

STUDI PEMROSESAN AKHIR BUANGAN PADAT DENGAN TEKNOLOGI KONVERSI TERMAL

Nama Mahasiswa : Arqol Abid
NRP : 3309 100 702
Jurusan : Teknik Lingkungan FTSP - ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Ir. Ellina S.Pandebesie, MT.

Abstrak

Saat ini buangan padat menjadi salah satu masalah besar bagi masyarakat. Tingginya tingkat konsumsi masyarakat menjadi salah satu sebab banyaknya buangan padat yang terbentuk. Buangan padat yang terbentuk kian meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi masyarakat yang terus naik. Buangan padat yang jumlahnya semakin meningkat ini tentu saja menjadi ancaman bagi lingkungan baik bagi tanah, air dan juga udara

Tujuan dari studi ini adalah melakukan kajian mengenai pemrosesan buangan padat dengan teknologi konversi termal, teknologi yang digunakan dan karakteristik hasil dari pemrosesan buangan padat yang berupa gas buang dan *ash*. Metode yang digunakan adalah penelusuran pustaka yang terkait dengan kajian tersebut. Selanjutnya dari hasil kajian pustaka dapat diperkirakan karakteristik hasil serta dapat dibandingkan dengan teknologi penghasil energi lainnya, dalam hal ini dengan batu bara serta dianalisis menurut perundang-undangan yang berlaku.

Teknologi konversi termal dikategorikan menjadi tiga yaitu *combustion*, *gasification* dan *pyrolysis*. Pada *combustion* didapatkan karakteristik hasil sampah kota Surabaya berturut turut dari CO₂, N₂O, CH₄, CO, NO_x, NH₃, NMVOCs adalah 1,916 x 10⁸ Kg CO₂/tahun, 5,078 x 10³ Kg/tahun, 0, 1,269 x 10⁵ Kg/tahun, 5,078 x 10⁵ Kg/tahun, 1,015 x 10⁴ Kg/tahun 1,269 x 10⁴ Kg/tahun. Sedangkan pada *gasification* didapatkan hasil untuk CO₂, CO, SO₂, H₂S, dan NO_x berturut-turut adalah

$2,29 \times 10^8$ Kg/tahun, $1,05 \times 10^5$ Kg/tahun, $2,21 \times 10^4$ Kg/tahun, $5,540 \times 10^3$ Kg/tahun, $1,12 \times 10^5$ Kg/tahun. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan dari batu bara lebih besar dibandingkan dengan buangan padat dengan perbandingan 2,4:1. Perundang-undangan yang berlaku di Indonesia mengenai ash dan emisi yang dihasilkan dari teknologi konversi termal adalah Keputusan Kepala Bapedal No. 3 Tahun 1995 Tentang : Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun.

Kata Kunci : Ash, buangan Padat, gas buang, konversi termal, perundang-undangan.

STUDY OF SOLID WASTE FINAL PROCESSING WITH THERMAL CONVERSION TECHNOLOGY

Name : Arqol Abid
NRP : 3309 100 702
Department : Enviromental Engineering FTSP-ITS
Supervisor : Dr.Ir. Ellina S.Pandebesie, MT.

Abstract

Currently solid waste become one of the major problems for society. The high level of consumption to be one of the causes of many forms of solid waste. Formed solid waste is increasing with population growth that continues to grow. Increasing number of solid waste is a enviromental threat for the soil, water and air.

The purpose of this study is to conduct a study on the processing of solid waste with thermal conversion technology, the technology used and the characteristics of the results of the processing of solid waste in the form of exhaust gases and ash. The method used is a literature review related to the study. Furthermore, from the results of a literature review and the results can be expected the characteristics and can be compared with other energy-producing technologies, in this case with coal and it analyzed according to the applicable legislation.

Thermal conversion technologies categorized into three, that is combustion, gasification and pyrolysis. Results obtained in combustion characteristics of Surabaya solid wastes of CO₂, N₂O, CH₄, CO, NO_x, NH₃, NMVOCs in a row is 1,916 x 10⁸ kg CO₂/year, 5,078 x 10³ kg/year, 0, 1,269 x 10⁵ kg/year, 5,078 x 10⁵ kg/year, 1,015 x 10⁴ kg/year 1,269 x 10⁴ kg/year. While the results obtained for the gasification of CO₂, CO, SO₂, H₂S, and NO_x in a row is 2,29 x 10⁸ kg / year, 1,05 x 10⁵ kg/year, 2,21 x 10⁴ kg/year, 5,540 x 10³ kg/year, 1,12 x 10⁵ kg/year. The comparison shows that the energy generated from

coal is greater than the solid waste in the ratio of 2.4: 1. Legislation that applicable in Indonesia about ash and emissions resulting from the thermal conversion technology is The Head Bapedal Decision No. 3 Year 1995, about: Technical Requirements of Hazardous Waste and Toxic Materials and Indonesian Government Regulation No. 18 Year 1999 about Management of Hazardous and Toxic Waste.

Keywords : *ash*, flue gas, legislation, solid wastes, thermal conversion.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Buangan Padat

2.1.1 Definisi Buangan Padat

Sampah atau limbah merupakan benda bergerak yang tidak memiliki penggunaan langsung dan dibuang secara permanen (LaGrega, *et.al.*, 1994). Istilah limbah padat atau buangan padat, meliputi buangan massa yang heterogen dari masyarakat perkotaan serta akumulasi homogen yang dihasilkan dari pertanian, industri, dan limbah mineral (Tchobanoglous, *et.al.*, 1993). Buangan padat atau limbah padat adalah benda yang tidak terpakai, tidak diinginkan dan dibuang yang berasal dari suatu aktifitas dan bersifat padat (Kusnoputranto, 2002).

Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah limbah (padat, lumpur, cairan, dan gas yang telah dikemas) selain limbah radioaktif (dan infeksius), yang dengan alasan atau aktivitas kimia beracun mereka, dapat bersifat eksplosif, korosif, atau karakteristik lain, menyebabkan bahaya atau kemungkinan akan menyebabkan bahaya bagi kesehatan atau lingkungan, baik limbah itu sendiri atau kontak dengan limbah lain (LaGrega *et al.*, 1994).

2.1.2 Sumber dan Jenis Buangan Padat

Mengetahui sumber dan jenis buangan padat, bersama dengan data komposisi dan kecepatan produksi buangan padat tersebut adalah merupakan dasar untuk desain dan operasi yang berhubungan dengan manajemen buangan padat. Sumber dari buangan padat secara umum berhubungan dengan penggunaan lahan dan penetapan wilayah. Meskipun banyak jumlah katagori yang dapat dibuat, secara umum terbagi menjadi:

- a. pemukiman
- b. komersial
- c. institusi

- d. konstruksi dan pembongkaran
- e. pelayanan kota
- f. pabrik pengolahan
- g. industri
- h. pertanian.

Kategori – kategori tersebut dapat dilihat lebih lengkap pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sumber Buangan Padat

Sumber	Jenis Fasilitas, aktivitas, atau lokasi dimana sampah terbentuk	Tipe Buangan Padat
Pemukiman	Keluarga tunggal dan banyak keluarga yang tinggal terpisah apartemen kelas rendah, menengah, dan atas, dsb	Sampah makanan, kertas, karton, plastik, tekstil, kulit, sampah kebun, kayu, kaca, kaleng, aluminium, logam, dedaunan jalan, sampah khusus (termasuk benda berukuran besar, elektronik, "white goods", sampah kebun yang dikumpulkan secara terpisah, baterai, oli dan ban) dan sampah rumah tangga berbahaya
Komersial	Toko, restoran, pasar, gedung perkantoran, hotel, motel, percetakan, pusat pelayanan, bengkel, dan sebagainya	Kertas, karton, plastik, kayu, sampah makanan, kaca, logam, sampah khusus (lihat diatas), sampah berbahaya dan sebagainya

Sumber	Jenis Fasilitas, aktivitas, atau lokasi dimana sampah terbentuk	Tipe Buangan Padat
Institusi	Sekolah, rumah sakit, penjara, pusat pemerintahan	Sama dengan komersial
Konstruksi dan pembongkaran	Lokasi konstruksi baru, perbaikan jalan/perbaikan lokasi, pembongkaran bangunan, trotoar rusak	Kayu, besi, beton, debu dan sebagainya
Pelayanan pemerintah (tidak termasuk fasilitas pengolahan)	Pembersihan jalan, lansekap, pembersihan lembah, parkir dan pantai, dan lokasi rekreasi lainnya	Smpah khusus, sampah penyapuan jalan, lansekap, dan pemotongan pepohonan, reruntuhan lembah, sampah umum dari tempat parkir, pantai dan area-area rekreasi
Fasilitas pengolahan, Pembakaran sampah kota	Air, air limbah, dan industri pengolahan dan sebagainya	sampah fasilitas pengolahan, terutama lumpur sisa pengolahan
Buangan padat kota	Sama dengan yang tertera diatas	Sama dengan yang tertera diatas
Industri	konstruksi, fabrikasi, manufaktur ringan dan berat, penyulingan, fasilitas kimia, pembangkit listrik, penghancuran dan sebagainya	Sampah proses industri, material sisa, dan sebagainya. Sampah non industri termasuk sampah makanan, debu, rongsokan, penhancuran dan sampah konstruksi, sampah khusus, sampah berbahaya

Sumber	Jenis Fasilitas, aktivitas, atau lokasi dimana sampah terbentuk	Tipe Buangan Padat
Pertanian	Sawah, hasil panen, kebun buah, kebun anggur, pemerahan susu, penggemukan hewan, ladang dan sebagainya	Sampah makanan busuk, sampah pertanian, rongsokan, sampah berbahaya

Sumber: Tchobanoglous, 1993

Sedangkan menurut Chandra (2007) ada sedikit perbedaan sumber sampah dengan Tchobanoglous *et al.*, yaitu hanya terdapat 5 sumber sampah sebagai berikut:

1. Pemukiman penduduk

Sampah di suatu pemukiman biasanya dihasilkan oleh satu atau beberapa keluarga yang tinggal dalam suatu bangunan atau asrama yang terdapat di desa atau di kota. Jenis sampah yang dihasilkan biasanya sisa makanan dan bahan sisa proses pengolahan makanan atau sampah basah (garbage), sampah kering (rubbish), perabotan rumah tangga, abu atau sisa tumbuhan kebun. (Dainur, 1995).

2. Tempat umum dan tempat perdagangan

Tempat umum adalah tempat yang memungkinkan banyak orang berkumpul dan melakukan kegiatan termasuk juga tempat perdagangan. Jenis sampah yang dihasilkan dari tempat semacam itu dapat berupa sisa-sisa makanan (garbage), sampah kering, abu, sisa bangunan, sampah khusus, dan terkadang sampah berbahaya.

3. Sarana layanan masyarakat milik pemerintah
Sarana layanan masyarakat yang dimaksud disini, antara lain, tempat hiburan dan umum, jalan umum, tempat parkir, tempat layanan kesehatan (misalnya rumah sakit dan puskesmas), kompleks militer, gedung pertemuan, pantai empat berlibur, dan sarana pemerintah lain. Tempat tersebut biasanya menghasilkan sampah khusus dan sampah kering.
4. Industri berat dan ringan
Dalam pengertian ini termasuk industri makanan dan minuman, industri kayu, industri kimia, industri logam dan tempat pengolahan air kotor dan air minum, dan kegiatan industri lainnya, baik yang sifatnya distributif atau memproses bahan mentah saja. Sampah yang dihasilkan dari tempat ini biasanya sampah basah, sampah kering, sisa-sisa bangunan, sampah khusus dan sampah berbahaya.
5. Pertanian
Sampah dihasilkan dari tanaman dan binatang. Lokasi pertanian seperti kebun, lading ataupun sawah menghasilkan sampah berupa bahan-bahan makanan yang telah membusuk, sampah pertanian, pupuk, maupun bahan pembasmi serangga tanaman.

