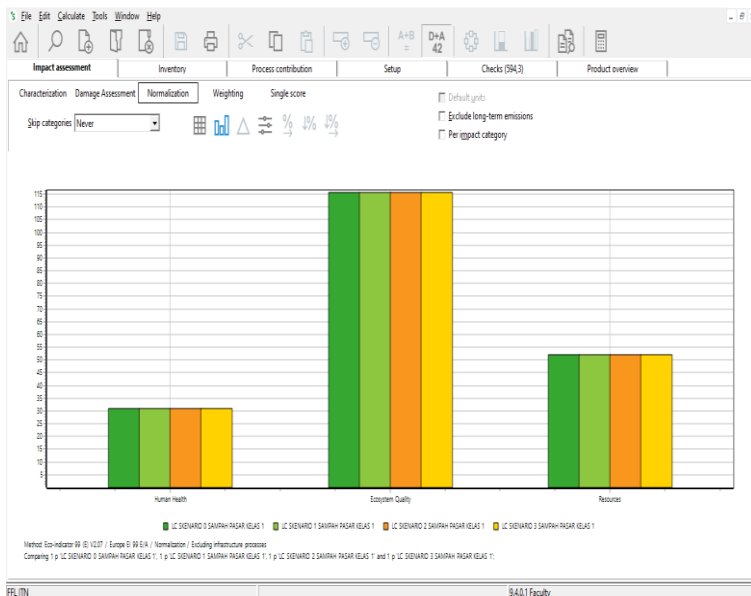
Tahap evaluasi potensi dampak lingkungan menggunakan hasil *inventory analysis*. Secara umum tahap ini adalah penanganan dari dampak lingkungan, dampak penggunaan sumber daya dan produksi emisi yang dikelompokkan dan dikuantifikasi dalam jumlah tertentu. Berikut ini langkah melakukan *impact assessment*:



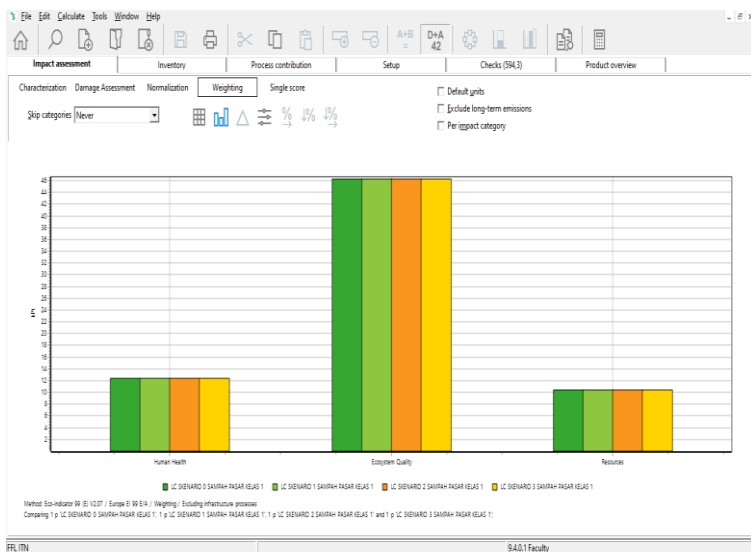
Gambar 4. 14 Tahapan Proses Life Cycle Impact Assessment



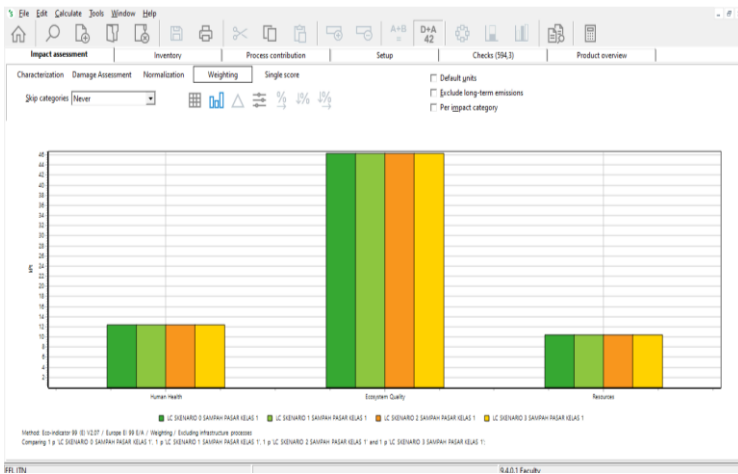
Gambar 4. 15 Tampilan Grafik Perbandingan Characterization



