

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

2.1.1 Definisi Sampah

Sampah menurut SNI 19-3964-1994 memiliki definisi limbah yang bersifat padat yang terdiri dari bahan organik dan bahan anorganik, dimana telah dianggap tidak berguna lagi dan perlu dilakukan pengolahan agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan. Definisi lain yakni sampah merupakan sisa dari kegiatan sehari-hari manusia dan/ atau proses alam yang berbentuk padat. Definisi tersebut tercantum dalam Undang-Undang Republik Indonesia nomor 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah. Terdapat 3 jenis sampah yang dikelola berdasarkan Undang-Undang tersebut yaitu:

- a. Sampah rumah tangga yaitu sampah rumah tangga yang berasal dari kegiatan sehari-hari.
- b. Sampah sejenis sampah rumah tangga yaitu sampah yang berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/ fasilitas lainnya.
- c. Sampah spesifik yaitu sampah yang memiliki sifat spesifik antara lain yakni (1) Sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun; (2) Sampah yang mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun; (3) Sampah yang timbul akibat bencana; (4) Puing bongkaran bangunan; (5) Sampah yang secara teknologi belum dapat diolah; dan/atau (6) Sampah yang timbul secara tidak periodik.

Sedangkan sampah dapat juga digolongkan menjadi beberapa kelompok dengan kriteria yang meliputi asal, komposisi, bentuk, lokasi, proses, sifat, dan jenis. Kelompok penggolongan tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Penggolongan sampah berdasarkan asal

Sampah dapat dikelompokkan berdasarkan asal mula timbulnya sampah. Kegiatan yang berasal dari sumber asal yang sama akan menghasilkan sampah yang hampir sama pula.

2. Penggolongan sampah berdasarkan komposisi

Sampah dapat dibedakan menjadi 2 macam berdasarkan komposisinya, yaitu:

- a. Sampah yang seragam : Sampah yang berasal dari kegiatan yang sama. Contoh sampah seragam adalah sampah kegiatan industri, sampah kegiatan kantor (macam-macam kertas)
- b. Sampah yang tidak seragam (campuran) : Sampah yang berasal dari banyak kegiatan dalam satu lingkup. Contoh sampah tidak seragam adalah sampah pasar, sampah yang berasal dari tempat umum lainnya (kain, kertas, plastik, bahan pangan, organik, dll)

3. Penggolongan sampah berdasarkan bentuk

Sampah dapat dibedakan menjadi 2 macam berdasarkan bentuknya, yaitu:

- a. Sampah padat : Sampah yang memiliki bentuk padatan
- b. Sampah cair : Sampah yang memiliki bentuk cairan

4. Penggolongan sampah berdasarkan lokasi

Sampah dapat dibedakan menjadi 2 macam berdasarkan lokasinya, yaitu:

- a. Sampah kota : Sampah yang berasal atau ditimbulkan dari lokasi perkotaan (kota dengan cakupan besar).
- b. Sampah daerah : Sampah yang berasal atau ditimbulkan dari lokasi daerah dengan cakupan lebih sempit.

5. Penggolongan sampah berdasarkan proses

Sampah dapat dibedakan menjadi 2 berdasarkan proses timbulnya, yaitu:

- a. Sampah alami : Sampah yang timbul akibat proses alami (alam), cenderung sampah yang dapat terurai dengan sendirinya.

- b. Sampah non alami : Sampah yang timbul akibat dari proses kegiatan manusia, cenderung sampah yang membutuhkan waktu untuk terurai.
6. Penggolongan sampah berdasarkan sifat
- Sampah dapat dibedakan menjadi 2 macam berdasarkan sifatnya, yaitu:
- a. Sampah organik : Sampah yang memiliki sifat mudah terurai dengan sendirinya maupun dengan bantuan mikroorganisme seperti daun, buah, sayur, ranting.
 - b. Sampah non organik : Sampah yang memiliki sifat tidak mudah terurai dengan sendirinya, melainkan perlu adanya pengolahan lebih lanjut seperti plastik, kaca, logam.

2.1.2 Timbulan Sampah

Setiap waktu per kegiatan sampah selalu dihasilkan, sehingga timbulan sampah adalah jumlah banyaknya sampah yang dihasilkan dari kegiatan yang dilakukan setiap waktu dalam satuan volume atau berat per kapita perhari, atau perluas bangunan, atau perpanjang jalan (SNI 19-2454-2002).

Menurut SNI 19-3983-1995 timbulan sampah dapat bersumber atas dua bagian besar yaitu sumber timbulan non-perumahan dan sumber timbulan perumahan. Adapun masing-masing bagian dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Sumber sampah non-perumahan : Pasar, Toko, Sekolah, Kantor, Tempat ibadah, Hotel, Restoran, Industri, Jalan, Rumah sakit, Fasilitas umum lainnya.
- b. Sumber sampah perumahan : Rumah non-permanen, Rumah semi permanen, Rumah permanen.

Tabel 2. 1 Timbulan Sampah

No.	Komponen Sumber Sampah	Satuan	Volume (liter)	Berat (kg)
1.	Rumah permanen	Per orang/hari	2,25-2,50	0,350-0,400
2.	Rumah semi permanen	Per orang/hari	2,00-2,25	0,300-0,350
3.	Rumah non permanen	Per orang/hari	1,75-2,00	0,250-0,300
4.	Kantor	Per pegawai/hari	0,50-0,75	0,025-0,100
5.	Toko/ruko	Per petugas/hari	2,50-3,00	0,150-0,350
6.	Sekolah	Per murid/hari	0,10-0,15	0,010-0,020
7.	Jalan arteri sekunder	Per meter/hari	0,10-0,15	0,020-0,100
8.	Jalan kolektor sekunder	Per meter/hari	0,10-0,15	0,010-0,050
9.	Jalan lokal	Per meter/hari	0,05-0,10	0,005-0,025
10.	Pasar	Per meter ² /hari	0,20-0,60	0,10-0,30

Sumber: SNI, 1995

Tabel 2. 2 Sumber Sampah Beserta Komposisi

No	Sumber	Tipe fasilitas, aktivitas, atau lokasi sampah dihasilkan	Jenis-jenis/komposisi sampah
1	Permukiman	Rumah, asrama, apartemen, rumah susun	Sisa makanan, kertas, kardus, plastik, kain, kulit, kayu, kaca, kaleng, alumunium, debu, daun-daunan, sampah khusus (minyak, oli, ban bekas, barang elektronik, batu baterai), sampah B-3 rumah tangga
2	Kegiatan Komersial	Toko, rumah makan, pasar, gedung perkantoran, hotel, motel, bengkel, dan lain-lain	Kertas, kardus, plastik, kayu, sisa makanan, kaca, logam, sampah khusus (sda), sampah B-3
3	Institusi	Sekolah, rumah sakit, penjara, pusat pemerintahan	Sama dengan kegiatan komersial
4	Pelayanan Pemerintah Kota	Penyapuan jalan, perawatan taman, pembersihan sungai/saluran, kegiatan rekreasi di dalam kota	Sampah khusus, sampah kering, sampah jalan, sampah taman, sampah saluran, sampah dari tempat rekreasi
5	Tempat Pengolahan Limbah	Lokasi pengolahan limbah/sampah air, air limbah, residu	Air, air limbah, residu

Sumber : Tchobanoglous et al. 1993

Masing-masing tipe fasilitas memiliki lingkup cangkupan yang lebih detail terkait dengan luas, jumlah penduduk, dll yang diatur dalam Undang-Undang maupun Peraturan Daerah. Salah satu contoh tipe fasilitas yang memiliki lingkup cangkupan tersebut adalah kawasan perdagangan. Kawasan perdagangan di kota Surabaya telah diatur pada Peraturan Daerah Kota Surabaya No. 1 Tahun 2015 tentang Pengelolaan dan Pemberdayaan Pasar Rakyat. Dimana pasar rakyat dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. Pasar umum yang terdiri dari:
 - a. Pasar induk;
 - b. Pasar kawasan;
 - c. Pasar lingkungan;
 - d. Pasar Khusus.

Adapun setiap jenis pasar memiliki ketentuan sebagaimana berikut:

1. Pasar Induk

Pasar induk memiliki batasan:

- Lebar jalan sekurang-kurangnya 14 m;
- Luas lahan pasar sekurang-kurangnya 22.000 m².

2. Pasar Kawasan

Pasar kawasan memiliki batasan:

- Lebar jalan sekurang-kurangnya 9 m;
- Luas lahan pasar sekurang-kurangnya 2.000 m²

3. Pasar Lingkungan

Pasar lingkungan memiliki batasan:

- Lebar jalan sekurang-kurangnya 6 m;
- Luas lahan pasar sekurang-kurangnya 200 m².

4. Pasar Khusus

Merupakan pasar yang menjual atau memiliki kegiatan jual beli secara khusus dan terbatas seperti contoh pasar bunga, pasar loak, dll.