Jenis buangan padat menurut Tchobanoglous *et al.* (1993) dapat dikelompokkan menjadi:

- a. Pemukiman dan komersial
- b. Sampah khusus
- c. Sampah berbahaya
- d. Institusi
- e. Konstruksi and pembongkaran
- f. Pelayanan kota
- g. Sampah fasilitas pengolahan dan residu lainnya
- h. Buangan padat industri tidak termasuk sampah proses

i. Sampah pertanian

Distribusi dari jenis buangan padat kota dapat diperkirakan dan bisa dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2.2 Perkiraan distribusi dari semua komponen Buangan Padat Kota

Jenis Sampah	Persentase dari berat	
	Kisaran	Umum
Pemukiman dan komersial tidak termasuk sampah khusus dan berbahaya	50-75	62
Sampah khusus (termasuk benda berukuran besar, elektronik, <i>white goods</i> , sampah kebun yang dikumpulkan secara terpisah, baterai, oli dan ban)	3-12	5
Sampah berbahaya	0,01-1,0	0.1
Institusi	3-5	3.4
Konstruksi dan pembongkaran	8-20	14
Pelayanan Kota		
Pembersihan jalan	2-5	3.8
Pepohonan dan lansekap	2-5	3
Tempat Parkir dan area rekreasi	1.5-3	2
Lembah	0.5-1.2	0.7
Lumpur Fasilitas pengolahan	3-8	6
Total		100

Sumber: Tchobanoglous et.al, 1993

Sedangkan menurut Dainur (1995) pada prinsipnya sampah dibagi menjadi sampah padat, sampah cair dan sampah dalam bentuk gas (fume, smoke). Sampah padat dapat dibagi menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Berdasarkan zat kimia yang terkandung didalamnya.
 - a) Sampah anorganik, contohnya logam-logam, pecahan gelas, dan plastik
 - b) Sampah organik contohnya sisa makanan, sisa pembungkus dan sebagainya
2. Berdasarkan dapat atau tidaknya dibakar.
 - a) Mudah terbakar contohnya kertas, plastik, kain dan kayu.
 - b) Tidak mudah terbakar contohnya kaleng besi dan gelas.
3. Berdasarkan dapat atau tidaknya membusuk.
 - a) Mudah membusuk contohnya sisa makanan, potongan daging
 - b) Sukar membusuk misalnya plastik, kaleng kaca

Beberapa sumber dari buangan/limbah padat antara lain (Kusnoputranto, 2002) :

1. Sampah buangan rumah tangga termasuk sisa bahan makanan, sisa pembungkus makanan dan pembungkus perabotan rumah tangga sampai sisa tumbuhan kebun dan sebagainya.
2. Sampah buangan pasar dan tempat-tempat umum (warung, toko dan sebagainya) termasuk sisa makanan, sampah pembungkus makanan dan sampah pembungkus lainnya, sisa bangunan, sampah tanaman dan sebagainya.
3. Sampah buangan jalanan termasuk diantaranya sampah berupa debu jalan, sampah sisa tumbuhan taman, sampah pembungkus bahan makanan dan bahan lainnya, sampah sisa makanan, sampah berupa kotoran serta bangkai hewan.
4. Sampah industri termasuk diantaranya air limbah industri, debu industri. Sisa bahan baku dan bahan jadi dan sebagainya.
5. Pertanian.

Penggolongan jenis buangan/limbah padat dapat didasarkan pada komposisi kimia, sifat mengurai, mudah tidaknya terbakar,

berbahaya dan karakteristik. Menurut Mukono (2006) sampah dapat dikategorikan menurut karakteristiknya, yaitu sebagai berikut:

1. *Garbage*, yaitu jenis sampah yang terdiri dari sisa-sisa potongan hewan atau sayuran dari hasil pengolahan yang sebagian besar terdiri dari zat-zat yang mudah membusuk, lembab, dan mengandung sejumlah air bebas. Gambar 2.1 merupakan contoh *garbage*.



Gambar 2.1 Contoh Sampah Basah

2. *Rubbish* terdiri dari sampah yang dapat terbakar atau yang tidak dapat terbakar yang berasal dari rumah-rumah, pusat-pusat perdagangan, kantor-kantor, tapi yang tidak termasuk *garbage*. Gambar 2.2 merupakan contoh dari *rubbish*.
3. *Ashes* (Abu) yaitu sisa-sisa pembakaran dari zat-zat yang mudah terbakar baik di rumah, di kantor, industri.
4. *Street Sweeping* (Sampah Jalanan) berasal dari pembersihan jalan dan trotoar baik dengan tenaga manusia maupun dengan tenaga mesin yang terdiri dari kertas-kertas, daun-daunan.



Gambar 2.2 Contoh Sampah Kering

5. *Dead Animal* (Bangkai Binatang) yaitu bangkai-bangkai yang mati karena alam, penyakit atau kecelakaan.
6. *Household Refuse* yaitu sampah yang terdiri dari rubbish, garbage, ashes, yang berasal dari perumahan.
7. *Abandoned Vehicles* (Bangkai Kendaraan) yaitu bangkai-bangkai mobil, truk, kereta api.
8. Sampah industri terdiri dari sampah padat yang berasal dari industri-industri, pengolahan hasil bumi.
9. *Demolition Wastes* yaitu sampah yang berasal dari pembongkaran gedung.
10. *Construction Wastes* yaitu sampah yang berasal dari sisa pembangunan, perbaikan dan pembaharuan gedung-gedung.
11. *Sewage Solid* terdiri dari benda-benda kasar yang umumnya zat organik hasil saringan pada pintu masuk suatu pusat pengolahan air buangan.
12. Sampah khusus yaitu sampah yang memerlukan penanganan khusus misalnya kaleng-kaleng cat, zat radiokatif.

2.1.3 Katagori Buangan Padat

Kategori untuk buangan/limbah padat pada industri menurut Slamet (2000) adalah :

1. Limbah padat non B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) diantaranya lumpur, boiler ash, sampah kantor, sampah rumah tangga, spare part alat berat, sarung tangan, dan sebagainya.
2. Limbah padat B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) diantaranya bahan radioaktif, bahan kimia, toner catridge, minyak, dan sebagainya.

2.1.4 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Menurut sumbernya limbah B3 dibagi atas :

1. Limbah B3 dari sumber tidak spesifik adalah berasal bukan dari proses utamanya, tetapi dari kegiatan pemeliharaan alat, pencucian, pencegahan korosi, dan lain-lain.
2. Limbah B3 dari sumber spesifik adalah sisa proses suatu industri atau kegiatan yang dapat ditentukan.
3. Limbah B3 dari bahan kimia kadaluarsa, tumpahan, bekas kemasan, dan buangan produk yang tidak memenuhi spesifikasi.

Daftar limbah dengan kode limbah D220, D221, D222 dan D223 dapat dinyatakan limbah B3 setelah dilakukan uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) dan atau uji karakteristik. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 18 Tahun 1999 limbah yang termasuk sebagai limbah B3 apabila memiliki salah satu atau lebih karakteristik sebagai berikut :

1. Mudah meledak
2. Mudah terbakar
3. Bersifat reaktif
4. Beracun

5. Menyebabkan infeksi dan
6. Bersifat korosif.

2.1.5 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Kuantitas dan Kualitas Buangan Padat/Sampah

Sampah baik kualitas maupun kuantitasnya sangat dipengaruhi oleh berbagai kegiatan dan taraf hidup masyarakat. Beberapa faktor yang penting antara lain (Slamet, 2000) :

1. Jumlah penduduk
Semakin banyak penduduk semakin banyak pula sampahnya.
2. Keadaan Sosial Ekonomi
Semakin tinggi keadaan sosial ekonomi masyarakat, semakin banyak jumlah perkapita sampah yang dibuang.
3. Kemajuan teknologi
Kemajuan teknologi akan menambah jumlah maupun kualitas sampah, karena pemakaian bahan baku yang semakin beragam, cara pengepakan dan produk manufaktur yang semakin beragam pula.

2.1.6 Parameter Buangan Padat

Untuk limbah padat parameter yang digunakan adalah menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.18 Tahun 1999 untuk limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) pasal 1 ayat 12 menyatakan penyimpanan adalah kegiatan menyimpan limbah B3 yang dilakukan oleh penghasil dan/ atau pengumpul dan/ atau pemanfaat dan/atau pengolah dan/ atau penimbun dengan maksud menyimpan sementara sebelum diserahkan kepada pemanfaat dan/ atau pengolah.

2.1.7 Tujuan Pemrosesan Buangan Padat

Menurut Slamet (2000) tujuan pemrosesan buangan padat adalah meminimalkan penurunan kualitas air tanah dan tanah

akibat rembesan atau leached dari penampungan limbah padat dan penyimpanan sementara limbah B3.

Selain itu, dengan melakukan pemrosesan buangan padat dapat menurunkan/mengurangi volume sampah secara signifikan sehingga dapat mengurangi area *landfill* yang dibutuhkan dan mengurangi potensi berbahaya dari buangan padat karena dapat menghancurkan berbagai buangan padat berbahaya (Tchobanoglous *et al.*, 2002).

2.1.8 Cara Pengolahan Limbah Padat

Menurut Kristanto (2002), berdasarkan sifatnya pengolahan limbah padat dapat dilakukan melalui 2 cara:

1. Limbah padat tanpa pengolahan.
2. Limbah padat dengan pengolahan.

Limbah padat tanpa pengolahan dapat dibuang ke tempat tertentu yang difungsikan sebagai tempat pembuangan akhir karena limbah tersebut tidak mengandung unsur kimia yang beracun dan berbahaya. Tempat pembuangan limbah semacam ini dapat di daratan ataupun di laut. Berbeda dengan limbah padat yang mengandung senyawa kimia berbahaya atau yang setidaknya menimbulkan reaksi kimia baru. Limbah semacam ini harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir.

Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan sebelum limbah diolah :

- a. Jumlah limbah, jika jumlah limbahnya sedikit maka tidak membutuhkan penanganan khusus seperti tempat dan sarana pembuangannya, tetapi jika limbah yang dibuang misalnya 4 meter kubik perhari sudah tentu membutuhkan tempat pembuangan akhir dan sarana pengangkutan tersendiri.
- b. Sifat fisik dan kimia limbah, dapat merusak dan mencemari lingkungan, secara kimia dapat menimbulkan reaksi saat membentuk senyawa baru. Limbah padat yang berupa

lumpur akan mencemari air tanah melalui penyerapan ke dalam tanah.

- c. Kemungkinan pencemaran dan kerusakan lingkungan, perlu diketahui komponen lingkungan yang rusak akibat pencemaran pada tempat pembuangan akhir. Unsur mana yang terkena dampak dan bagaimana tingkat pencemaran yang ditimbulkan.
- d. Tujuan akhir yang hendak dicapai, tujuan yang hendak dicapai tergantung dari kondisi limbah, bersifat ekonomis atau non ekonomis. Untuk limbah yang memiliki nilai ekonomis mempunyai tujuan untuk meningkatkan efisiensi dan untuk memanfaatkan kembali bahan yang masih berguna. Sedangkan limbah non ekonomis pengolahan ditujukan untuk pencegahan perusakan lingkungan.

Berdasarkan beberapa pertimbangan di atas pengelolaan limbah padat dapat dilakukan proses-proses sebagai berikut :

1. Pemisahan

Pemisahan perlu dilakukan karena dalam limbah terdapat berbagai ukuran dan kandungan bahan tertentu. Proses pemisahan dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut :

- a. Sistem Balistik

Pemisahan cara ini dilakukan untuk mendapatkan ukuran yang lebih seragam, misalnya atas berat dan volumenya.

- b. Sistem Gravitasi

Pemisahan dilakukan berdasarkan gaya beratnya, misalnya terhadap bahan yang terapung dan bahan yang tenggelam dalam air yang karena gravitasi akan mengendap.

- c. Sistem Magnetis

Bahan yang bersifat magnetis akan menempel pada magnet yang terdapat pada peralatan sedangkan yang tidak mempunyai akan langsung terpisah.