**Gambar 4. 16 Tampilan Grafik Perbandingan
Normalization**

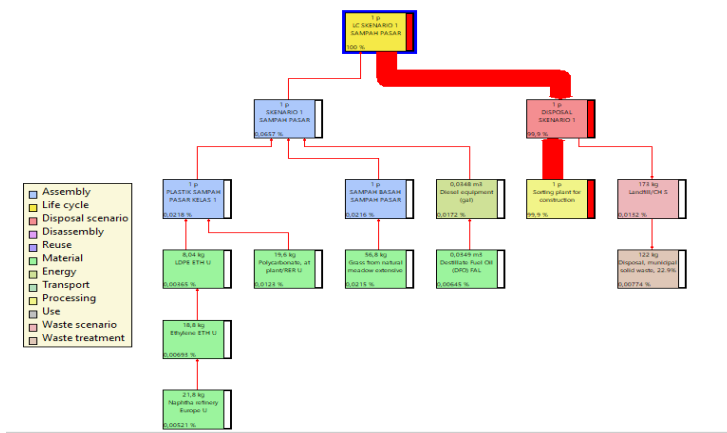


**Gambar 4. 17 Tampilan Grafik Perbandingan
Weighting**



Gambar 4. 18 Tampilan Grafik Perbandingan *Single Score*

Network dampak lingkungan menggambarkan hubungan dari setiap proses yang dapat memberikan dampak terhadap lingkungan. Network dari proses produksi dapat ditampilkan dengan *cut-off*.



Gambar 4. 19 Tampilan *Network* dari Dampak Lingkungan

Gambar *network* memberikan informasi dari hubungan antar proses serta besar pengaruh dari masing-masing bahan terhadap lingkungan pada produk. Network terdapat beberapa tipe garis yang berbeda. Tipe garis dan warna menunjukkan tipe pengaruh proses terhadap dampak lingkungan. Garis merah dan tebal menunjukkan proses tersebut memiliki pengaruh yang besar terhadap dampak lingkungan, sedangkan garis hijau menunjukkan proses yang memiliki nilai negatif atau tidak memiliki dampak terhadap lingkungan.

4. Tutorial Interpretasi

Intepretasi merupakan tahap akhir analisis yang mengkaji dan menghasilkan kesimpulan, rekomendasi, dan pengambilan keputusan yang konsisten dengan tujuan dan cakupan yang telah didefinisikan. Langkah dalam *Life Cycle Interpretation*:

- a. Mengidentifikasi Persoalan berdasarkan LCI dan LCIA.
- b. Mengevaluasi berdasarkan *completeness*, *sensitivity*, dan *consistency checks*.
- c. Kesimpulan, rekomendasi, dan laporan.

Kesimpulan dari interpretasi adalah skenario penghasil dampak lingkungan pada tiap kategori menunjukkan skenario menghasilkan dampak lingkungan terkecil dari semua kategori dampak.

BAB

5

TUTORIAL LCA DENGAN OpenLCA

A. Penggunaan Perangkat Lunak OpenLCA 1.11.0

Perangkat lunak openLCA 1.11.0 ini merupakan salah satu perangkat lunak generasi terbaru dari greendelta dan biasanya digunakan dalam LCA. Perangkat lunak openLCA merupakan perangkat lunak yang bersifat open publik yang dapat diakses secara gratis, mampu membantu menganalisis aspek-aspek lingkungan dari produk maupun jasa secara sistematis dan konsisten.

B. Tahapan Perangkat Lunak openLCA

1. Pengantar OpenLCA

Perangkat lunak openLCA adalah sumber terbuka untuk LCA dan *Sustainability Assessment*. openLCA dikembangkan sejak tahun 2006 oleh GreenDelta. Sebagai perangkat lunak *open source*, openLCA tersedia secara gratis tanpa biaya lisensi.