Pasar khusus memiliki batasan:

- Lebar jalan sekurang-kurangnya 9 m;

- Luas lahan pasar sekurang-kurangnya 2.000 m².

5. Pasar Modern

Pasar modern identik dengan pasar yang melayani masyarakat dengan fasilitas yang jauh lebih baik dan modern seperti contoh *Minimarket, Supermarket, Department Store, dan Hypermarket* yang telah banyak beredar di seluruh kota.

Menurut (Novita & Damanhuri, 2010) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi timbulan sampah antara lain yakni faktor demografi, geografi, musim, tingkat kesejahteraan masyarakat, kebiasaan masyarakat suatu daerah, dan upaya pengelolaan sampah.

2.1.3 Sampah Makanan (*Food waste*)

Food waste atau sampah makanan adalah makanan yang hilang, dengan maksud merujuk adanya hilangnya atau penurunan berat atau penurunan kualitas makanan yang terjadi di setiap mata rantai pasokan makanan. Sampah makanan identik dengan sampah yang berasal dari pasokan bahan pangan dan/ atau makanan yang telah dimasak yang sudah tidak layak jual atau tidak layak konsumsi. Menurut (Wahyono, 2019) Sampah makanan dapat timbul dari adanya rantai pasokan makanan dari proses produksi hingga konsumsi. Contoh dari sampah makanan adalah sayur, buah, daging, makanan kaleng, *frozen food* yang sudah rusak dan dibuang.

Munculnya sampah makanan dipengaruhi oleh beberapa faktor yakni Berikut merupakan rantai pasokan makanan dan kategori limbahnya.



Gambar 2. 1 Rantai Pasokan Makanan dan Kategori Limbahnya

Sumber: Wahyono, 2019

2.1.4 Dampak Lingkungan Akibat Sampah Makanan (*Food Waste*)

Timbulnya sampah makanan dapat menjadikan lingkungan menjadi kurang seimbang menurut (FAO, 2019) sampah makanan mempunyai implikasi buruk bagi lingkungan yang signifikan. Secara global, sampah makanan menimbulkan 4,4 Giga ton CO₂e atau sekitar 8% dari total emisi gas rumah kaca (GRK) antropogenik. Sementara itu, di Amerika Serikat (AS) pada tahun 2013 sampah makanan mengokupasi 21% lahan tempat pemrosesan akhir sampah (TPA). Sampah makanan yang terurai di TPA menjadi kontributor utama emisi GRK sebesar 23% dari total emisi GRK Amerika.

Kemudian menurut (Brigita & Rahardyan, 2013) penelitian mengenai sampah pasar kota Surabaya menghasilkan timbulan sampah sayuran dan makanan sebesar 385,87 ton/hari. Dimana komposisi sampah tersebut berpotensi menyumbang emisi CH₄ dan CO₂. Kondisi ada atau tidaknya reduksi pada sumber sampah dapat menghasilkan emisi gas CH₄ sebesar 4,9 Gg/tahun dan gas CO₂ sebesar 226,9 Gg/tahun dengan karbon stok 61,91 Gg/tahun.

2.1.5 Pengelolaan Sampah

Pengelolaan sampah didefinisikan sebagai suatu disiplin yang berkaitan dengan pengendalian atas timbulan, penyimpanan, pengumpulan, pemindahan dan pengangkutan, pengolahan, dan pembuangan sampah; sedemikian rupa sehingga sesuai dengan prinsip-prinsip dalam kesehatan masyarakat, ekonomi, keteknikan, konservasi, estetika, dan pertimbangan-pertimbangan lingkungan lainnya termasuk (*responsive*) terhadap sikap masyarakat umum (Tchobanoglous et al. 1993).

Ruang lingkup pengelolaan sampah mencakup semua aspek yang terlibat dalam keseluruhan spektrum kehidupan masyarakat. Berbagai aspek yang dimaksud adalah semua fungsi administratif, keuangan, hukum, perencanaan, dan fungsi-fungsi keteknikan yang digunakan untuk menyelesaikan masalah sampah. Penyelesaian masalah sampah juga 10

dapat melibatkan hubungan-hubungan lintas disiplin yang kompleks antar bidang ilmu politik, bidang perencanaan kota dan regional, geografi, ekonomi, kesehatan masyarakat, sosiologi, demografi, komunikasi, konservasi, serta teknik dan ilmu bahan (*material science*). Adapun yang dimaksud dengan pengelolaan sampah terpadu (*Integrated Solid Waste Management*) adalah suatu kerangka petunjuk untuk merencanakan dan melaksanakan sistem pengelolaan sampah baru dan/ menganalisis serta mengoptimalkan sistem saat ini (UNEP, 2005).

Definisi lain dari pengelolaan sampah terpadu, seperti yang dikemukakan oleh (Tchobanoglous et al., 1993) adalah pemilihan dan penerapan teknologi dan manajemen untuk mencapai tujuan pengelolaan sampah. Pengelolaan sampah terpadu dapat dilakukan setelah melakukan evaluasi terhadap seluruh elemen unit fungsional sistem persampahan, yaitu:

1. Timbulan sampah (*Waste generation*)
2. Penanganan, pemilahan, pewadahan, dan pemrosesan sampah disumbernya
3. Pengumpulan
4. Pemilahan dan pemrosesan serta transformasi/perubahan bentuk dari sampah
5. Pemindahan dan pengangkutan
6. Pembuangan

Pengelolaan sampah terpadu didasarkan pada suatu konsep yang mengarahkan kepada keterpaduan antar seluruh aspek dalam pengelolaan sampah baik aspek teknis maupun non teknis, yang pada kenyataannya seluruh aspek tersebut tidak pernah bisa dipisahkan (UNEP, 2005). Pendekatan keterpaduan tersebut adalah elemen penting dalam pengelolaan sampah dikarenakan oleh hal-hal berikut ini:

- a. Masalah-masalah tertentu akan lebih mudah diselesaikan dengan cara kombinasi beberapa aspek dibandingkan hanya dengan melihat satu aspek saja. Demikian pula jika dibangun suatu sistem

baru atau paling tidak mempengaruhi aktifitas di tempat lain jika perubahan tersebut tidak dikoordinasikan terlebih dahulu.

- b. Keterpaduan akan dapat mengoptimalkan seluruh sumber daya yang ada.
- c. Pendekatan keterpaduan memberikan kesempatan kepada masyarakat, pihak swasta dan sektor informal.
- d. Secara ekonomis, pendekatan ini juga jauh lebih baik. Dengan keterpaduan maka secara bersama-sama dapat merumuskan upaya-upaya yang lebih murah bahkan beberapa bagian pengelolaan tersebut dapat tanpa biaya. Disisi lain dengan pengelolaan terpadu, sampah dapat menjadi sumber penghasilan yang menjanjikan.

Pengelolaan sampah terpadu mengkombinasikan antara aliran sampah, pengumpulan sampah, pengolahan dan pembuangan sampah dengan tujuan utama untuk menghasilkan manfaat dari segi lingkungan, keberlanjutan dari sisi ekonomi dan dapat diterima dari aspek sosial. Elemen-elemen kunci dari pengelolaan sampah terpadu adalah:

- a. Pendekatannya menyeluruh
- b. Menggunakan metoda pengumpulan dan pengolahan yang terhubungkan satu dengan lainnya
- c. Dapat mengelola berbagai jenis material yang ada pada aliran sampah
- d. Efektif dari segi lingkungan
- e. Dapat terbayar dari segi ekonomi
- f. Diterima oleh masyarakat. (Mc Dougall, Forbes, et al, 2001)

Secara konseptual, untuk dapat mencapai tujuan dalam pengelolaan sampah terpadu maka terdapat dua hal yang paling diperlukan, yaitu: pengurangan sampah dan sistem yang efektif dalam pengelolaan sampah. Pengurangan sampah, atau sering disebut dengan *waste minimization*, *waste reduction*, atau *source reduction* ditempatkan pada bagian paling atas dalam hirarki pengelolaan sampah. Pengurangan sampah akan mengurangi jumlah sampah dan secara alamiah akan merubah komposisi sampah, namun

demikian akan selalu ada sampah yang masih harus dikelola. Untuk itu, selain pengurangan sampah masih diperlukan suatu konsep yang efektif dalam pengelolaan sampah. Konsep tersebut adalah konsep pemanfaatan kembali (*recycle*), penggunaan kembali (*reuse*), dan pemulihan energi (*energy recovery*) yang terkandung dalam sampah.