2. Penyusutan Ukuran

Ukuran bahan diperkecil untuk mendapatkan ukuran yang lebih homogen sehingga mempermudah pemberian perlakuan pada pengolahan berikutnya dengan maksud antara lain :

- a. Ukuran bahan menjadi lebih kecil
- b. Volume bahan lebih kecil
- c. Berat dan volume bahan lebih kecil. Cara ini umumnya dilakukan dengan pembakaran (insenerasi) pada alat insenerator.
3. Pengomposan

Bahan kimia yang terdapat di dalam limbah diuraikan secara biokimia, sehingga menghasilkan bahan organik baru yang lebih bermanfaat. Pengomposan banyak dilakukan terhadap limbah yang sudah membusuk, buangan industri, lumpur pabrik dan sebagainya.

Untuk beberapa jenis buangan tertentu barang kali tidak membutuhkan pengomposan, tetapi pembakaran (insenerasi) dengan tahap sebagai berikut :

- a. Pemekatan
- b. Penghancuran
- c. Pengurangan air
- d. Pembakaran
- e. Pembuangan.

2.1.9 Dampak Limbah Padat Industri

a. Terhadap Lingkungan

1. Dampak Menguntungkan

Dapat dipakai sebagai penyubur tanah, penimbun tanah dan dapat memperbanyak sumber daya alam melalui proses daur ulang (Slamet, 2000).

2. Dampak merugikan

Limbah padat organik akan menyebabkan bau yang tidak sedap akibat penguraian limbah tersebut. Timbunan limbah padat dalam jumlah besar akan menimbulkan pemandangan yang tidak

sedap, kotor dan kumuh. Dapat juga menimbulkan pendangkalan pada badan air bila dibuang ke badan air (Wardhana, 2004).

b. Terhadap Manusia

1. Dampak menguntungkan

Dapat digunakan sebagai bahan makanan ternak, dapat berperan sebagai sumber energi dan benda yang dibuang dapat diambil kembali untuk dimanfaatkan (Slamet, 2000).

2. Dampak merugikan

Limbah padat dapat menjadi media bagi perkembangan vektor dan binatang pengguna. Baik tikus, lalat, nyamuk yang dapat menimbulkan penyakit menular bagi manusia diantaranya Demam berdarah, Malaria, Piloriasis, Pes, dan sebagainya (Wardhana, 2004).

2.2 Teknologi Konversi Termal

Proses konversi thermal dapat dicapai melalui beberapa cara, yaitu insinerasi, pirolisa, dan gasifikasi. Insinerasi pada dasarnya ialah proses oksidasi bahan-bahan organik menjadi bahan anorganik. Prosesnya sendiri merupakan reaksi oksidasi cepat antara bahan organik dengan oksigen. Apabila berlangsung secara sempurna, kandungan bahan organik (H dan C) dalam sampah akan dikonversi menjadi gas karbondioksida (CO_2) dan uap air (H_2O). Unsur-unsur penyusun sampah lainnya seperti belerang (S) dan nitrogen (N) akan dioksidasi menjadi oksida-oksida dalam fasa gas (SO_x , NO_x) yang terbawa di gas produk (Setiadi, 2007).

Insinerasi telah digunakan secara luas di Eropa dan Jepang tanpa memberikan dampak bagi kesehatan. Swiss, sebuah negara dengan standar lingkungan yang tinggi, insenerasi digunakan untuk mengelola sekitar 75 persen dan Jepang lebih dari 50 persen limbah padat mereka, menurut sebuah survei yang dilakukan oleh Integrated Waste Services Association pada musim semi tahun 1993. Swedia melakukan insenerasi pada 60 persen limbah padat mereka dan melakukan pengomposan hingga

25 persen. Salah satu cara yang paling efektif bagi banyak limbah, untuk mengurangi potensi berbahaya dan untuk mengkonversikannya ke bentuk energi, adalah dengan insinerasi. Incenaration atau insinerasi merupakan suatu metode pemusnahan sampah dengan cara membakar sampah secara besar-besaran dengan menggunakan fasilitas pabrik. Manfaat sistem ini, antara lain :

1. Volume sampah dapat diperkecil sampai sepertiganya.
2. Tidak memerlukan ruang yang luas.
3. Panas yang dihasilkan dapat dipakai sebagai sumber uap.
4. Pengelolaan dapat dilakukan secara terpusat dengan jadwal jam kerja yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan (Tchobanoglous, 2002).

Kerugian yang ditimbulkan akibat penerapan metode ini : biaya besar, lokalisasi pembuangan pabrik sukar didapat karena keberatan penduduk.

Peralatan yang digunakan dalam insenarasi, antara lain :

1. *Charging apparatus*

Charging apparatus adalah tempat penampungan sampah yang berasal dari kendaraan pengangkut sampah. Di tempat ini sampah yang terkumpul ditumpuk dan diaduk.

2. *Furnace*

Furnace atau tungku merupakan alat pembakar yang dilengkapi dengan jeruji besi yang berguna untuk mengatur jumlah masuk sampah dan untuk memisahkan abu dengan sampah yang belum terbakar. Dengan demikian tungku tidak terlalu penuh.

3. *Combustion*

Combustion atau tungku pembakar kedua, memiliki nyala api yang lebih panas dan berfungsi untuk membakar benda-benda yang tidak terbakar pada tungku pertama.

4. *Chimney* atau *stalk*

Chimney atau *stalk* adalah cerobong asap untuk mengalirkan asap keluar dan mengalirkan udara ke dalam.

5. *Miscellaneous features*

Miscellaneous features adalah tempat penampungan sementara dari debu yang terbentuk, yang kemudian diambil dan dibuang (Chandra, 2007).

Perbandingan insinerasi (penghancuran bahan limbah oleh panas) dengan metode pembuangan lainnya seperti *land burial* (mengubur dalam tanah), keuntungan dari pembakaran adalah:

- Volume dan berat limbah tereduksi menjadi ukuran kecil dari ukuran aslinya.
- Pengurangan sampah secara langsung, tidak membutuhkan lahan jangka panjang seperti *landfill* atau *holding pond*.
- Limbah dapat dibakar di tempat, tanpa harus dibawa ke daerah yang jauh.
- Udara buangan dapat dikendalikan secara efektif untuk dampak minimal pada lingkungan atmosfer. Residu abu biasanya tidak *putrescible*, atau steril.
- Teknologi insinerasi benar-benar menghancurkan bahkan yang paling berbahaya dari bahan yang diolah secara lengkap dan efektif.
- Insinerasi membutuhkan area pembuangan relatif kecil, dibandingkan dengan luas lahan yang dibutuhkan untuk pembuangan TPA konvensional.
- Dengan menggunakan teknik panas pemulihan biaya operasi seringkali dapat dikurangi atau diimbangi melalui penggunaan atau penjualan energi.

Insinerasi tidak akan menyelesaikan semua masalah limbah. Beberapa kelemahan meliputi:

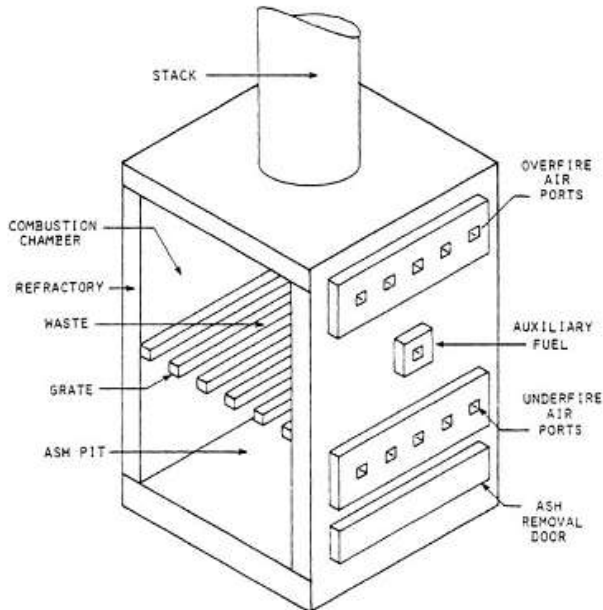
- Biaya modal yang tinggi.
- Operator terampil diperlukan.
- Tidak semua bahan yang *incinerable* (misalnya, limbah konstruksi dan pembongkaran).
- Bahan bakar tambahan diperlukan untuk memulai proses dan pada saat untuk menjaga proses pembakaran (Tchobanoglous et al., 2002).

Insinerator limbah padat biasanya dikategorikan sesuai dengan sifat bahan yang mereka dirancang untuk melakukan pembakaran (yaitu, limbah sampah atau industri). Namun, lebih dari satu jenis limbah sering dapat dibakar dalam suatu unit.

Insinerator untuk penghancuran limbah padat adalah kelas yang paling sulit bagi insinerator untuk dirancang dan dioperasikan, terutama karena sifat dari bahan limbah. Limbah padat dapat bervariasi dalam komposisi dan karakteristik fisik, membuat efek harga bahan bakar dan parameter pembakaran sangat sulit untuk diprediksi. Insinerator limbah padat yang paling sering membakar limbah memiliki rentang nilai panas yang rendah dan tinggi (yaitu, dari sampah basah dengan nilai panas yang harus diterima serendah 2500 Btu / lb, untuk limbah plastik, lebih dari 19.000 Btu / lb). Penanganan material, pembakaran, dan peralatan residu penghancuran lebih kritis, rumit, mahal, dan sulit untuk dikontrol daripada dengan jenis lain dari insinerator.

Pirolisa merupakan proses konversi bahan organik padat melalui pemanasan tanpa kehadiran oksigen. Dengan adanya proses pemanasan dengan temperatur tinggi, molekul-molekul organik yang berukuran besar akan terurai menjadi molekul organik yang kecil dan lebih sederhana. Hasil pirolisa dapat berupa tar, larutan asam asetat, methanol, padatan char, dan produk gas.

Gasifikasi merupakan proses konversi termokimia padatan organik menjadi gas. Gasifikasi melibatkan proses perengkahan dan pembakaran tidak sempurna pada temperatur yang relatif tinggi (sekitar 900-1100 C). Seperti halnya pirolisa, proses gasifikasi menghasilkan gas yang dapat dibakar dengan nilai kalor sekitar 4000 kJ/Nm³.



Gambar 2.3 Contoh Single-Chamber Incinerator

Sumber: U.S. EPA, 1980

Untuk menghitung karakteristik dari *combustion*, dapat digunakan persamaan berikut:

Persamaan I :

$$\text{Emisi } i \text{ [Mg]} = \text{konsentrasi emisi } i \text{ (Mg} \cdot 10^{-9} / \text{m}^3) \cdot \text{volume gas buang (kering) [m}^3 / \text{Mg sampah]} \cdot \text{jumlah sampah yang diinsenerasi [Mg sampah]} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

$i = \text{CO}_2, \text{N}_2\text{O}, \text{CH}_4, \text{NO}_x, \text{CO}, \text{TOC}$

volume gas buang (kering) = $5500 \text{ m}^3 / \text{Mg sampah}$ (Tabel 2.3)

**Tabel 2.3 Perbedaan Volume Gas Buang Pada fasilitas
Insinerasi sampah**

Tipe	Volume gas buang (kering)
<i>Municipal Solid Waste Incineration</i>	5500 m ³ /Mg sampah
<i>Hazardous Waste Incineration</i>	7000 m ³ /Mg Sampah
<i>Mono Sewage Sludge Incineration</i>	8000 m ³ /Mg limbah lumpur kering

Sumber: IPCC, 2001

Persamaan II:

Emisi i dalam CO₂-equivalent [Mg CO₂] = Emisi i [Mg emisi] • GWP [Mg CO₂/Mg emission](2.2)

Dimana:

GWP = Global Warming Potential (Tabel 2.4)

Tabel 2.4 Global Warming Potential (GWP)

Emisi	GWP(100 tahun) [kg CO ₂ /kg emisi]
CO ₂	1
N ₂ O	310
CO	3
NM VOC	11
NH ₃	-
NO _x	8
CH ₄	21

Sumber: IPCC, 2001

Untuk karakteristik emisi pada gasifikasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