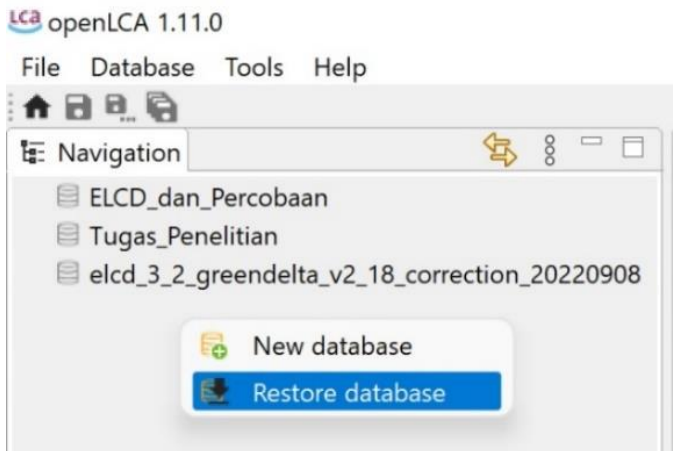
Elemen database yang diperlukan untuk pemodelan dan perbandingan sistem *produk* di openLCA adalah:

- a. Project
- b. Product system

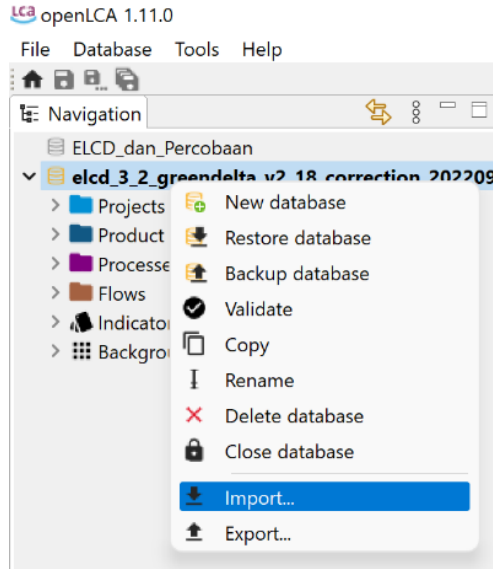
- c. Process
- d. Flow

2. Tahap Awal

Tahap awal dalam openLCA adalah memasukkan *database* (ELCD 3.2) yang sudah didownload ke dalam openLCA. Kemudian, mengimpor *database* metode penilaian dampak potensial (*Ecoinvent*) ke dalam *database* yang telah di-*restore* (ELCD 3.2).



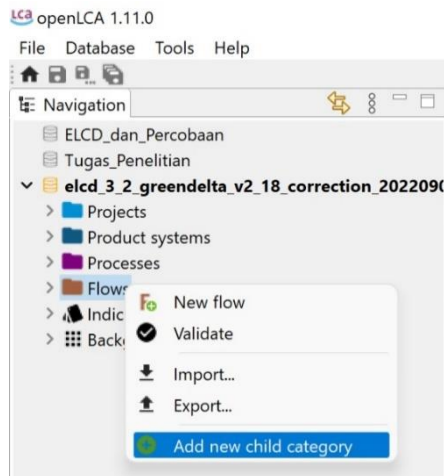
Gambar 5. 1 Restore Database



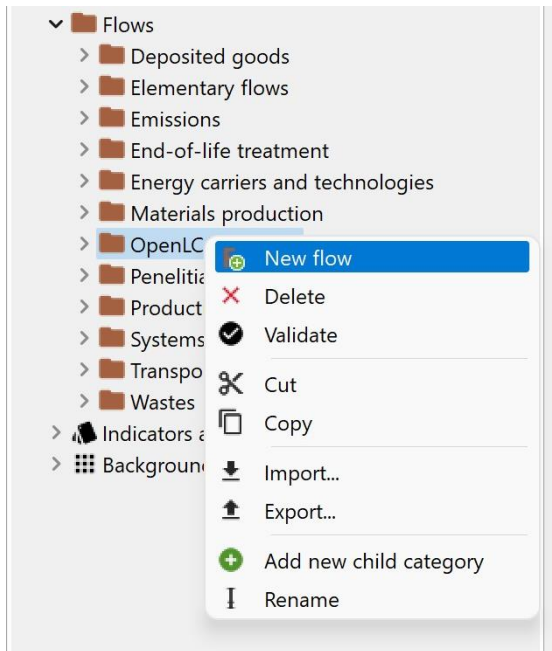
Gambar 5. 2 Import LCIA

3. Flow

Flow adalah semua input dan output produk, material atau energi dari proses dalam sistem produk yang dipelajari.