a. *Reuse*

Reuse diartikan sebagai upaya memperpanjang penggunaan suatu produk baik dalam bentuk semula maupun bentuk yang sudah dimodifikasi. *Reuse* dapat dilakukan dengan cara memperbaiki produk yang sudah rusak atau habis masa pakainya, misal vulkanisir ban. *Reuse* juga dapat dilakukan dengan menggunakan kemasan suatu produk untuk digunakan menjadi kemasan produk lain, misalnya botol air mineral yang dipakai untuk menjadi botol cat. Pelaksanaan *reuse* tidak mengembalikan produk tersebut ke industri. Upaya *reuse* lebih dekat pada upaya mengurangi jumlah sampah (EL Hagar, 2007)

b. *Recycle* Sampah yang tidak dapat dipakai lagi mulai masuk ke aliran pengelolaan sampah. Beberapa jenis sampah seperti plastik dan kertas dengan suatu teknologi tertentu, dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku suatu produk. Proses yang mengubah sampah tersebut menjadi bahan baku industri lain disebut *recycle* atau daur ulang (EL Hagar, 2007). Aktivitas *industry recycle* terdiri dari 5 kesatuan usaha yang bekerja secara serempak untuk menghasilkan material daur ulang yang siap menjadi bahan baku kegiatan industri. Kesatuan usaha tersebut adalah:

- Pengumpulan dan Transportasi : Usaha atau kegiatan ini dimaksudkan untuk mengumpulkan dan mengangkut sampah dari berbagai sumber sampah.
- *Material Recovery Facility* : Usaha ini adalah suatu bentuk usaha yang menyediakan fasilitas khusus yang didesain untuk

menerima, memisahkan dan memproses sampah menjadi bahan baku suatu kegiatan industri.

- Konsolidator dan Depot : Kegiatan ini berfungsi seperti MRF namun pada konsolidator tidak terdapat kegiatan pemilahan.
- *Broker Material* (Pengumpul) : *Broker material* adalah jenis usaha dengan aktivitas utama membeli produk usaha daur ulang, khususnya dari MRF dan Konsolidator dan menjualnya ke industri yang memanfaatkan hasil industri daur ulang tersebut sebagai bahan baku.
- Fasilitas Pemrosesan : Industri penghasil barang-barang yang berbahan baku dari produk-produk daur ulang. (Francheti, Mathew J, 2009).

c. *Recovery*

Recovery (Pemulihan kembali) material atau energi dapat dilakukan melalui berbagai bentuk. Secara prinsip *recycle* dan *recovery* mempunyai kesamaan yaitu mengembalikan kembali material ke suatu industri sedangkan perbedaannya adalah *recycle* memerlukan pemisahan material yang akan didaur ulang dari sampah, sedangkan *recovery* tidak memerlukan upaya pemisahan tersebut. (EL Hagar, 2007)

2.1.6 Hirarki Pengelolaan Sampah Makanan

Hirarki pengelolaan sampah makanan berpengaruh pada pengelolaan sampah makanan. Hirarki bertujuan untuk mengidentifikasi opsi yang paling mungkin memberikan hasil terbaik untuk mengurangi sampah makanan di sumbernya secara maksimal untuk lingkungan. Hirarki ini berjenjang berbentuk piramida terbalik dari tahap reduksi hingga pembuangan sampah di TPA sebagai tahap akhir (Wahyono, 2019).

Tahap pertama yaitu hirarki mengurangi, dilakukan minimisasi terhadap sampah makanan yang dihasilkan agar semaksimal mungkin. Sehingga pengelolaan sampah makanan dapat diawali dari masing-masing

individu. Hirarki kedua adalah menyimpan, mempersiapkan, memasak dan mengkonsumsi makanan secara bijaksana. Pada hirarki ketiga yakni mengelola sampah makanan yang pasti muncul mulai dari proses mempersiapkan makanan hingga proses konsumsi termasuk di rumah pasti menimbulkan sisa berupa sampah makanan seperti sebagian nasi atau sayuran yang tidak dikonsumsi, kulit buah-buahan dan sayuran, tulang ayam, kepala ikan dan sebagainya.

Pengelolaannya dapat dilakukan secara langsung dengan memberikannya sebagai pakan kepada ternak yang cocok atau melakukan upaya daur ulang menjadi kompos, biogas atau produk yang bermanfaat lainnya. Jika upaya pengurangan, mempersiapkan dan mengkonsumsi makanan secara bijak, dan daur ulang telah dilakukan oleh semua orang maka masalah sampah makan akan terselesaikan atau terminimalisir. Hirarki pengelolaan sampah yang terakhir adalah tempat pemrosesan akhir sampah (TPA), yakni tempat penimbunan sampah. Sampah makanan yang tidak terkelola nasibnya berakhir di TPA, tertimbun dan terurai secara alamiah di sana. Berikut merupakan gambar hirarki pengelolaan sampah makanan:



Gambar 2. 2 Hirarki Pengelolaan Sampah Makanan

Sumber: Wahyono, 2019

2.1.7 Inovasi Pengelolaan Sampah Makanan (*Food Waste*)

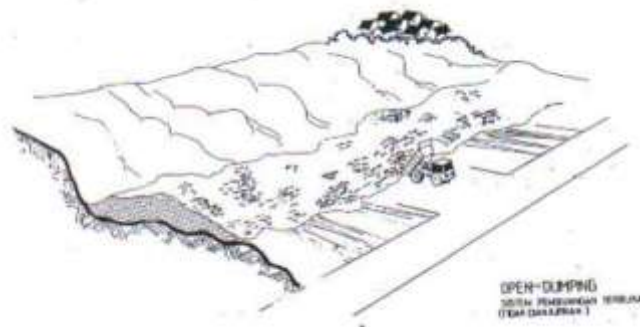
Pengelolaan sampah telah diatur dalam Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 dalam upaya mengurangi jumlah timbulan sampah, adapun beberapa contoh inovasi teknologi pengolahan sampah yakni sebagai berikut:

1. Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

TPA merupakan alternatif yang umum digunakan dan masih digunakan di Indonesia. Tahap pembuangan sampah dilakukan di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah. Dalam UU No. 18 Tahun 2008 dijelaskan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan tempat dimana sampah mencapai tahap akhir dalam pengelolaannya (Maulana, 2018). Sistem TPA dibagi menjadi 3 metode yaitu sebagai berikut:

a. *Open Dumping*

Open Dumping adalah metode paling mudah dalam pengolahan sampah yang biasa digunakan. Dimana sampah langsung dibuang ke suatu lokasi dan dibiarkan terbuka tanpa pengamanan, ketika lahan pembuangan telah mencapai batasnya maka lahan tersebut akan ditutup.



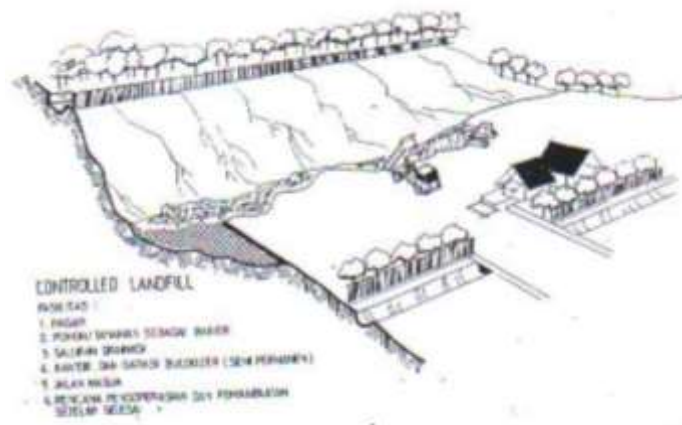
Gambar 2. 3 *Open Dumping*

Sumber: Darmasetiawan, 2004

b. *Controlled Landfill*

Controlled Landfill adalah metode pengembangan dari metode *Open Dumping*. Secara periodik sampah yang telah

tertimbun ditutup dengan lapisan tanah agar potensi gangguan lingkungan dapat diminimalisir. Periode penutupan sampah dengan lapisan tanah bervariasi bergantung pada timbunan dan daya dukung fasilitas TPA, umumnya penutupan dilakukan 2-3 kali dalam satu tahun. Selain ditutup dengan tanah, timbunan sampah diberikan perlakuan pemadatan terlebih dahulu dengan maksud efisiensi penggunaan lahan dan kestabilan permukaan TPA.