Besarnya emisi (kg/ton)

$$= \frac{\text{Input gasifier} \left(\frac{\text{ton}}{\text{thn}} \right) \times \text{Parameter Pencemar} \left(\frac{\text{ton}}{\text{ton}} \right) \times \text{faktor emisi}}{\text{produksi sampah} \left(\frac{\text{ton}}{\text{thn}} \right)} \times 1000 (2.3)$$

Faktor emisi yang digunakan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.5 Dasar Penentuan Faktor Emisi dalam Proses Gasifikasi

Emisi	Basis Perhitungan	Faktor emisi (kg/basis perhitungan)	Keterangan	Referensi
CO ₂ total	1 kg Ctot (Cbio+Cfossil)	44/12*0,996=3,652	99,6% karbon diasumsikan teroksidasi, sisanya sebagai CO dan terikut dalam char dan tar	Sundqvist (1999) dan Hellweg et al.(2001)
CO ₂ fossil	1 kg Ctot_fossil	3,652	dari bahan-bahan fosil seperti: plastik, karet, kulit, tekstil dan pembalut	Sundqvist (1999) dan Hellweg et al.(2001)
CO	1 kg Ctot	0,00052		Sundqvist (1999)

Emisi	Basis Perhitungan	Faktor emisi (kg/basis perhitungan)	Keterangan	Referensi
SO ₂	1 kg S	$0,01 * 0,8 * 64 / 32 = 0,016$	80% S yang terikut flue gas diemisikan sebagai SO ₂	Hellweg et al.(2001)
H ₂ S	1 kg S	$0.01 * 0,2 * 64 / 32 = 0.004$	20 % S yang terikut flue gas diemisikan sebagai H ₂ S	Hellweg et al.(2001)
NO _x	1 Kg N	$0,997 * 0,002 * 46 / 14 = 0,00655$		Hellweg et al.(2001)

Sumber: Sundqvist (1999) dan Hellweg et al.(2001)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

1.1 Umum

Studi yang akan dilakukan adalah menganalisa pemrosesan akhir buangan padat dengan teknologi konversi termal. Metode pemulisan studi literatur ini berdasarkan acuan jurnal nasional, jurnal internasional, buku-buku terkait yang membahas mengenai teknologi konversi termal, serta studi kasus yang terdapat di media cetak dan elektronik.

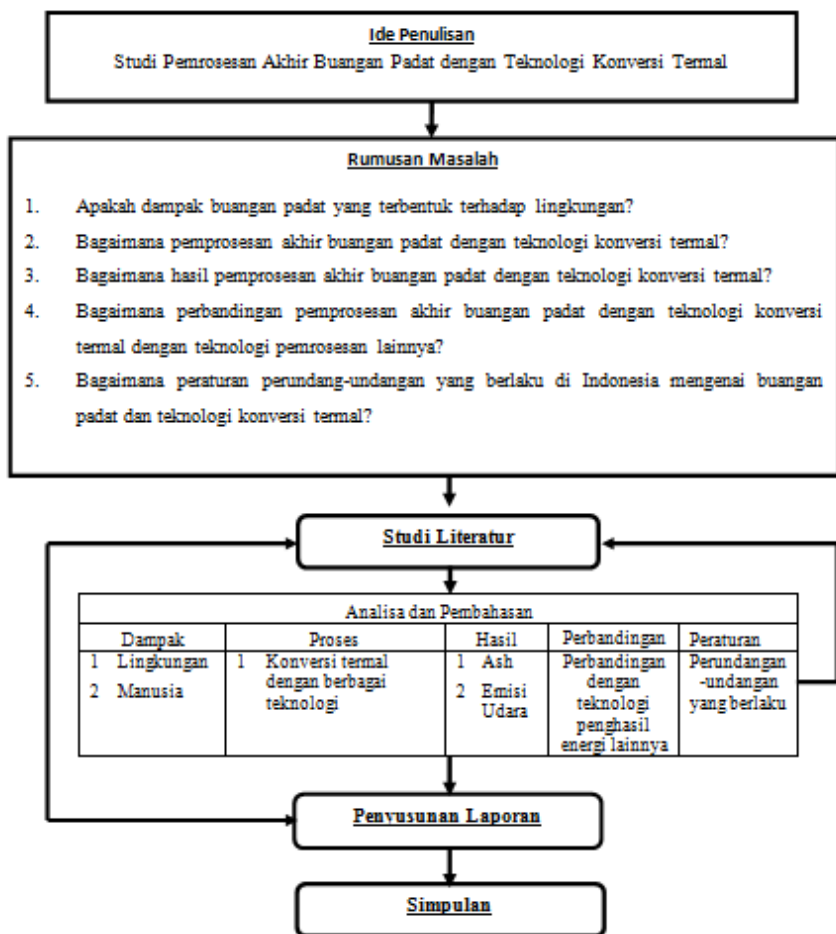
Kemudian akan dilakukan analisa perundang-undangan yang berlaku di Indonesia mengenai pemrosesan akhir buangan padat dengan teknologi konversi termal.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan studi literatur yang dibuat berdasarkan adanya permasalahan dalam ide untuk mencapai tujuan penelitian. Penyusunan kerangka penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui segala sesuatu yang berhubungan dengan pelaksanaan Tugas Akhir dan tujuan dari penyusunan tersebut adalah:

1. Mengetahui gambaran awal dari tahapan – tahapan studi literatur secara sistematis sehingga pelaksanaan studi dan penyusunan laporan bisa lebih sistematis.
2. Mempermudah pelaksanaan studi dengan mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan studi literatur sehingga tujuan penelitian dapat tercapai.
3. Memperkecil dan menghindari terjadinya kesalahan-kesalahan selama pelaksanaan studi.

Kerangka penelitian untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3 Tahapan Studi

3.3.1 Ide Penulisan

Ide dari penulisan ini yaitu studi pemrosesan akhir buangan padat dengan teknologi konversi termal. Jenis-jenis buangan padat yang dapat diproses dengan teknologi konversi termal.

Hasil pemrosesan yang dihasilkan dan peraturan perundangan yang mengatur.

3.3.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dikembangkan dengan mengetahui asal usul buangan padat dan jenis-jenisnya. Kemudian dapat diketahui dampaknya baik bagi manusia maupun lingkungan. Setelah diketahui dampaknya, diupayakan metode pemrosesan yang tepat untuk buangan padat. Salah satunya adalah dengan teknologi konversi termal. Dengan teknologi konversi termal ini akan dijelaskan bagaimana prosesnya dan hasil dari proses konversi termal ini. Hasil dan karakteristik dari berbagai proses pengolahan secara termal ini dibandingkan dan dihubungkan dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku di Indonesia.

3.3.3 Studi Literatur

Studi literatur dikelompokkan menjadi beberapa bagian utama yang meliputi:

1. Dampak, dimana akan diketahui dampak buangan padat bagi manusia dan lingkungan.
2. Proses, dimana akan dijelaskan pemrosesan buangan padat dengan teknologi konversi termal yaitu dengan insenerasi.
3. Hasil dari proses konversi termal, yaitu berupa *ash* dan emisi udara.
4. Perbandingan dengan teknologi lain mengenai energi yang dihasilkan.
5. Peraturan perundang-undangan yang berlaku di Indonesia mengenai studi pemrosesan akhir buangan padat dengan teknologi konversi termal.

3.3.5 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan mengacu kepada studi literatur. Studi literatur menjadi acuan teoritis. Studi literature yang dianalisis saling melengkapi sehingga terbentuklah sebuah

penulisan mendalam mengenai pemrosesan akhir buangan padat dengan teknologi konversi termal, namun didalamnya juga dikembangkan pula dengan menganalisis hasil pemrosesan, perbandingan hasil dan karakteristik dari berbagai proses pengolahan dan juga peraturan perundang-undangan yang berlaku. Pada analisis ini juga dibahas mengenai studi kasus baik yang terjadi di luar negeri dan Indonesia.

3.3.6 Penyusunan Laporan

Serangkaian studi, analisis dan pembahasan dituangkan dalam penyusunan laporan secara tertulis. Penyusunan laporan membahas serangkaian dari awal sumber terbentuknya buangan padat, dampaknya terhadap lingkungan dan manusia, jenis buangan padat yang dapat diolah dengan teknologi konversi termal, mekanisme pemrosesan buangan padat dengan teknologi konversi termal, dan hasil yang terbentuk. Selain itu akan dibahas pula perbandingan berbagai proses konversi termal dan dikaitkan dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

3.3.6 Simpulan dan Rekomendasi

Dari analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil suatu kesimpulan yang menyatakan ringkasan dari hasil studi yang menjawab rumusan masalah studi. Saran diberikan untuk perbaikan penelitian dan pelaksanaan studi penelitian lebih lanjut.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Dampak dari Teknologi Konversi Termal

Limbah dan sampah berpotensi besar dalam pencemaran lingkungan karena menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan hidup serta merusak ekosistem alaminya. Dampak negatif dari menurunnya kualitas lingkungan hidup, baik karena terjadinya pencemaran atau rusaknya sumber daya alam adalah timbulnya ancaman atau dampak negatif terhadap kesehatan, menurunnya nilai estetika, kerugian ekonomi (*economic cost*), dan terganggunya sistem alami (*natural system*).

Dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat akan dirasakan dalam kurun waktu jangka panjang. Dengan tercemarnya lingkungan hidup oleh limbah dan sampah nilai estetika dari lingkungan tersebut akan menurun, lingkungan yang tercemar tersebut akan terlihat kumuh dan tidak dapat digunakan untuk kepentingan sehari-hari. Tercemarnya lingkungan juga akan mengganggu sistem alami dari lingkungan tersebut, komponen yang terdapat pada lingkungan tersebut akan menjadi rusak (Permadi, 2012).

Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan (2006) menunjukkan adanya pencemaran air tanah yang disebabkan oleh sampah pada *landfill*. Studi ini dilakukan di TPA Galuga Cibungbulang, Bogor. Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran kualitas air sumur di sekitar TPA. Parameter yang digunakan terbagi menjadi 3, yaitu:

a. Fisika

Parameter fisika yang digunakan yaitu suhu, bau, rasa, zat padat terlarut dan zat padat tersuspensi. Berdasarkan baku mutu air kelas I (PP No.82 tahun 2001) suhu yang tampak pada masing-masing titik tergolong normal dan kategori yang diperbolehkan. Untuk bau dan rasa beberapa titik terlihat melampaui ambang batas yang ditetapkan, yang seharusnya tidak berbau dan berasa.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Kualitas Air Sumur Gali, Sekitar TPA Galuga

No	Parameter	Satuan	Titik Sampling				Baku Mutu
			S1	S2	S3	S4	
I	FISIKA						
1	Suhu	°C	27.6	27.8	27.3	27.6	Suhu air normal
2	Bau	-	-	-	busuk	-	-
3	Rasa	-	Agak asam	-	Agak pahit	-	-
4	Zat Padat Terlarut	mg/l	183.33	116.67	270	586.67	1000
5	Zat Padat Tersuspensi	mg/l	1	1.8	6	2.67	50
II	KIMIA						
6	pH	-	4.74	5.11	6.24	5.13	6-9
7	DO	mg/l	1.96	2.35	0.98	2	≥6
8	BOD ₅	mg/l	317	83.2	214	29.7	2
9	COD	mg/l	952	208.25	646	119	10
10	Amonia(N-NH ₃)	mg/l	1.13	4.08	6.88	4.15	0.5