Gambar 5. 3. Membuat Folder Baru

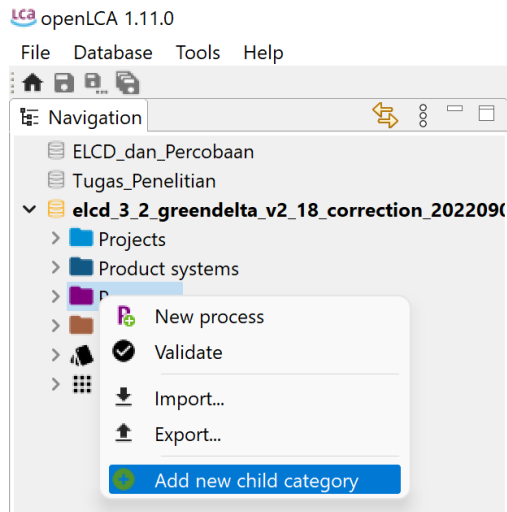


Gambar 5. 4. Membuat Flow Baru

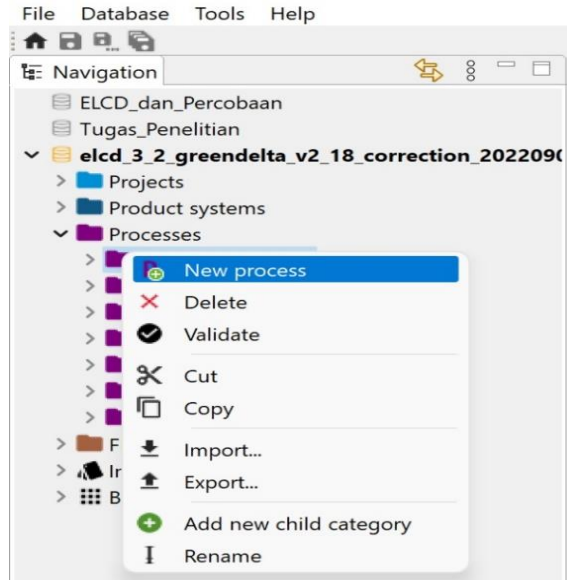
Gambar 5. 5 Nama, Tipe Flow, dan Reference Flow Property

4. *Process*

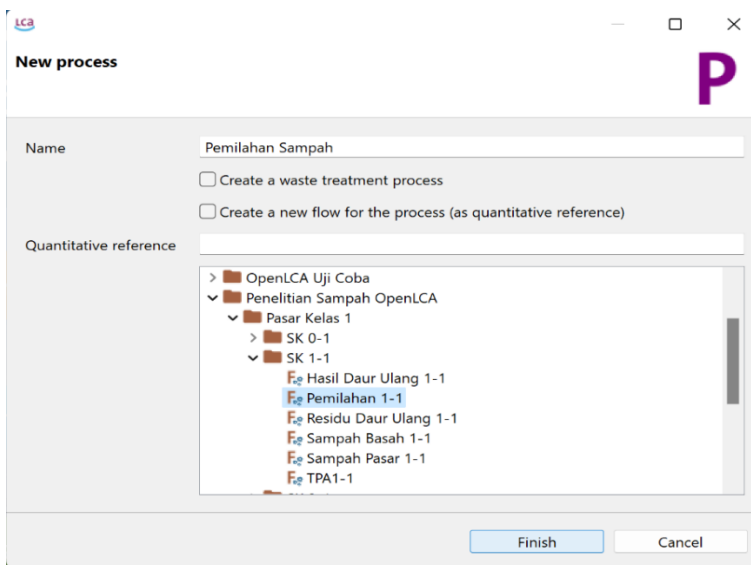
Process adalah sekumpulan aktivitas yang saling berinteraksi, yang mengubah input menjadi output. Setiap proses didefinisikan oleh aliran keluaran sebagai *quantitative reference* dengan jenis aliran produk yang dipilih saat membuat proyek.