Gambar 2.4 *Controlled Landfill*

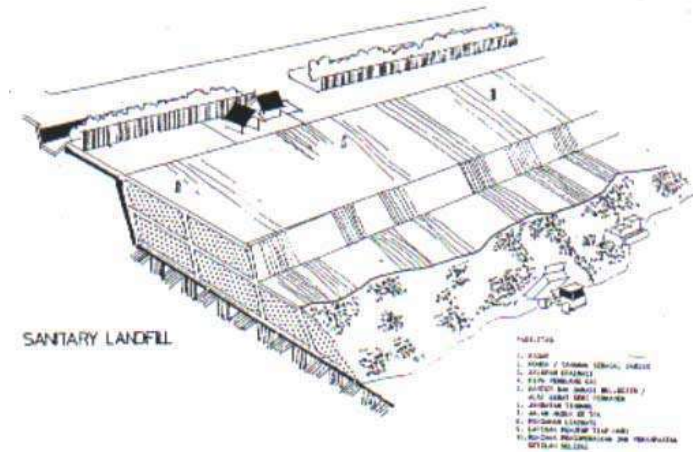
Sumber: Darmasetiawan, 2004

c. *Sanitary Landfill*

Sanitary Landfill adalah metode TPA dengan menimbun sampah secara sehat, sampah dibuang di tempat yang memiliki kontur rendah atau parit yang digali untuk menimbun sampah, kemudian sampah ditutup dengan tanah lapis demi lapis agar timbunan sampah tidak dalam situasi terbuka, metode ini merupakan sarana pengurangan sampah ke lingkungan yang perlu persiapan serta pengoperasian secara sistematis dengan penyebaran dan pemadatan sampah pada area pengurangan.

Sanitary Landfill merupakan metode standar yang dipakai secara Internasional dimana penutupan sampah dilakukan setiap hari sehingga potensi gangguan timbunan sampah dapat

diminimalisir. Metode ini memerlukan sarana prasarana yang memadai serta biaya yang cukup tinggi.



Gambar 2. 5 Sanitary Landfill

Sumber: Darmasetiawan, 2004

2. *Composting* (Pengomposan)

Pengomposan merupakan salah satu pengolahan sampah padat yang memiliki tujuan untuk mengurangi volume timbulan sampah, pengomposan merupakan pengolahan sampah jenis organik yang diubah menjadi kompos dengan bantuan alat dan zat lain. Proses teknologi pengomposan yaitu memasukkan sampah organik seperti sayuran yang telah layu, dedaunan, dan lainnya kedalam sebuah wadah yang kemudian ditambahkan zat *activator* seperti EM-4 yang kemudian dibiarkan dalam wadah dalam waktu kurang lebih 30 hari hingga menjadi kompos. Teknologi pengomposan selain dapat mereduksi volume sampah, hasil pengomposan berupa kompos juga dapat bermanfaat bagi tanaman (Sekarsari et al., 2020).



Gambar 2. 6 Composting

Sumber: (Sekarsari et al., 2020)

3. Gasifikasi

Gasifikasi adalah salah satu teknologi pemanfaatan sampah organik menjadi sisa padatan seperti abu dan *synthetic gas* atau gas yang mudah terbakar (CO_2 , CO , CH_4 , H_2) dengan menggunakan proses pembakaran serta menyuplai 20 – 40% udara stoikiometri (Styana et al., 2019). Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi dapat dimanfaatkan sebagai pemanas ruangan dan pembangkit listrik turbin gas yang dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Jumlah *syn-gas* yang dihasilkan bergantung pada *feedstock*, suhu saat proses, waktu tinggal, dan ratio udara terhadap bahan baku (BPSDM PU, 2018). Gasifikasi memiliki empat (4) tahapan proses dengan suhu yang bervariasi, yaitu:

- Pengerinan

Proses pengerinan terjadi pada bagian atas reaktor dengan suhu kurang dari 150°C . Proses pengerinan bertujuan untuk agar pembakaran dapat berlangsung lebih cepat dan lebih stabil. Sampah dengan kadar air berlebih akan diuapkan untuk mengurangi kadar air.

- Pirolisis

Proses pirolisis merupakan proses fisik dan kimia dengan suhu antara 350 - 700°C. Semakin tinggi laju pemanasan maka semakin cepat pula pembentukan produk, waktu tinggal, dan meningkatkan tekanan. Pirolisis akan menghasilkan gas ringan seperti H₂, CO, CO², H₂O, dan CH₄, tar, dan arang.

- Reduksi

Proses reduksi terjadi pada suhu 800 - 1000°C. Proses ini bertujuan untuk mereaksikan arang yang dihasilkan pada proses pirolisis dengan air dan karbon dioksida agar menghasilkan gas mudah terbakar seperti CO, CH₄, H₂.

- Oksidasi

Proses oksidasi atau pembakaran merupakan reaksi terpenting dalam gasifier dengan suhu antara 700 - 1500°C. Pembakaran akan terjadi jika ada panas (*heat*), bahan bakar (*fuel*), dan udara atau oksigen.

4. *Inceneration* (Incenerasi)

Inceneration adalah salah satu inovasi teknologi pengolahan sampah yang menerapkan proses pembakaran dalam suhu yang tinggi. *Incenerator* mampu merubah bentuk sampah menjadi ukuran yang kecil yaitu mencapai 50 -90 % dari volume sebelumnya. *Incenerator* dibagi menjadi 2 tipe yang berdasarkan metode pembakarannya, yaitu tipe *kontinyu* dan tipe *batch*. Menurut Pitchel (2005) *Incenerator* pada proses pengoperasiannya mampu menghasilkan temperature sebesar 815°C - 1.095 °C.

Pada perancangan alat *Incenerator* perlu mempertimbangkan kuantitas udara yang dibutuhkan selama proses pembakaran, sistem pembakaran awal, jumlah sampah yang diproses, serta

pengelolaan gas yang dihasilkan selama proses pembakaran agar tidak mencemari lingkungan. Alat *Incenerator* juga memiliki potensi menjadi salah satu sumber daya energi yang didapatkan melalui panas yang dihasilkan, Alat ini juga dapat digunakan dalam skala penggunaan kecil seperti rumah tangga hingga skala besar seperti rumah sakit, TPA, industri, dan lainnya.

Beberapa teknologi pengolahan insenerasi yaitu:

- a. *Moving Grate Incinerator*
- b. *Fixed Grate Incinerator*
- c. *Rotary-kiln Incinerator*
- d. *Fluidised Bed Incinerator*
- e. *Fixed Bed Incinerator*

Menurut Yuliani (2016) Proses insenerasi sampah memiliki 4 tahapan proses, yaitu:

- a. *Pre-treatment*

Pemilahan dilakukan untuk meningkatkan nilai kalor. Tidak semua sistem insenerator membutuhkan pemilahan. Untuk jenis *moving grate incinerator*, pembakaran sampah dapat dilakukan tanpa melakukan pemilahan. *Fluidised bed incinerator* membutuhkan proses pemilahan sampah.

- b. Proses pembakaran

Dalam proses pembakaran, peran suhu, *turbulence*, dan waktu merupakan hal yang sangat penting. Semakin tinggi suhu, maka semakin tinggi pula turbulensi dan semakin lama waktu tinggal *flue gas* dan sampah, maka proses pembakaran pun semakin meningkat.

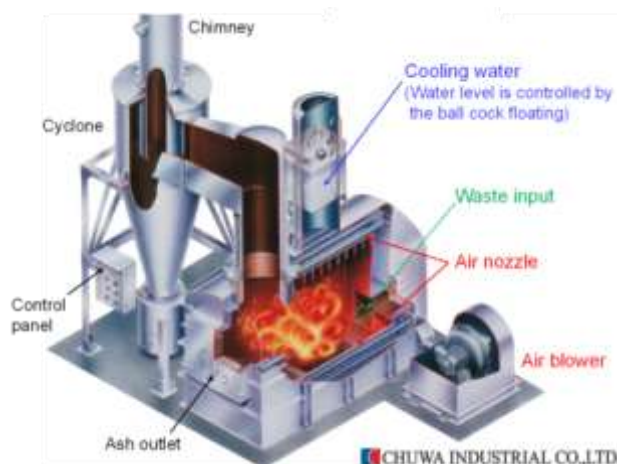
- c. Proses *recovery energy*

Selama proses pembakaran sampah akan menghasilkan energi panas yang akan dibawa keluar oleh *flue gas* dan akan masuk ke APC sistem. Namun sebelum masuk kedalam APC sistem, *flue gas* terlebih dahulu diturunkan suhu dengan

menggunakan *boiler*. Pada tahap ini lah yang disebut proses *recovery energy*.

d. Proses penanganan *flue gas* (APC sistem)

Flue gas yang dihasilkan dari insenerasi dapat menimbulkan dampak pada Kesehatan. Maka untuk mengurangi dampak yang timbul, *flue gas* perlu dikendalikan dengan menggunakan *Air Pollution Control System* (APC sistem).