No	Parameter	Satuan	Titik Sampling				Baku Mutu
			S1	S2	S3	S4	
11	Nitrit(N-NO ₂)	mg/l	0.001	0.009	0.014	0.375	0.06
12	Nitrat(N-NO ₃)	mg/l	0.21	0.001	0.001	0.042	10
13	Fosfat(PO ₄ ³⁻)	mg/l	0.0005	0.0005	0.503	0.0005	0.2
14	Besi(Fe)	mg/l	ttd	ttd	ttd	ttd	0.3
15	Timbal(Pb)	mg/l	ttd	ttd	ttd	ttd	0.03
16	Tembaga(Cu)	mg/l	0.014	0.012	0.018	ttd	0.02
17	Krom(Cr)	mg/l	ttd	ttd	ttd	ttd	0.05
18	Kadmium(Cd)	mg/l	ttd	ttd	ttd	ttd	0.01
19	Seng(Zn)	mg/l	ttd	0.002	0.129	ttd	0.05
III	MIKROBIOLOGI						
20	Fecal Coli (<i>E. Coli</i>)	MPN/100ml	-	1500	3500	120	100
21	Coliform	MPN/100ml	-	7000	10000	300	1000

Sumber: Penelitian Kurniawan, 2006

Keterangan:

S1: Pengambilan sampel air jarak 5 m dari TPA

S2: Pengambilan sampel air jarak 400 m dari TPA

S3: Pengambilan sampel air jarak 700 m dari TPA

S4: Pengambilan sampel air jarak 600 m dari TPA

ttd: tidak terdeteksi

Baku Mutu: Air Kelas I PP No.82/2001

Sedangkan untuk zat padat terlarut dan tersuspensi tidak melewati ambang batas.

b. Kimia

Untuk parameter kimia, ada beberapa parameter yang tidak sesuai kriteria baku mutu. Untuk pH hanya titik S3 yang sesuai, sedangkan yang lainnya tidak sesuai. Untuk nilai DO sangat rendah, sedangkan nilai BOD₅ sangat tinggi. Begitu juga nilai COD yang jauh diatas ambang batas baku mutu. Parameter lain yang melebihi sesuai ambang batas yaitu amonia(semua titik), nitrit (titik S4), fosfat (titik S3), seng (titik S3).

c. Mikrobiologi

Parameter mikrobiologi ada hanya 2 yaitu *E. Coli* dan Coliform. Untuk parameter *E. Coli* hampir rata-rata melebihi ambang batas hanya titik S1 saja yang tidak. Untuk coliform yang melewati ambang batas adalah titik S2 dan S3.

Dari gambaran diatas dapat dilihat bagaimana buangan padat dapat mencemari lingkungan. Beberapa indikator pencemaran telah terlewati, sehingga dapat dikatakan air tanah di daerah tersebut telah tercemar, terutama pada titik S3. Dari parameter mikrobiologi yaitu *E. Coli* dan Coliform telah melewati ambang batas yang dapat menyebabkan bahaya bagi kesehatan jika diminum apabila tidak dilakukan treatment terlebih dahulu.

Dampak positif secara umum untuk teknologi pemrosesan buangan padat dengan konversi termal (Latief, 2010) adalah sebagai berikut:

- a) Mengurangi-massa/volume limbah, proses oksidasi limbah pada pembakaran temperatur tinggi dihasilkan abu, gas dan energi panas.
- b) Mendestruksi komponen berbahaya, tidak hanya digunakan untuk membakar sampah kota (sampah rumah tangga), namun juga digunakan untuk limbah industri (termasuk limbah B3), limbah medis (limbah infectious). Insinerator juga dipakai untuk limbah

non padat seperti sludge dan limbah cair yang sulit terdegradasi. Insinerator merupakan sarana standar untuk menangani limbah medis dari rumah sakit. Sasaran utama untuk mendestruksi pathogen yang berbahaya seperti kuman penyakit menular.

- c) Pemanfaatan energi panas, insinerasi adalah identik dengan pembakaran, yaitu dapat menghasilkan energi yang dapat dimanfaatkan. Faktor penting yang harus diperhatikan adalah
- d) Kuantitas dan kontinuitas limbah yang akan dipasok. Kuantitas harus cukup untuk menghasilkan energi secara kontinu agar suplai energi tidak terputus.

Dampak negatif secara umum untuk teknologi pemrosesan buangan padat dengan konversi termal adalah sebagai berikut: (Latief, 2010):

- a) Menghasilkan bahan pencemaran dan mengancam kesehatan masyarakat.
- b) Memberi beban finansial yang cukup berat bagi masyarakat yang berada di sekitar lokasi fasilitas pembakaran.
- c) Menguras sumber daya finansial masyarakat setempat.
- d) Memboroskan energi dan sumberdaya material.
- e) Mengganggu dinamika pembangunan ekonomi setempat.
- f) Meremehkan upaya minimisasi sampah dan pendekatan-pendekatan rasional dalam pengelolaan sampah.
- g) Memiliki pengalaman operasional bermasalah di negara-negara industri.

Tiap-tiap teknologi pemrosesan buangan padat memiliki dampak yang berbeda-beda baik dari segi positif dan negatifnya. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan pada teknologi pemrosesannya itu sendiri. Pada proses *combustion* sendiri memiliki dampak negatif yaitu sebagai berikut:

- a) Dapat terbentuknya senyawa *dioxins*, *furans*, *volatile organic compounds* (VOCs), dan senyawa-senyawa berbahaya lainnya pada gas buang (Tchobanoglous et al., 1993).
- b) Penggunaan dalam jumlah besar udara berlebih, untuk memaksimalkan konversi buangan padat, meningkatkan produksi CO₂ (Fericelli, 2011).
- c) Suhu operasional tidak dapat memberikan fusi lengkap (sebagai slag) abu dan bahan mineral (Fericelli, 2011).
- d) Biaya kontrol polusi udara dapat melebihi biaya peralatan konversi energi (Fericelli, 2011).
- e) Pada beberapa kasus, abu harus dikeringkan atau distabilisasi secara kimia untuk memenuhi kriteria pembuangan (Fericelli, 2011).
- f) Air olahan dari pengendalian polusi udara akhirnya dibuang ke fasilitas pengolahan air limbah untuk tidak meningkatkan biaya peralatan pengolahan (Fericelli, 2011).

Sedangkan dampak positif dari *combustion* yaitu (Fericelli, 2011):

- a) Kemampuan yang tinggi dalam mereduksi volume dan berat sampah.
- b) Sensitifitas yang rendah terhadap jenis sampah
- c) Pada fasilitas yang modern terdapat teknologi untuk mendaur ulang panas atau konsumsi listrik.
- d) Penjualan energi dapat mengurangi biaya yang diperlukan.
- e) Ash yang dihasilkan dapat digunakan untuk penutup harian *landfill*.
- f) Garam dan asam dapat diperoleh dari air olahan pada proses kontrol polusi udara.
- g) Kebutuhan *landfill* berkurang karena tingkat reduksinya yang tinggi.
- h) Beberapa fasilitas *combustion* menghasilkan dan menjual logam.

Pada proses *gasification* memiliki dampak negatif yaitu sebagai berikut (Fericelli, 2011):

- a) Biaya awal pembangunan fasilitas gasifikasi mahal.
- b) Memiliki proses yang kompleks.
- c) Syngas yang dihasilkan harus diolah.
- d) Kebutuhan energi yang banyak untuk memulai reaksi.

Sedangkan dampak positif dari *gasification* yaitu (Fericelli, 2011):

- a) Kemampuan yang tinggi dalam mereduksi volume dan berat sampah.
- b) Kebutuhan *landfill* berkurang karena tingkat reduksinya yang tinggi.
- c) Lebih sedikit oksigen yang digunakan, sehingga emisi yang dihasilkan juga sedikit.
- d) Memproduksi syngas yang banyak memiliki kegunaan (produksi listrik, bahan kimia, metanol, dan lain sebagainya).

Dampak positif dari *pyrolysis* yaitu (Bassilakis, 2011):

- a) Dapat digunakan untuk semua jenis produk yang solid dan dapat lebih mudah disesuaikan dengan perubahan komposisi bahan baku.
- b) Teknologi ini relatif sederhana dan dapat dibuat kompak dan ringan dan dengan demikian dapat digunakan untuk operasi pesawat ruang angkasa.
- c) Dapat dijalankan sebagai batch, proses yang bertekanan rendah, dengan persyaratan minimal untuk pemrosesan awal bahan baku.
- d) Dapat menghasilkan beberapa produk yang dapat digunakan dari limbah padat (misalnya, CO₂, CO, H₂O, H₂, NH₃, CH₄, dan lain-lain).
- e) Teknologi dapat dirancang untuk meminimalisasi produk samping yang tidak dapat digunakan.
- f) Dapat memproduksi bahan kimia yang bernilai dan bahan baku kimia; misalnya, senyawa kaya nitrogen untuk pupuk, monomer, hidrokarbon.

- g) Pirolisis secara signifikan akan mengurangi volume penyimpanan bahan limbah sementara unsur-unsur penting seperti karbon dan nitrogen dapat dengan efisien disimpan dalam bentuk *pyrolysis char* dan kemudian dapat dipulihkan dengan gasifikasi atau insinerator bila diperlukan.

Dampak negatif dari *pyrolysis* yaitu (Basilakis, 2011):

- a) Produk yang dihasilkan lebih kompleks daripada jenis pemrosesan lainnya.
- b) Gas produk tidak dapat dibuang secara langsung tanpa perlakuan lebih lanjut karena konsentrasi CO yang tinggi.

4.2 Pemrosesan Buangan Padat dengan Teknologi Konversi Termal

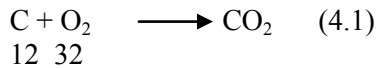
Konversi termal buangan padat dapat didefinisikan sebagai konversi buangan padat menjadi gas, cairan dan produk dalam bentuk padatan, dengan secara bersamaan atau kemudian melepaskan energi panas. Sistem pemrosesan ini dapat dikategorikan menurut kebutuhan udara yang diperlukan dan dapat dilihat pada gambar 4.1.

4.2.1 Combustion System

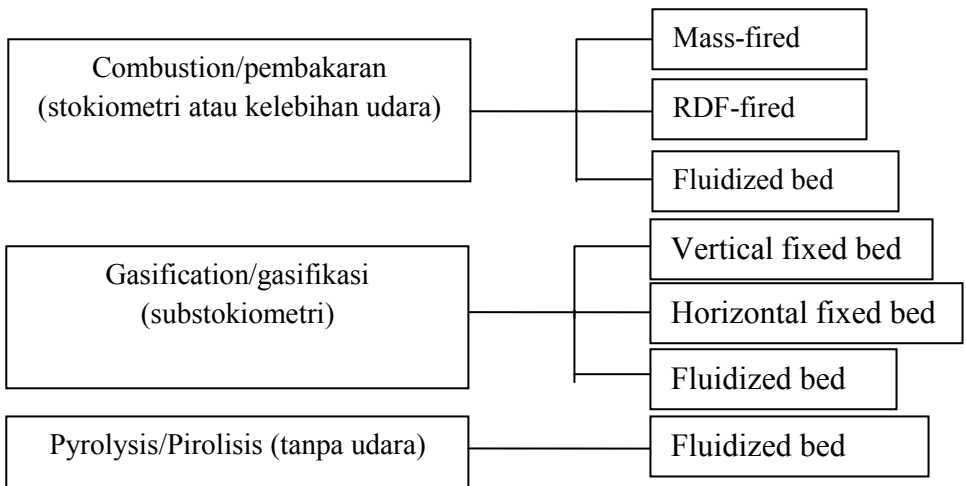
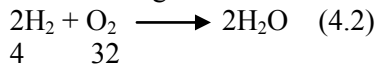
Combustion dapat didefinisikan sebagai pemrosesan buangan padat secara termal dengan oksidasi kimia yang stokiometri atau kelebihan jumlah udara. Hasil akhir yaitu gas panas pembakaran, yang tersusun dari nitrogen, karbondioksida, uap air (gas buang); dan residu yang tak terbakar (abu). Energi dapat dihasilkan dari perpindahan panas dari gas panas hasil pembakaran. Operasi dasar dari pembakaran buangan padat dapat diidentifikasi dan dijelaskan pada gambar berikut.