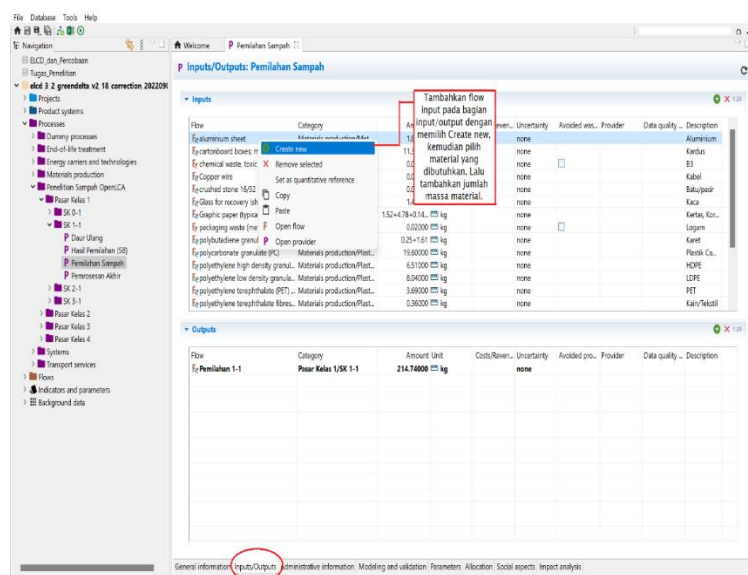
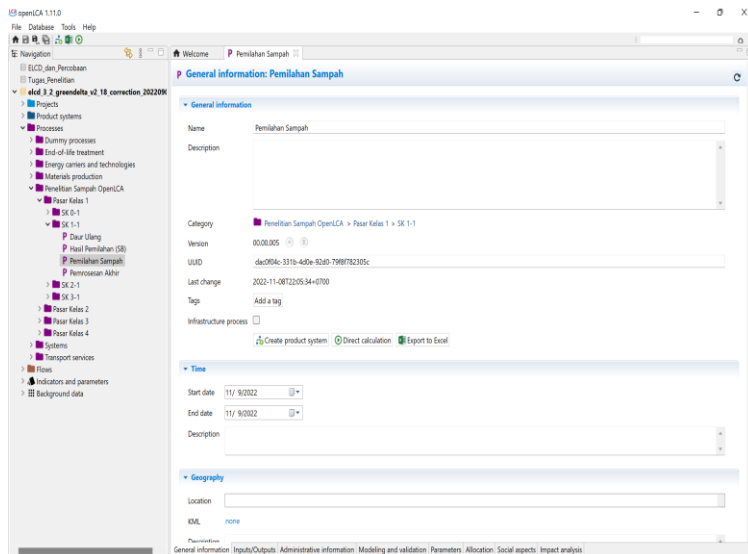
Gambar 5. 6. Membuat Folder Baru