Gambar 2. 7 Incenerator

Sumber: United Nations Industrial Development Organization,
2021

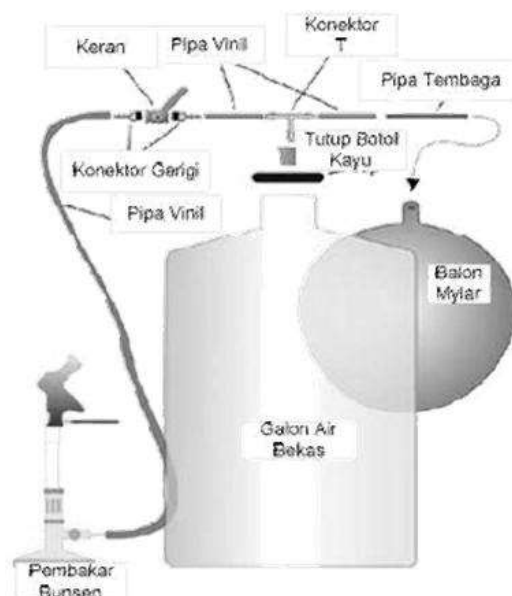
5. *Anaerob Digester*

Anerobic Digester adalah proses pengolahan limbah yang dalam prosesnya tidak memerlukan bantuan oksigen. *Anerobic Digester* dibagi menjadi 2 jenis yaitu *wet digestion* dan *dry digestion*, kedua jenis ini dipilih salah satu atas dasar konsentrasi padatan yaitu proses basah digunakan ketika konsentrasi padatan dalam substrat kurang dari 16 % dan proses kering ketika konsentrasi padatan dalam substrat mencapai 22-40 %. Metode pengolahan *Anaerobic Digester* memiliki 2 sistem pengumpanan yaitu sistem *batch* dan kontinyu. Pada sistem *batch* digester

diumpun sekali tanpa adanya penambahan inokulum yang kemudian ditutup selama masa waktu retensi. Sedangkan pada proses kontinyu, *feedstock* secara kontinyu (berkelanjutan) ditambahkan dalam digester. Faktor-faktor yang mempengaruhi metode *Anaerobic Digester* adalah konfigurasi reaktor dan fraksi organik limbah padat yang dapat disebut juga sebagai *biogas yield* dengan nilai 0,10-0,15 m³/kg basah (Sihombing et al., 2020).

Menurut BPSDM PU (2109) Faktor – faktor yang mempengaruhi produksi biogas, antara lain:

- a. Suhu
- b. pH
- c. Rasio C/N
- d. Inokulasi
- e. *Organic loading rate*
- f. Waktu detensi
- g. Sistem pengadukan



Gambar 2. 8 Anaerobic Digester

Sumber : (Dhaniswara & Fitri, 2017)

2.2 Landasan Teori

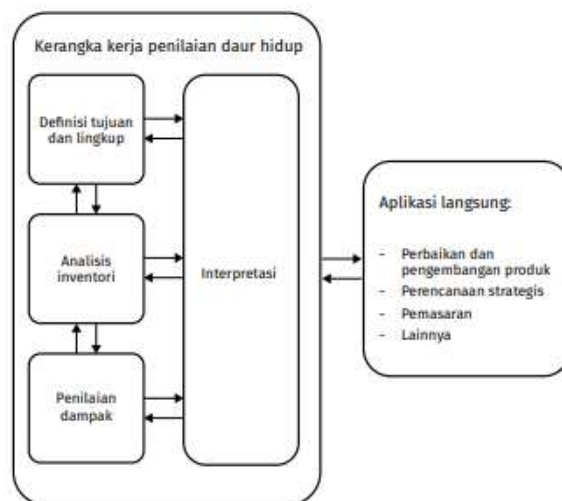
2.2.1 *Enviromental Protection Agency (EPA)*

Limbah makanan dapat diukur dan dicegah. Badan Perlindungan Lingkungan (EPA) AS menyarankan agar Anda melakukan penilaian limbah makanan sebagai langkah pertama untuk mengurangi limbah makanan dalam program Anda. Penilaian limbah makanan mengukur jumlah limbah sebelum dan sesudah konsumsi yang dihasilkan dan memeriksa penyebabnya. Berikut merupakan langkah – langkah awal untuk melakukan analisis : 1. Pengembangan Tujuan dan penargetan aliran makanan yang terbuang EPA telah mengembangkan Hirarki Pemulihan Makanan untuk membantu menentukan cara yang paling untuk mengelola makanan yang terbuang dengan tujuan menghilangkan sampah makanan dari komponen aliran limbah melalui pengurangan dari sumber atau pembelian lebih sedikit makanan. Pengembangan tujuan didasarkan pada jenis pertanyaan yang dibutuhkan dalam proses penilaian. Pertanyaan-pertanyaan seperi sampah dengan bahan apa yang bisa dikomposkan, disumbangkan, atau dikirimkan ke peternakan. Dalam pertanyaan tersebut bahan yang ditargetkan untuk dipertimbangkan termasuk barang kering yang tidak mudah rusak, atau makanan yang disiapkan tetapi belum disajikan.

2.2.2. *Life Cycle Assessment*

Life Cycle Assessment (LCA) merupakan metode program yang digunakan untuk membandingkan sistem pengelolaan sampah. Menurut (HILIR FRESH Midstream Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021) LCA ditinjau berdasarkan (SNI ISO 14004, 2016) merupakan kompilasi dan evaluasi masukan, keluaran dan dampak lingkungan potensial dari sistem produk di seluruh daur hidupnya. Memerlukan data pendekatan dari hulu ke hilir atau *cradle to grave* untuk

menilai suatu sistem produk secara kuantitatif. Berikut merupakan kerangka kinerja penilaian daur hidup :



Gambar 2. 9 Kerangka Kerja Penilaian Daur Hidup

1. Tujuan dan Ruang Lingkup (*Goals and Scope*)

Goals and Scope memiliki tujuan agar penilaian dampak lingkungan yang dihasilkan dari suatu produk atau jasa dapat konsisten dan sesuai. Terdapat 4 analisis LCA untuk menentukan batasan sistem menurut ISO 14044 yaitu:

a. *Cradle to grave*

Proses analisis yang dimulai dari bahan, proses produksi, energi yang digunakan pada tiap proses dan hasil ekstraksi bahan baku tahap produksi, transportasi, dan penggunaan hingga produk akhir dalam siklus hidupnya (berlanjut).

b. *Cradle to gate*

Proses analisis dari rangkaian proses ekstraksi bahan baku-proses produksi produk (dalam pabrik) serta digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari suatu proses produksi.

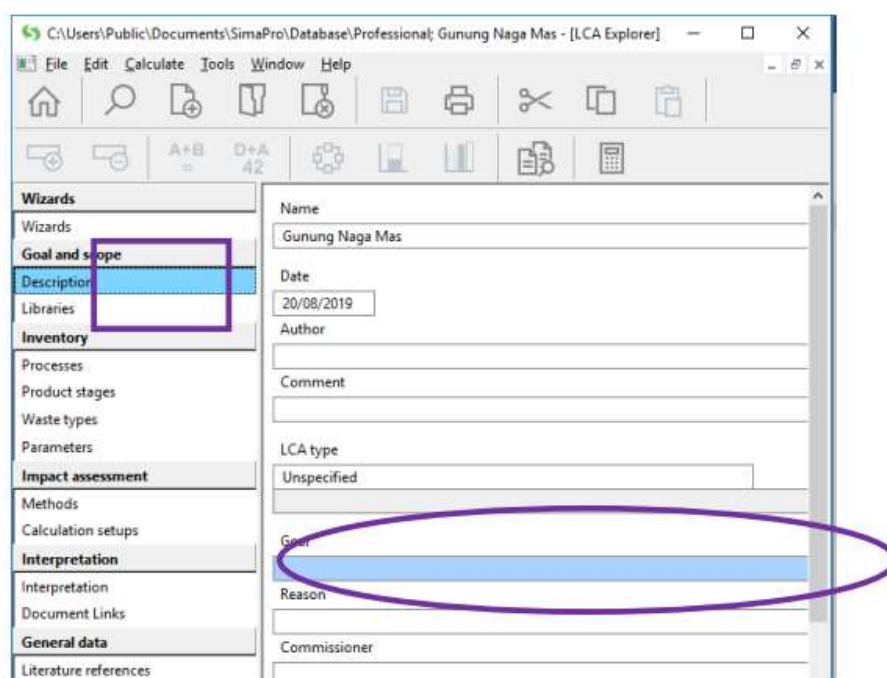
c. *Gate to grave*

Proses analisis setelah proses produksi (pasca produksi) hingga tahap akhir produksi dalam siklus hidupnya. Dimana analisis ini

digunakan untuk menghasilkan output berupa dampak lingkungan dari tahap pasca produksi atau setelah meninggalkan pabrik.