Reaksi dasar dari *stoichiometric combustion* dari karbon, hidrogen dan sulfur pada fraksi organik dari MSW adalah sebagai berikut:

Untuk karbon:

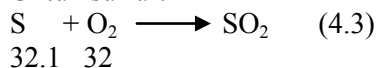


Untuk hidrogen:

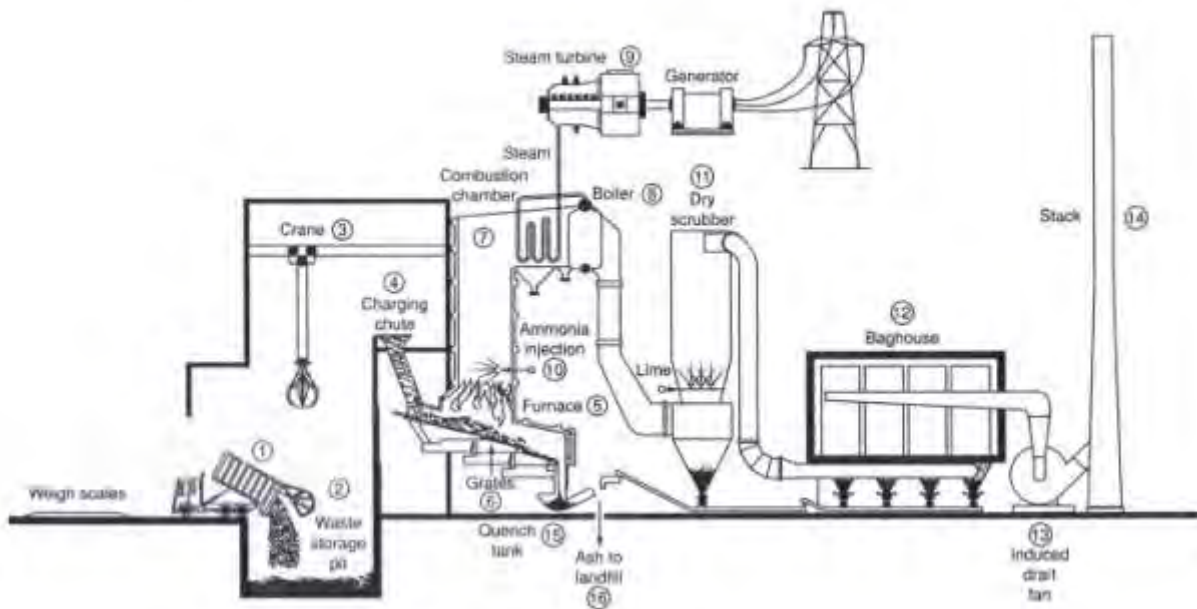


Gambar 4.1 Penggambaran sistem konversi termal

Untuk sulfur:



Jika diasumsikan bahwa udara kering mengandung 23,15 persen oksigen dari beratnya, maka jumlah udara yang dibutuhkan untuk oksidasi 1 lb karbon adalah setara dengan 11,52 lb $[(32/12)/(1/0,2315)]$. Jumlah yang sesuai untuk hidrogen dan sulfur berturut-turut adalah 34,56 dan 4,31 lb. Yang perlu dicatat bahwa jumlah hidrogen pertama-tama harus disesuaikan dengan mengurangi seperdelapan persen oksigen dari total persen hidrogen awal yang terdapat dalam sampah (perhitungan



Gambar 4.2 Proses dasar dari Combustion/pembakaran

Sumber: Thcobanoglous et al., 1993

pengurangan ini untuk oksigen pada sampah yang dikombinasikan dengan hidrogen untuk membentuk uap air).

Sistem pembakaran sampah padat dapat didesain untuk beroperasi dengan dua tipe bahan bakar buangan padat: *commingled solid waste (mass-fired)* dan *processed solid waste refuse-derived fuel (RDF-fired)*. Sistem pembakaran *mass-fired* adalah tipe yang dominan digunakan.

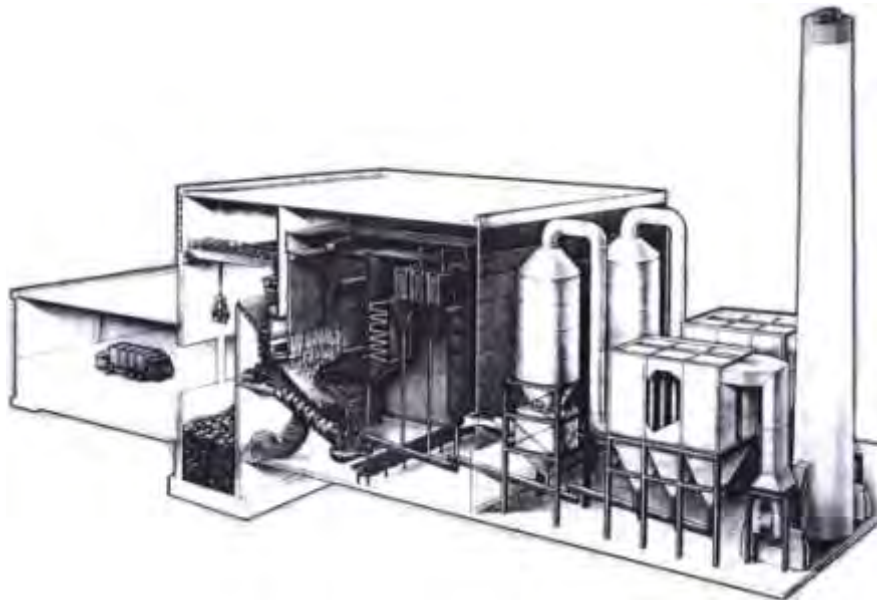
a) *Mass-Fired Combustion System*

Pada sistem pembakaran *mass-fired*, sedikit proses diberikan kepada buangan padat sebelum ditempatkan pada corong pengisian dari sistem tersebut. Operator *crane* pada pengisian corong dapat secara manual menolak benda-benda yang jelas tidak diinginkan. Bagaimanapun harus diasumsikan bahwa segala sesuatu pada aliran buangan padat yang dapat masuk ke dalam sistem, termasuk yang berukuran besar, benda berukuran besar yang tak dapat terbakar (seperti lemari es) dan sesuatu yang berpotensi berbahaya dapat dengan bebas atau tidak hati-hati masuk ke dalam sistem.

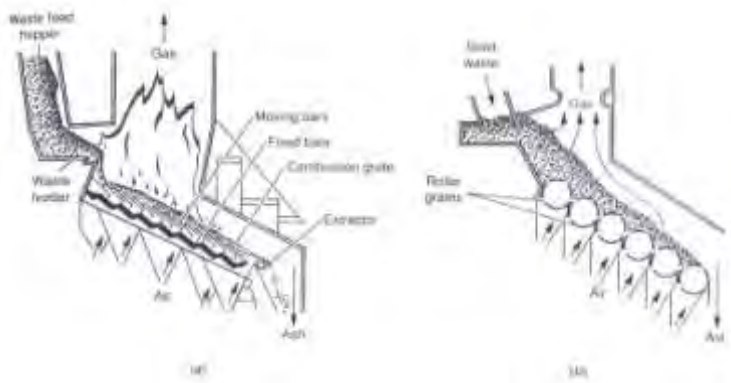
Salah satu komponen yang paling penting dari sebuah sistem pembakaran *mass-fired* adalah sistem perapian. Sistem itu memiliki beberapa fungsi, termasuk perpindahan sampah ke dalam sistem, pencampuran sampah, dan penyuntikan udara pembakaran. Banyak variasi dari perapian yang bisa digunakan, berdasarkan *reciprocating*, *rocking*, atau *rotating elements*. Sistem perapian secara umum untuk *mass-fired combustors* dapat ditunjukkan pada gambar 4.4.

b) *RDF-Fired Combustion System*

Pada pembakaran tipe *RDF-fired*, secara umum *RDF* adalah pembakaran dengan perapian yang berjalan. Perapian menyediakan sebuah platform pada *RDF* yang dapat membakar dan menyediakan kondisi api yang kekurangan udara sehingga dapat mendukung pergolakan dan keseragaman pembakaran.



Gambar 4.3 Modern mass-fired combustor untuk sampah padat kota
Sumber: Ogden Martin Systems, Inc, 1993



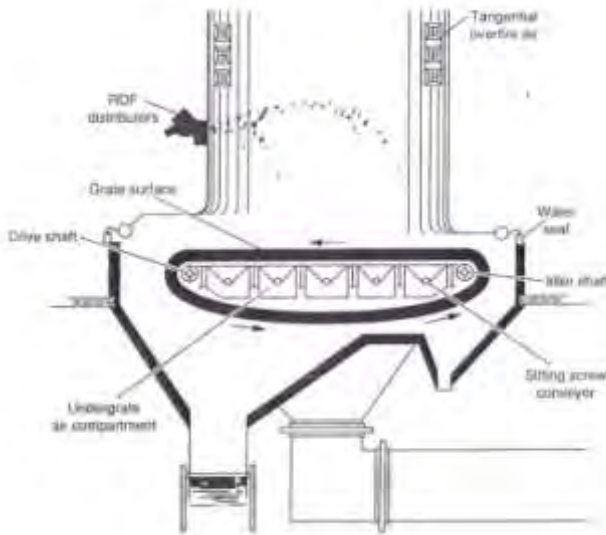
Gambar 4.4 Contoh sistem perapian yang digunakan untuk mass-fired combustors: (a) Martin grate dan (b) Dusseldorf Grate

Sumber: Odgen Martin System, Inc dan American Ref-Fuel, Inc, 1993

Hasil terbaik yang dapat dihasilkan dari sistem pembakaran khusus yang didesain untuk RDF.

c) *Fluidized Bed Combustion*

Fluidized Bed Combustion adalah sebuah desain alternative untuk sistem pemabakaran konvensional. Pada bentuk yang paling sederhana, sebuah sistem FBC meliputi silinder baja vertical, biasanya berupa lapisan tahan panas, dengan *sand bed*, sebuah plat berkisi-kisi dan *nozzle* penyemprot udara yang dikenal dengan *tuyeres*.

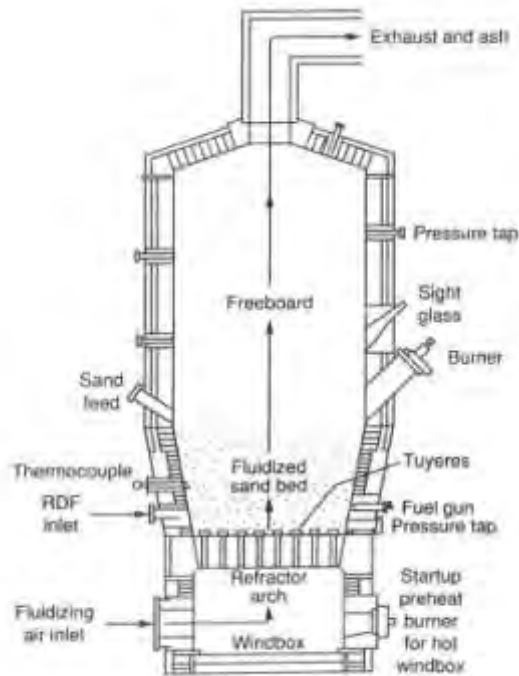


Gambar 4.5 Modern RDF-fired combustor dengan perapian yang berjalan

Sumber: ABB Resource Recovery System, 1993

4.2.2 Pyrolysis System

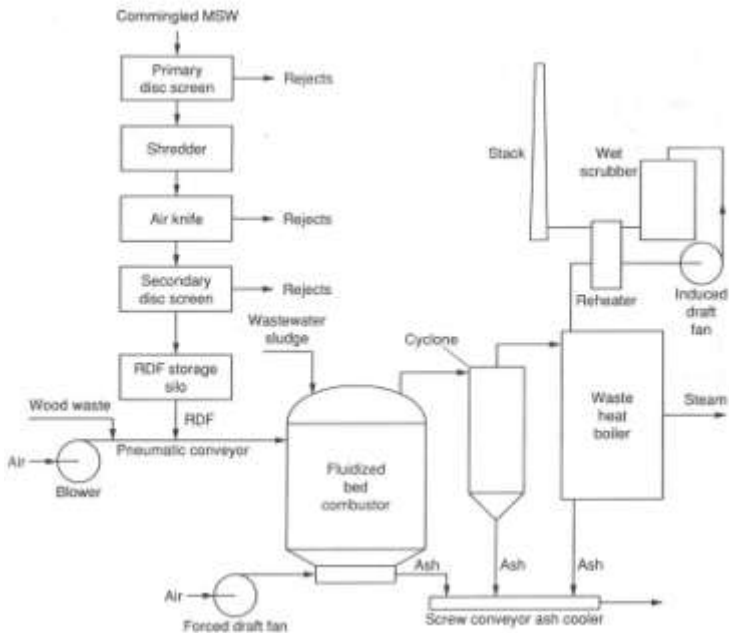
Pyrolysis adalah pemrosesan sampah secara termal tanpa adanya oksigen. Keduanya yaitu pirolisis dan gasifikasi digunakan untuk mengubah sampah padat menjadi gas, cairan, dan bahan bakar padat. Perbedaan prinsip pada keduanya adalah pirolisis menggunakan sumber panas dari luar untuk mendorong reaksi pirolisis secara endotermik pada keadaan bebas oksigen. Dimana gasifikasi merupakan sistem mandiri dan menggunakan udara atau oksigen untuk proses pembakaran parsial sampah padat.