Gambar 5. 7 Membuat *Process* Baru

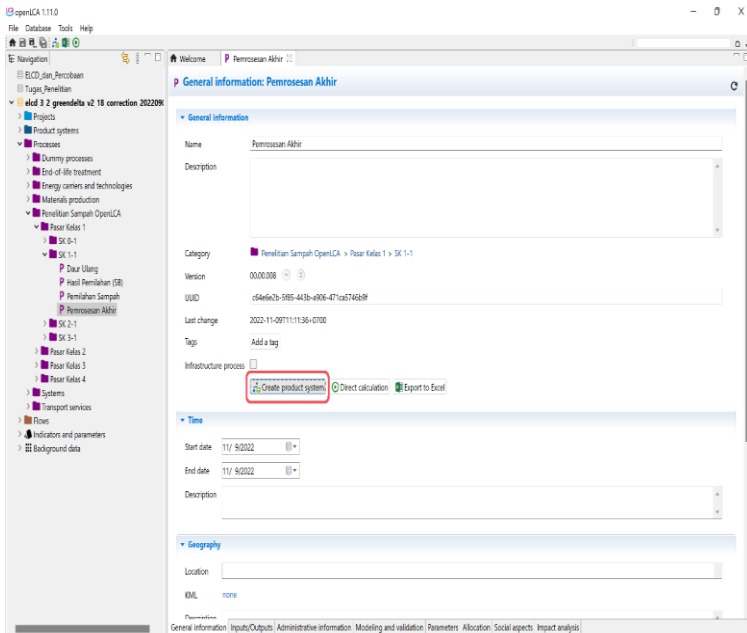


Gambar 5. 8 Nama dan *Quantitative Reference* Proses Baru

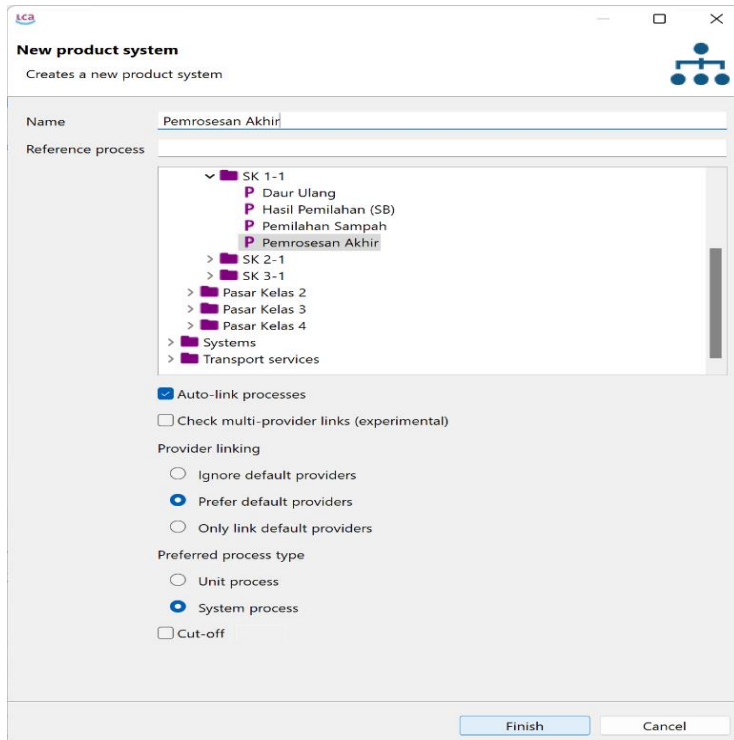


5. Product System

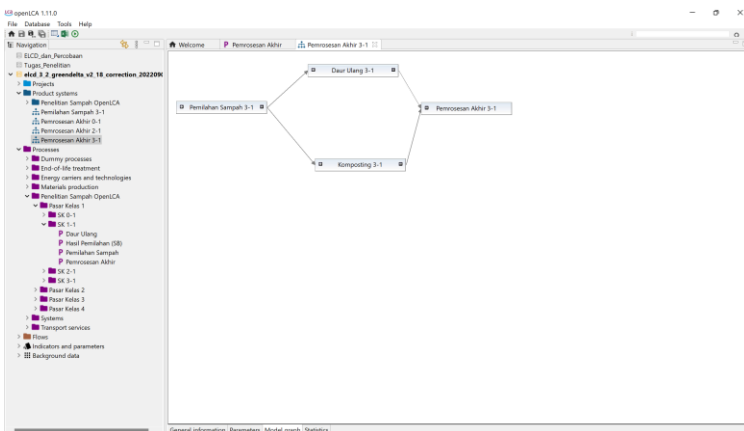
Sebuah *product system* berisi semua proses yang sedang dikerjakan. *Product system* dapat terdiri dari satu proses saja atau jaringan dari beberapa proses referensi. Dalam openLCA, dampak dapat dihitung untuk *product system*. Proses referensi *product system* digunakan untuk menghitung dampak untuk semua proses hulu yang terhubung dalam *product system*.