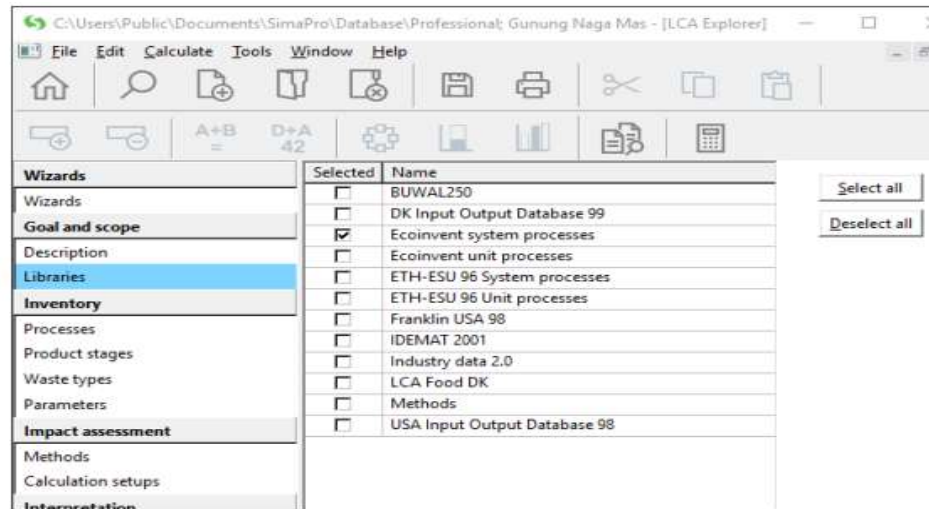
d. *Gate to gate*

Proses analisis dimulai tahap produksi saja, dimana hanya menghasilkan nilai dampak lingkungan dari langkah produksi saja. Adapun tampilan dari tahap *goals and scope* antara lain yaitu:



Gambar 2. 10 Tampilan Sub Menu Description

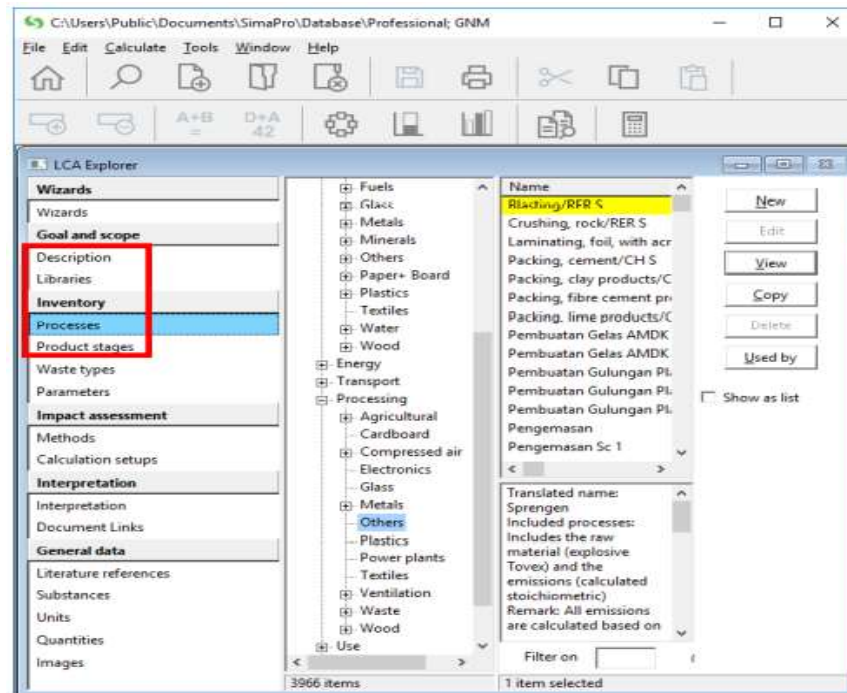
Tampilan menu *goal and scope* memiliki dua *sub menu* yaitu *description* dan *libraries* yang diisi dengan tujuan penggunaan *software* dari kajian LCA yang dilakukan. Adapun tampilan menu *libraries* sebagai berikut:



Gambar 2. 11 Tampilan Sub Menu Libraries

2. Analisis Inventarisasi (*Life Cycle Inventory*) (LCI)

Analisis inventarisasi memiliki tahap pengumpulan data dan perhitungan input dan output ke lingkungan mengenai sistem atau produk yang dievaluasi yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menguantifikasikan energi, emisi, dan arah alir yang akan dilepas ke lingkungan dari suatu sistem atau produk yang dievaluasi.



Gambar 2. 12 Tampilan Menu Inventory

Dengan penjelasan menu:

a. *Process*

Process menunjukkan tentang hal-hal yang termasuk ke dalam proses produksi suatu produk. Dimana membutuhkan data awal seperti material dan energi yang digunakan.

b. *Product stages*

Product stages menunjukan dan mendeskripsikan bagaimana suatu produksi yang dilakukan, digunakan, dan apa saja yang dibuang.

c. *System description*

System description menunjukan tentang rekaman terpisah untuk mendiskripsikan struktur dari sistem.

d. *Waste types*

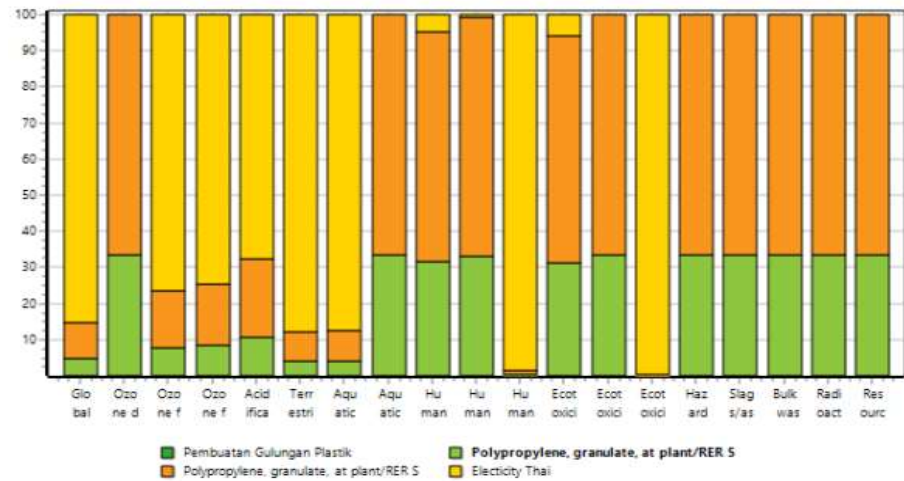
Waste types menunjukan tentang waste apa saja yang dihasilkan, terdapat dua macam yaitu *waste scenarios* dan *disposal scenarios*.

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

Penilaian Dampak lingkungan memiliki tahapan untuk menentukan angka nilai dampak lingkungan, yaitu *classification and characterization, normalization, weighting, dan single score* dengan tujuan bahwa menghasilkan nilai evaluasi yang memiliki nilai perkiraan mengenai dampak potensial dari suatu proses atau produk (Yekti, 2021).

a. Klasifikasi dan Karakterisasi (*Classification and characterization*)

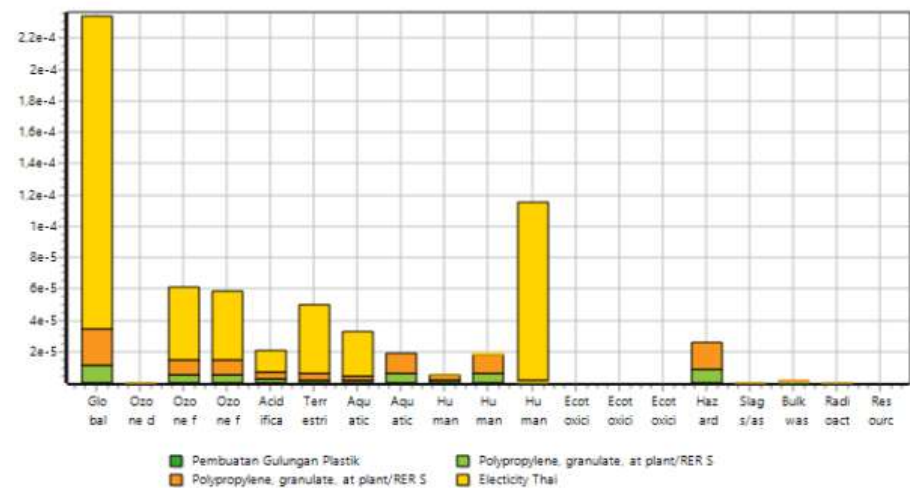
Klasifikasi adalah suatu tahap guna mendefinisikan atau mengelompokkan substansi LCI kedalam kategori dampak yang heterogen yang sudah ditentukan sebelumnya. Karakterisasi adalah suatu tahap yang menunjukkan nilai sebuah substansi yang mempengaruhi pada kategori dampak. Penilaian dilakukan dengan mengalikan nilai substansi dengan faktor karakterisasi. Tampilan *output* dari *Characterization* sebagai berikut:



Gambar 2.13 Diagram Output Characterization

b. Normalisasi (*Normalization*)

Normalisasi adalah proses untuk menyeragamkan satuan dari seluruh kategori dampak. Kemudian disederhanakan dalam suatu basis ukuran yang sama. Tampilan *output* dari *Normalization* sebagai berikut:

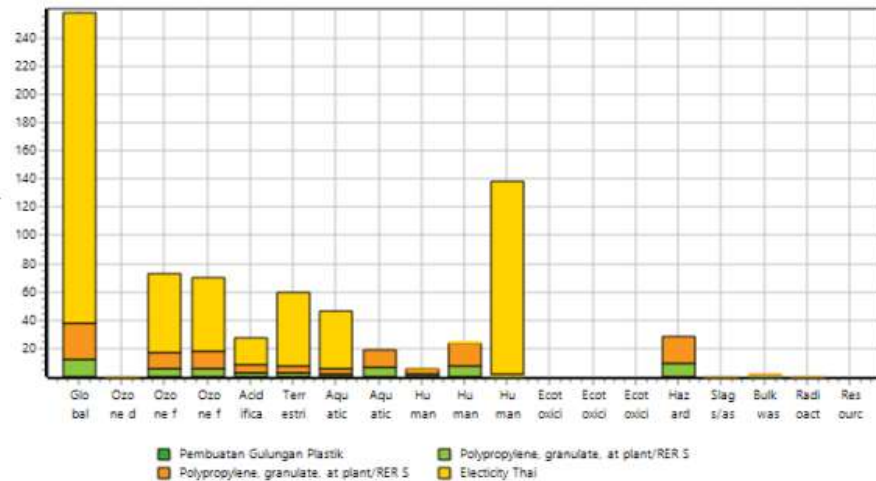


Gambar 2.14 Diagram Output Normalization

c. Penilaian dan Penimbangan (*Weighting*)

Penimbangan adalah tahap penilaian total dan membandingkan dampak suatu produk sehingga menghasilkan sebuah keputusan serta dapat melihat proses yang berkontribusi dapat berperan penuh

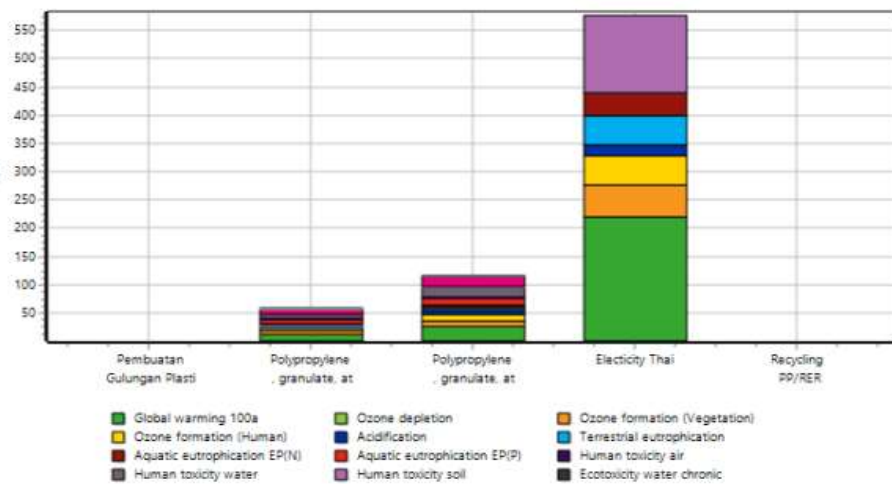
terhadap dampak lingkungan. Tampilan *output* dari *Weighting* sebagai berikut:



Gambar 2.15 Tampilan *Output Weighting*

d. *Single Score*

Pada proses single score akan menunjukkan tentang nilai dari berbagai aktivitas yang berkontribusi pada dampak lingkungan dengan mengklasifikasikan setiap nilai-nilai dari setiap kategori impact berdasarkan proses dan kegiatan, dengan batasan yang telah ditentukan. Tampilan *output* dari *Single Score* sebagai berikut:



Gambar 2.16 Tampilan *Output Diagram Single Score*

4. Interpretasi Data

Interpretasi data adalah tahap akhir dari suatu proses, dimana melakukan penafsiran dan penyimpulan dari tahapan LCI dan LCIA yang berguna sebagai rekomendasi berdasarkan batasan masalah dan tujuan yang telah ditentukan sebelumnya (Ain, 2021).

2.2.3 Software SimaPro 9.2

SimaPro merupakan salah satu *software* atau perangkat lunak komputer yang memiliki fungsi sebagai alat untuk menganalisa daur hidup suatu proses produksi (*Life Cycle Assessment*). Tahap penggunaan SimaPro yakni dimulai dari input suatu data hingga menghasilkan hasil akhir berupa presentase data kualitas, kuantitas, hingga dampak yang ditimbulkan dari suatu proses produksi. SimaPro merupakan dinilai mempunyai kelebihan dibandingkan perangkat lunak lainnya, yakni:

- a. Termasuk perangkat lunak yang mudah digunakan dan fleksibel
- b. Dapat digunakan secara *multi-user-version* sehingga memudahkan untuk menginput data yang berbeda.
- c. Perangkat lunak dengan metode dampak yang beragam
- d. Mudah dalam inventarisasi data dengan jumlah data yang banyak
- e. Data yang didapatkan memiliki nilai transparansi yang tinggi, dimana hasil interaktif analisis dapat melacak hasil lainnya kembali ke asal usulnya
- f. Dapat dengan mudah terhubung dengan perangkat lain seperti AHP
- g. Perangkat lunak dengan 3 versi dengan klasifikasi yang berbeda berdasarkan pengguna yakni: (1) *SimaPro Compact*; (2) *SimaPro Analyst*; (3) *SimaPro Developer*.

Software SimaPro memiliki jenis atau tipe yang diperbaharui secara bertahap. Penelitian ini menggunakan *software* SimaPro 9.2 yang merupakan *software update* dari SimaPro 8 atau 9.0. *Software* SimaPro 9.2 dirilis pada tanggal 1 Maret tahun 2021 (SimaPro, 2021). Adapun beberapa cakupan fitur yang disediakan *software* SimaPro 9.2 sebagai berikut:

- a. Pemodelan siklus hidup yang kompleks dan produk yang kompleks.
- b. Fitur analisis lanjutan.
- c. Termasuk metode penilaian persediaan (LCI) database dan dampaknya.
- d. Ecoinvent database yang disertakan, opsional untuk versi pendidikan.
- e. Tersedia dalam berbagai versi (*single/multi user*) dan dalam berbagai bahasa seperti Perancis, Jerman, Italia, Spanyol, Jepang, Swedia, Korea, Belanda dan Inggris.

2.2.4 Metode ReCiPe 2016

Metode ReCiPe 2016 adalah metode penilaian dampak lingkungan dengan hasil berupa serangkaian kategori dampak dan faktor karakterisasi yang memiliki konsep pendekatan pada titik tengah dan pada titik akhir. Normalisasi data yang ditemukan tahun 2008 oleh melalui kerjasama antara RIVM, Radboud University Nijmegen, Leiden University dan Pre Consultants.

Dalam ringkasan ReCiPe 2016 *A Harmonized Life Cycle Impact Assessment Method at Midpoint and Endpoint Level* (2016) metode ReCiPe 2016 memiliki dua cara utama untuk menurunkan faktor karakterisasi yaitu pada titik tengah dan pada titik akhir dengan menghitung 18 indikator titik tengah dan 3 indikator titik akhir.

Metode ReCiPe 2016 memiliki daftar kategori dampak sebagai berikut:

- a. Kategori pada dampak titik tengah (*Midpoint*) yaitu kategori indikator yang berfokus pada masalah lingkungan tunggal seperti perubahan iklim atau penipisan lapisan ozon.
- b. Kategori pada dampak titik akhir (*Endpoint*) yaitu kategori indikator yang menunjukkan dampak lingkungan pada tingkat pengkategorian yang lebih tinggi seperti *Human Health* (pengaruh terhadap kesehatan manusia), *Ecosystem* (lingkungan hidup), dan *Resources* (kelangkaan sumber daya).

Awalnya penelitian ini menggunakan metode CML-IA indikator *midpoint* kemudian beralih metode menjadi metode ReCiPe 2016 indikator *Midpoint* dengan beberapa pertimbangan kategori. Adapun perbandingan indikator kategori pada tingkat *midpoint* adalah sebagai berikut:

- Metode ReCiPe 2016 *Midpoint* (H) merupakan hasil penyempurnaan dari ReCiPe 2008 dan sebelumnya yaitu CML 2000 dan Eco-indicator 99.
- Metode ReCiPe 2016 memungkinkan untuk digunakan sebagai mekanisme dampak yang memiliki cakupan global. Sedangkan CML-IA memiliki cakupan Eropa.