Gambar 4.6 Sistem umum dari fluidized bed combustion

Sumber: Kleinan, 1988

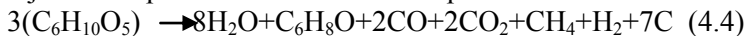
Karena sebagian besar substansi organik tidak stabil dalam kondisi panas, maka mereka bisa, pada saat pemanasan dalam suasana bebas oksigen, dipecah melalui kombinasi *thermal cracking* dan kondensasi menjadi gas, cair, fraksi padat. Perbedaan secara mendasar adalah proses combustion dan gasification sangat eksotermik, sedangkan proses pirolisis merupakan proses yang sangat endotermik, membutuhkan sumber panas dari luar. Untuk alasan ini, istilah *destructive distillation* sering digunakan sebagai istilah alternatif untuk pirolisis.



Gambar 4.7 Skema dari Duluth, Minnesota fluidized bed system

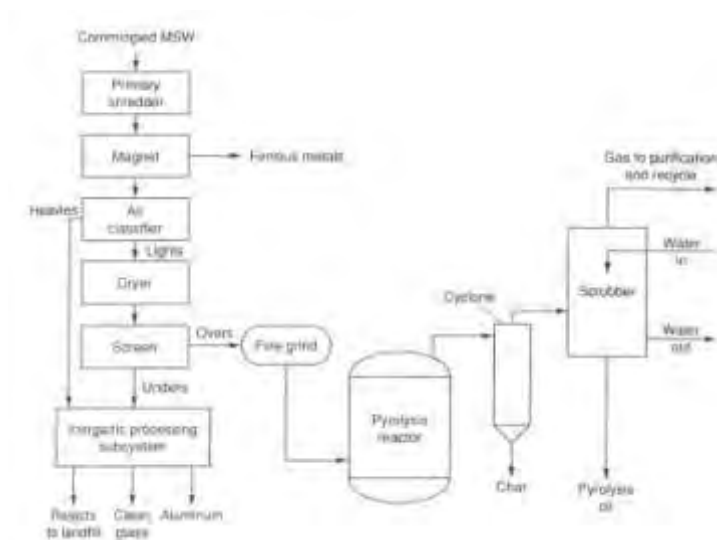
Sumber: Kleinan, 1988

Untuk selulosa, $C_6H_{10}O_5$, persamaan berikut ini dapat dijadikan representative untuk reaksi pirolisis:



4.2.3 Gasification System

Gasifikasi adalah istilah umum yang digunakan untuk mendeskripsikan proses pembakaran sebagian dimana bahan bakar sengaja dibakar dengan kondisi udara yang kurang dari stoikiometri. Meskipun proses ini ditemukan pada abad ke-19, tetapi mulai baru-baru ini diterapkan pada pengolahan limbah padat. Gasifikasi merupakan teknik yang efisien energi untuk mengurangi volume sampah padat dan menghasilkan energi.

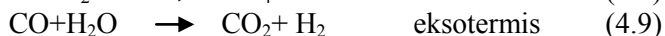


Gambar 4.8 Diagram skema dari Occidental flash pyrolysis system untuk bagian organik dari sampah padat kota

Sumber: Harrison, 1980

Pada dasarnya , proses ini melibatkan pembakaran parsial dari bahan bakar yang mengandung karbon untuk menghasilkan gas yang mudah terbakar yang kaya akan karbon monoksida, hidrogen, dan sejumlah hidrokarbon jenuh, umumnya berupa gas metan. Gas bahan bakar yang mudah terbakar tersebut dapat dibakar pada mesin pembakaran internal, turbin gas, atau ketel uap dalam kondisi kelebihan udara.

Selama proses gasifikasi, 5 prinsip reaksi yang terjadi:



Ada 5 tipe dasar proses gasifikasi: (1) *vertical fixed bed*, (2) *horizontal fixed bed*, (3) *fluidized bed*, (4) *multiple heart*, (5) *rotary klin*.

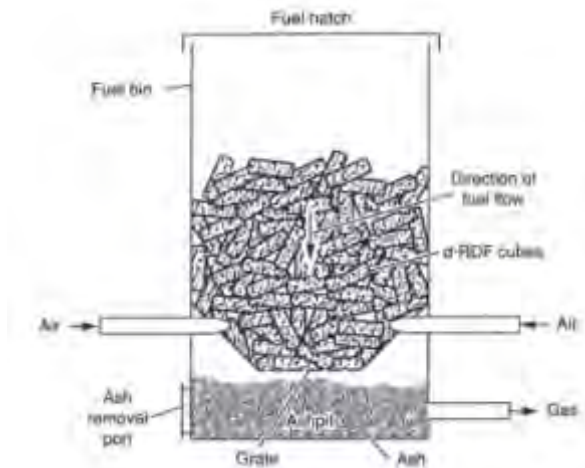
a) *Vertical Fixed Bed*

Vertical Fixed Bed merupakan tipe *gasifier* yang memiliki lebih banyak keuntungan dibandingkan dengan tipe *gasifiers* yang lain, termasuk didalamnya sederhana dan relatif memiliki biaya yang rendah. Akan tetapi reaktor tipe ini lebih sensitif pada karakteristik mekanik dari *fuel*; tipe ini membutuhkan keseragaman, bahan bakar yang homogen, seperti *densified RDF*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, *fuel* (buangan padat) mengalir melalui *gasifier* secara gravitasi, dengan udara dan *fuel* mengalir berbarengan melalui reaktor. Hasil akhir utama dari proses ini adalah *low-Btu gas* dan arang. Sangat mungkin juga untuk mengoperasikan sebuah reaktor *vertical fixed bed* pada sebuah aliran yang berlawanan, dengan udara dan gas mengalir keatas melalui reaktor.

b) *Horizontal fixed bed*

Horizontal fixed bed gasifier menjadi tipe paling komersial yang tersedia. Ironisnya, *gasifier* ini tidak umum jika merujuk pada *gasifier* melainkan lebih dikenal dengan istilah *starved air combustor (incenerator)*, *controlled air combustor*, or *pyrolytic combustor*. Istilah yang digunakan pada pembahasan ini adalah *modular combustion unit (MCU)*.

Sebuah MCU sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 4.9, mengandung dua komponen utama: sebuah ruang pembakaran utama dan ruang pembakaran sekunder. Pada ruang utama, sampah tergasifikasi oleh pembakaran parsial dibawah kondisi substoikiometri, memproduksi *low-Btu gas*, yang mana kemudian mengalir ke ruang pembakaran sekunder, dimana ia dibakar dengan udara berlebih. Pada pembakaran sekunder ini menghasilkan gas pembakaran sempurna (CO_2 , H_2O , N_2) bersuhu tinggi (1200 sampai 1600°F), yang mana digunakan untuk menghasilkan uap atau air panas pada ketel yang terpasang.



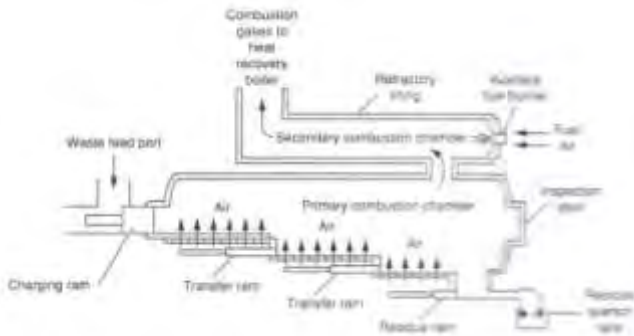
Gambar 4.9 Diagram skema dari vertical fixed-bed gasifier

Sumber: Tchobanoglous et al., 1993



Gambar 4.10 Percobaan sistem gasifier

Sumber: Tchobanoglous et al., 1993



Gambar 4.11 Modular combustion unit yang digunakan untuk pemukiman dan sampah padat kota dan untuk beberapa industri

Sumber: Tchobanoglous et al., 1993

c) *Fluidized Bed*

Penggunaan *fluidized bed combustion* untuk pembakaran dengan udara berlebih sebelumnya telah dijelaskan. Dengan sedikit modifikasi, sistem *fluidized bed combustion* dapat dioperasikan dalam kondisi substoikiometri sebagai *gasifier*. Beberapa uji coba telah dilakukan dengan sampah padat kota sebagai bahan bakar. Sebuah prototipe *fluidized bed gasifier* berkapasitas 1 ton/jam berbahan bakar *RDF* telah didemonstrasikan di Kingston, Ontario. Sebuah *fluidized bed gasifier* rangkap dua telah diproduksi di Jepang. Sistem ini memperkerjakan dua *fluidized beds*, satu untuk bahan bakar, dan sebuah lagi untuk pembakaran arang, menggunakan pasir sebagai media transfer panas diantara kedua *beds*, yang menghasilkan *medium-Btu gas*.

4.2.4 Teknologi Konversi Termal untuk buangan padat berbahaya dan beracun (B3)

Pembakaran sampah berbahaya saat ini dilakukan pada semua tipe pembakaran tetapi umumnya dilakukan pada tipe *suspension* dan *hearth-type system*. Penggunaan insinerator tipe

rotary kiln adalah 75 % atau hampir dari seluruh incenerator limbah berbahaya di Amerika Serikat yang menangani sampah cair dan padat. Tipe *two chamber, fixed heart incenerator* mungkin hanya sekitar 15 %, dan penggunaan tipe *multiple-hearth* dan *fluidized incenerator* untuk 10 % sisanya. Seluruh sistem tersebut juga dapat membakar limbah cair berbahaya.