Gambar 5. 11 Membuat *Product System* di *Editor Process*



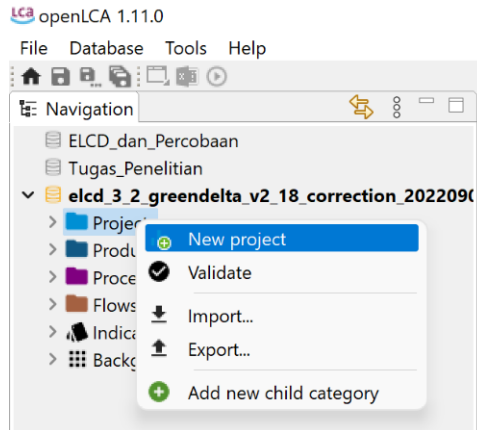
Gambar 5. 12 Membuat *Product System* Baru



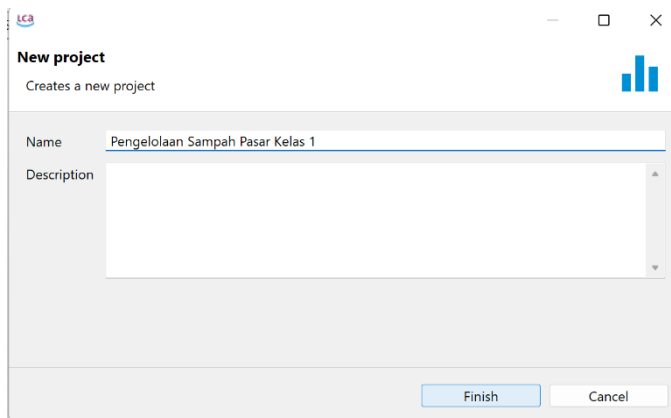
Gambar 5. 13 Model Grafik dari Contoh *Product System*

6. Project

Project dapat digunakan untuk membandingkan dampak dari *product system* yang berbeda.



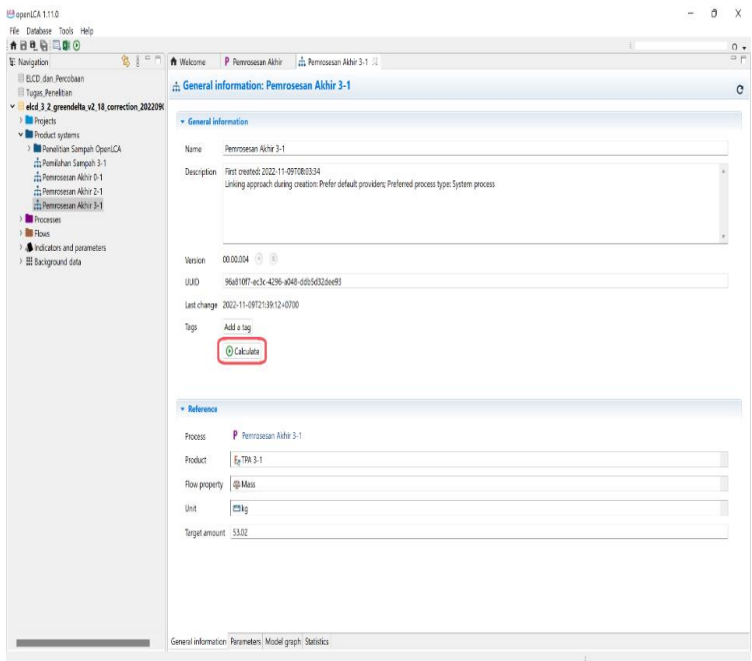
Gambar 5. 14. Membuat *Project* Baru



Gambar 5. 15. Nama *Project* Baru

7. Penilaian dampak

Pengukuran dampak lingkungan dari sistem produk yang dianalisis, metode penilaian dampak harus diimpor ke openLCA, seperti pada tahap awal openLCA.