Tabel 2. 3 Pemilihan Metode LCIA Berdasarkan Kategori Dampak pada PROPER

No	Kategori Dampak			Pemilihan Metode	Unit
	CML	ReCiPe	PROPER		
1	<i>Abiotic depletion</i>	<i>Global warming</i>	Dampak Primer		
2	<i>Abiotic depletion (fossil fuels)</i>	<i>Stratospheric ozone depletion</i>	1. <i>Global Warming Potential</i>	ReCiPe 2016	kg CO ₂ eq
3	<i>Global warming</i>	<i>Ionizing radiation</i>	2. Potensi penipisan Ozon	ReCiPe 2016	kg CFC11 eq
4	<i>Ozone layer depletion</i>	<i>Ozone formation, Human health</i>	3. Potensi Hujan Asam	ReCiPe 2016	kg SO ₂ eq
5	<i>Human toxicity</i>	<i>Fine particulate matter formation</i>	4. Potensi Eutrofikasi	CML-IA	kg PO ₄ eq
6	<i>Fresh water aquatic ecotox.</i>	<i>Ozone formation, Terrestrial ecosystems</i>	Dampak Sekunder		
7	<i>Marine aquatic ecotoxicity</i>	<i>Terrestrial acidification</i>	1. <i>Photochemical oxidation</i>	CML-IA	kg C ₂ H ₄ eq
8	<i>Terrestrial ecotoxicity</i>	<i>Freshwater eutrophication</i>	2. Potensi terjadi penurunan abiotik (fossil dan non fossil)		
9	<i>Photochemical oxidation</i>	<i>Marine eutrophication</i>	- <i>Abiotic depletion (fossil fuels)</i>	CML-IA	MJ
10	<i>Acidification</i>	<i>Terrestrial ecotoxicity</i>	- <i>Abiotic depletion</i>	CML-IA	kg Sb eq
11	<i>Eutrophication</i>	<i>Freshwater ecotoxicity</i>	3. Potensi terjadi penurunan biotik		
12		<i>Marine ecotoxicity</i>	- <i>Terrestrial ecotoxicity</i>	ReCiPe 2016	kg 1,4-DCB
13		<i>Human carcinogenic toxicity</i>	- <i>Freshwater ecotoxicity</i>	ReCiPe 2016	kg 1,4-DCB
14		<i>Human non-carcinogenic toxicity</i>	- <i>Marine ecotoxicity</i>	ReCiPe 2016	kg 1,4-DCB
15		<i>Land use</i>	4. Karsinogenik	ReCiPe 2016	kg 1,4-DCB
16		<i>Mineral resource scarcity</i>	5. <i>Toxicity</i>	CML-IA	kg 1,4-DB eq
17		<i>Fossil resource scarcity</i>	6. <i>Water Footprint</i>	ReCiPe 2016	m ³
18		<i>Water consumption</i>	7. <i>Land Use Change</i>	ReCiPe 2016	m ² a crop eq

2.3 Penelitian Terdahulu

No	Pengarang	Judul Penelitian	Tahun	Metode dan Data yang Dianalisa	Hasil dan Pembahasan
1.	Teguh Ariyanto; Rochim Bakti Cahyono; Abby Vente; STJin Mattheij; Ria Millati; Sarto; Mohammad J. Taherzadeh; Siti Syamsiah	Utilization Of Fruit Waste As Biogas Plant Feed and Its Superiority To Landfill	2017	<p>Metode :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Karakterisasi Bahan Material - Uji Laboratorium - Analisa Life Cycle Assessment dan Aspek Ekonomi Reaktor Biogas <p>Data :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Data Timbulan Sampah Makanan Sisa jenis buah 	<p>Terdapat 3 komponen dengan volume timbulan paling tinggi yaitu Buah Jeruk (64 %), Buah Mangga (25 %), dan Buah Apel (5 %). Sebanyak 80 % komposisi FW adalah buah yang telah membusuk. Hasil uji lab menunjukkan bahwasannya biogas lebih banyak dihasilkan melalui volatile solids dari campuran manga dengan sayuran (147 ml/g VS). Melalui data tersebut didapatkan desain dan perhitungan dengan hasil</p>

					<p>bahwa timbulan FW sebanyak 10 ton/hari mengandung metan sekitar 54 %, yang dimana memilik potensi menjadi energi listrik yang didapatkan melalui reactor biogas. Dari hasil analisa LCA didapatkan pengolahan biogas memilik dampak lingkungan lebih sedikit. Dan secara finansial pengolahan biogas lebih efisien jika dibandingkan dengan sistem <i>landfill</i> dalam memproduksi listrik. (Teguh Ariyanto, et al. 2017)</p>
2.	Huseyin Guven, Zhao Wang, Ola	Evaluation of future <i>food waste</i> management	2019	Metode : LCA; ReCiPe Software : SimaPro	Dalam penelitian ini terdapat empat skenario utama sistem pengolahan

	Eriksson	alternatives in Istanbul from the life cycle assessment perspective		Data : data mengenai emisi air, udara dan tanah, bahan kimia, solar, energi, dan	<i>Food waste</i> seperti kombinasi antara <i>landfilling</i> , komposting, biodrying, anaerobic digestion (AD), thermal treatment, dan gabungan dengan pengolahan air limbah kota. Hasil analisa LCA menunjukkan Skenario 3 dengan thermal treatment memiliki hasil terbaik dalam kategori eutrofikasi laut dan ekotoksistas melalui efisiensi penghilangan polutan yang lebih tinggi. (Huseyin Guven. 2019)
3.	Belkis Cakar, Serdar Aydin, Gamze	Assessment of environmental impact of <i>Food waste</i>	2020	Metode : LCA Software : menggunakan aplikasi Food Carbon Scope	Selama siklus hidup pertanian – ritel, sampah makanan di Turki menghasilkan

	Varank, H. Kurtulus Ozcan (2020)	in Turkey		Data : emisi, water footprint, dan energi footprint.	emisi gas rumah kaca sebesar 23.7 juta con CO2-eq - Water footprint akibat sampah makanan di Turki diperkirakan sebesar 6,2 x 10 ⁹ m ³ atau sekitar 79 m ³ air/kapita/tahun. Water footprint dari 1 kg daging dapat mencapai 15.500 liter air - Makanan hewani memiliki dampak lebih besar dibanding dengan produk nabati - Energy footprint dari sampah makanan di Turki sebesar 13.5 x 10 ⁴ terajoule (TJ) pertahun atau 1,68 gigajoule (GJ) energi/kapita/tahun (Belkis Cakar, et al. 2020)
4.	Rizki Andi	Model	2021	Metode :	Timbulan <i>Food</i>

	Cahyono; Atikha Sidhi Cahyana	Pengendalian <i>Food waste</i> pada Supermarket dengan menggunakan Sistem Dinamik		Sistem Dinamik, Software Stella Data Primer : - Data Dokumentasi - Data Wawancara - Data Observasi	<i>waste</i> selama 14 hari kedepan yaitu pada bagian total FW buah <i>slice</i> dengan volume 51 kg FW <i>fried</i> <i>chicken</i> 42 pcs dengan total kerugian sebesar Rp 2.053.281,00. Alternatif perbaikan berupa penentuan stock hari ini berdasar perjualan hari kemarin, pemotongan buah <i>slice</i> dan pembuatan <i>fried</i> <i>chicken</i> dilakukan secara bertahap dengan rentang waktu setiap 3 jam atau waktu tertentu dengan melihat jumlah produk yang telah terjual (Rizki Andi Cahyono, et al. 2021)
5.	Rahma	Life Cycle	2021	Metode : LCA	Pada penelitian ini

	<p>Arfiyah Ula, Agus Prasetya, Iman Haryanto</p>	<p>Assessment (LCA) Pengelolaan Sampah di TPA Gunung Panggung Kabupaten Tuban, Jawa Timur</p>		<p>Data : Alur teknis pengelolaan sampah, data timbulan serta komposisi sampah, data sampah yang diambil pemulung, rute kendaraan pengangkut, jualan dan luas daerah pelayanan, kebutuhan energi untuk setiap jenis pengolahan yang digunakan</p>	<p>terdapat 4 skenario pengelolaan sampah, yang pertama yaitu skenario eksisting atau skenario 0 (<i>landfill</i> dan pengomposan), skenario 1 dengan asumsi 50% sampah telah dipilah (<i>landfill</i> dan pengomposan), skenario 2 asumsi 60% sampah dipilah (<i>landfill</i>, pengomposan, dan AD), skenario 3 asumsi 70% sampah terpilah (<i>landfill</i>, pengomposan, dan AD). Hasil analisis ketiga skenario menunjukkan <i>global warming</i> menjadi salah satu dampak tertinggi terutama pada skenario eksisting</p>
--	--	---	--	---	---

					yaitu sebesar yaitu 6.379.506,17 kg CO ₂ eq/tahun dengan aktivitas <i>landfill</i> sebagai penyumbang dampak terbesar. (Rahma Arfiyah Ula, et al. 2021)
--	--	--	--	--	--

(Sumber: Penelitian terdahulu, 2017, 2019, 2020, 2021, 2021)