Gambar 5. 16 Menghitung *Product System* dengan Perhitungan Analisis

LCa Calculation properties

Please select the properties for the calculation

Allocation method:

Impact assessment method:

Normalization and weighting set:

Calculation type: ☐ Quick results ☒ Analysis ☐ Regionalized LCIA ☐ Monte Carlo Simulation

☐ Include cost calculation

☐ Assess data quality

< Back Next > Finish Cancel

Gambar 5. 17 Calculation Properties

DAFTAR PUSTAKA

- Hidup, K.L., 2008. Undang-Undang RI Nomor 18 Tahun 2008, tentang Pengelolaan Sampah.
- Indonesia, R., 2012. Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. *Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2012*.
- Kabupaten Malang, 2012, Peraturan Daerah Kabupaten Malang nomor 3 tahun 2012 tentang perlindungan dan pemberdayaan pasar tradisional serta penataan dan pengendalian pusat perbelanjaan dan toko modern, Pemerintah Kabupaten Malang.
- Ngoc, U.N. and Schnitzer, H., 2009. Sustainable solutions for solid waste management in Southeast Asian countries. *Waste management*, 29(6), pp.1982-1995.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S., 1993. Integrated Solid Waste Management, 'Engineering Principles and Management Issues' McGraw-Hill. Inc., New York.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 19-3964-1994. *Metode Pengambilan Dan Pengukuran Contoh Timbulan Dan Komposisi Sampah Perkotaan*, Badan Standarisasi Nasional, Indonesia, 1994.
- Damanhuri, E. and Padmi, T., 2010. Pengelolaan sampah. *Diktat kuliah TL*, 3104.
- International Standards Organization, 2006. Environmental Management - Life Cycle

- Assessment - Principles and Framework ISO 14040, ISO Press.
- Baumann, H. and Tillman, A.M., 2004. The hitch hiker's guide to LCA.
- UN, "Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform The World. United Nation".
- Ramjeawon, P.T., 2012. Building capacity for life cycle assessment in developing countries. *Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products*, pp.545-561.
- Wahyudianto, F.E. and Boedisantoso, R., 2017. Penerapan PROPER sebagai alat pemicu inovasi teknologi industri berkelanjutan. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, (2).
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2012. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 01 Tahun 2021 tentang Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan (PROPER).
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batu Bara.
- Budi Heri Pirngadie, D.P., 2015. Dampak kegiatan tambang timah inkonvensional terhadap perubahan guna lahan di Kabupaten Belitung. *Jurnal Planologi Unpas*, 2(3), pp.177-194.
- Boldrin, A., Christensen, T.H., Körner, I. and Krogmann, U., 2011. Composting: mass balances and product quality. In *Solid Waste Technology and Management* (pp. 569-582). Wiley.

- Badan Standardisasi Nasional, SNI ISO 14040:2016 - *Manajemen lingkungan-Penilaian daur hidup* (ISO 14040:2006, IDT), 2016.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 2012 tentang Izin Lingkungan.
- Botero, E., Naranjo, C. and Aguirre, J., 2008. Apeironpro, software for life cycle assessment (LCA) and environmental performance evaluation (EPE). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), pp.172-174.
- Ormazabal, M., Jaca, C. and Puga-Leal, R., 2014. Analysis and comparison of life cycle assessment and carbon footprint software. In *Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management* (pp. 1521-1530). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Anonymous, SimaPro, <https://simapro.com/licences/faculty/>, 2022.
- Ren, Z.M. and Su, D.Z., 2014. Comparison of different life cycle impact assessment software tools. In *Key Engineering Materials* (Vol. 572, pp. 44-49). Trans Tech Publications Ltd.
- Iswara, A.P., Farahdiba, A.U., Nadhifatin, E.N., Pirade, F., Andhikaputra, G., Muflihah, I. and Boedisantoso, R., 2020, May. A comparative study of life cycle impact assessment using different software programs.

- In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 506, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
- Hardianto, H., Tjahjadi, M. E., Sunaryo, D. K., & Sudiasa, I. N., Study of the Solid Waste Generation and Composition in Traditional Markets in the New Normal Era in Malang Regency, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1022, No. 1, p. 012057). IOP Publishing, 2022.
- Hardianto, H., Sudiasa, I.N. and Sari, S.H., 2020. Traditional Market Solid Waste Management Study In Kepanjen, Malang District. *Konversi*, 9(2).
- Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P. and Moberg, Å., 2005. Life cycle assessment of energy from solid waste – part 1: general methodology and results. *Journal of Cleaner Production*, 13(3), pp.213-229.
- Martínez-Blanco, J., Colón, J., Gabarrell, X., Font, X., Sánchez, A., Artola, A. and Rieradevall, J., 2010. The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. *Waste Management*, 30(6), pp.983-994.