Kebanyakan limbah beracun ini dibakar dengan menggunakan *hearth-type system* dimana ada beberapa tipe umum, yaitu:

- 1) *Rotary kiln*
- 2) *Controlled air* atau *two chamber fixed hearth*
- 3) *Multiple hearth incenerator*
- 4) *Monohearth*

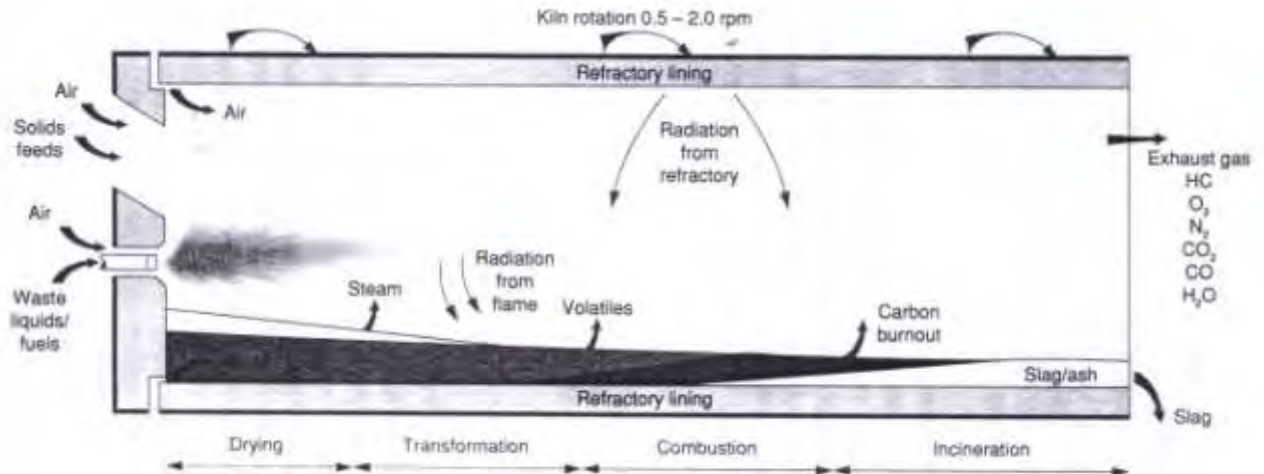
Tipe *rotary kiln* sebagaimana yang ditunjukkan dalam gambar 4.11 terdiri dari silinder berlapis yang tahan api yang terletak pada *trunnion* dan berputar lambat (0,5 sampai 2 RPM) pada sumbu longitudinal. Tempat pembakaran memiliki kemiringan 1 sampai 2 derajat dari tempat berakhirnya *feed* sampai pada tempat keluarnya *ash* sehingga sampah berpindah secara horizontal secara radial melalui silinder. Limbah akan terbakar ketika bergerak sampai tempat pembuangan abu. Ketika posisi *ash* hampir di ujung sistem, maka gas buang yang dihasilkan dari tempat pembakaran akan masuk ke ruang pembakaran kedua dan dipanaskan pada temperatur yang lebih tinggi untuk penghancuran total.

Para ilmuwan berdebat tentang teknologi yang digunakan dalam *Rotary kiln*, yaitu *slagging operation* dengan *non-slagging operation*. *Slagging technology*, merupakan pilihan dan design dari Eropa, dimana mengoperasikan tungku pembakaran pada suhu tertentu dimana limbah senyawa anorganik, termasuk tabung baja, akan dibuang ke ruang pendingin *ash* dalam bentuk cairan. Sistem yang telah lama digunakan di Amerika Serikat adalah tipe *non-slagging* dimana abu dijaga pada kondisi dibawah titik lelehnya. Kedua sistem layak digunakan.

Keuntungan dari slagging system adalah bahwa ia melelehkan semuanya dan hasil keluarannya berupa *ash* dalam bentuk cair. Akan tetapi hal itu menuntut dibutuhkannya lebih banyak bahan yang tahan panas dan kontrol temperatur yang ketat. Pada teknologi *non-slagging* walaupun tidak memerlukan kontrol yang ketat tetapi tidak fleksibel pada *feed* (sampah yang dibakar) karena *feed* yang tidak terbakar harus disingkirkan dari aliran *ash*.

Tipe *fixed-hearth incenerator* yang ditunjukkan pada gambar 4.12 terdiri dari sebuah ruangan utama dimana bisa berupa *single-level hearth* atau *stepped hearth*. Pada unit yang lebih kecil, sampah dibebankan berselang ke dalam ruang pembakaran utama, tetapi *ash* tidak langsung dibuang akan tetapi diakumulasi sampai batas normal operasi yang ditentukan.. Pada unit yang lebih besar terdapat alat pendorong mekanik untuk memasukkan sampah ke dalam *incenerator*, dan *ash* secara kontinyu dibuang. Kedua tipe memiliki ruang pembakaran kedua dimana selanjutnya terjadi pemabakaran gas buang dari ruangan pertama untuk menghancurkan senyawa organik yang terdapat pada gas buang.

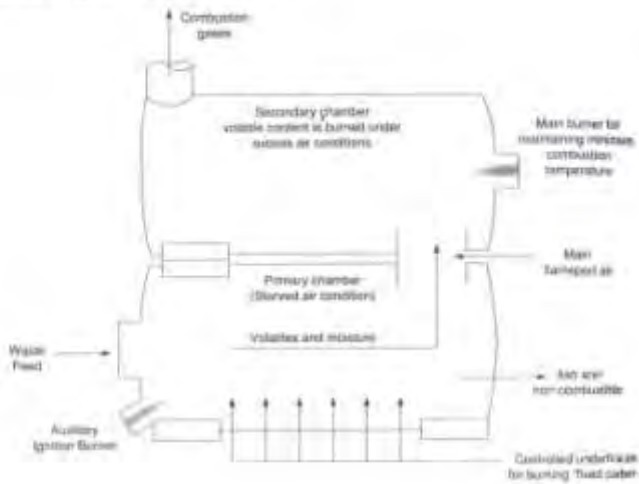
Tipe *multiple-heart incenerator* yang ditunjukkan pada gambar 4.13 awalnya digunakan dalam pembakaran *sewage sludge* (lumpur endapan) meskipun sistem *multiple-hearth* telah digunakan dalam industri pertambangan selama bertahun-tahun sebagai pemanggangan bijih. Sistem ini sangat rumit, ia merupakan sistem yang sangat mekanis yang digunakan untuk membakar lumpur. Hal itu telah mengakibatkan terbatasnya penggunaannya dalam pembakaran limbah berbahaya karena suhu yang diperlukan untuk tercapainya efisiensi penghancuran yang optimal susah terpenuhi karena terkait dengan umur



Gambar 4.12 Rotary Kiln Incenerator

Sumber: LaGrega et al., 1994

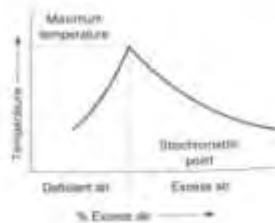
a.) Horizontal two-chamber controlled air incinerator



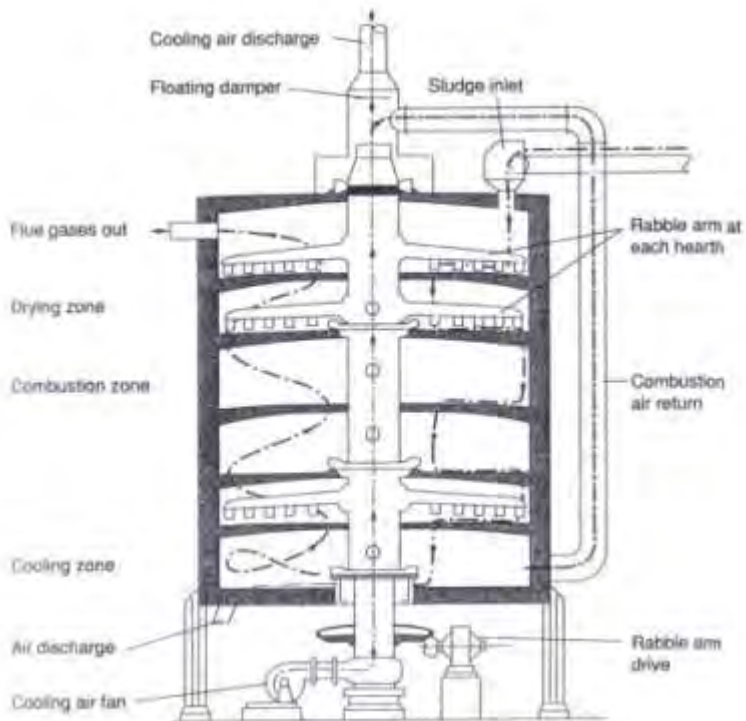
b.) Vertical two-chamber controlled air incinerator



c.) Relationship of temperature to excess air

**Gambar 4.13 Fixed Hearth Incinerator**

Sumber: LaGrega et al., 1994



Gambar 4.14 Multiple-hearth Incenerator

Sumber: LaGrega et al., 1994

peralatan yang digunakan. Semakin tua peralatan yang digunakan semakin sulit untuk terpuhinya kondisi yang optimal.

Sistem ini terdiri dari 2-6 tungku horisontal dalam susunan secara vertikal. Limbah diumpankan ke tungku atas dan terbakar. Udara yang didinginkan pada poros sentral bergerak melalui *rabble arm* di atas permukaan setiap perapian. *Plough* pada *rabble arm* memindahkan sampah di permukaan setiap perapian sampai mencapai lubang yang berupa lingkaran. Sampah jatuh melalui lubang menuju perapian selanjutnya yang lebih rendah

dan terus terbakar, didinginkan, dan menjadi ash. Gas buang kemudian bergerak vertikal ke atas keluar dari tungku dan masuk ke dalam peralatan kontrol untuk emisi udara. Salah satu variasi pada desain ini, yang sering disebut *mono-hearth*, menggunakan perapian tunggal yang berputar di bawah *rabble arm* yang bergerak dan meratakan sampah. *mono-hearth* juga membutuhkan ruang pembakaran sekunder agar terjadi proses pembakaran secara sempurna.

4.3 Karakteristik hasil Pemrosesan Buangan Padat dengan Teknologi Konversi Termal

Karakteristik yang dihasilkan dari masing-masing proses tentu saja berbeda. Hal ini dikarenakan perbedaan proses yang sangat mendasar yaitu perbedaan udara yang dibutuhkan pada setiap proses.

Pada proses *combustion* khususnya tipe *fluidized bed combustion* karakteristik hasil pemrosesan menurut Gulyurtlu (2013) dapat dikategorikan sebagai berikut:

1) Emisi partikel (Fly ash)

Senyawa Partikulat (*particulate matter*) dari semua jenis saat ini dapat diklasifikasikan sesuai dengan yang diameter aerodinamis: PM₁₀ , PM_{2.5} dan PM₁ yaitu partikel dengan diameter aerodinamis masing-masing 10, 2,5 dan 1 μm . Partikel lebih besar dari PM₁₀ dapat mengendap dengan cepat dan berdampak terutama di dekat sumber. Partikel yang lebih kecil, terutama yang lebih kecil dari PM_{2.5}, bisa tetap berada di atmosfer selama sehari-hari atau bahkan berminggu-minggu dan dapat melakukan perjalanan lebih dari ratusan kilometer sebelum mengendap.

Ini berarti bahwa *fly ash*, yang seringkali mengandung partikel-partikel yang lebih kecil, bisa berdampak pada kesehatan manusia : partikel PM₁₀ dan kecil tertahan dalam hidung dan tenggorokan, yang berarti bahwa mereka tidak dapat mencapai bronkus; Selain itu, partikel halus ($0,1 < \text{PM} < 2,5 \text{ mm}$) dan partikel super halus ($\text{PM} < 0,1 \text{ mm}$) dapat mencapai peredaran

udara dan alveoli paru, dan beberapa bahkan mungkin masuk ke dalam aliran darah. Denda dan ultrafine partikel, juga dikenal sebagai aerosol, dapat terbentuk dengan volatilisasi dan kondensasi homogen dari senyawa volatil (Lopes et al., 2009). PM halus ini mungkin mengandung kon-sentrasi yang unsur logam berat yang lebih tinggi.

2) Logam berat

Bahan limbah, seperti sebagai limbah padat perkotaan (MSW) atau *refused derived fuel* (RDF), mengandung kadar logam berat tinggi (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Konsentrasi umum logam dari MSW dan RDF

Jenis Logam	Konsentrasi Umum (mg/kg)
Ag	<3
Al	5400-12000
As	<1
Ba	47-450
Be	<1
Ca	5900-17000
Cd	2-22
Co	<3-5
Cr	20-100
Cu	80-900
Fe	1000-3500
Hg	1-2
K	920-1900
Li	<2-7
Mg	880-2100
Mn	50-240
Na	1800-7400

Jenis Logam	Konsentrasi Umum (mg/kg)
Ni	9-90
Pb	110-1500
Sb	20-80
Se	<1
Sn	<20-40
Ti	<1
V	<1
Zn	200-2500

Sumber: Hasselriis and Licata, 1996, and ASTM E926-94, 2001

3) Sulfur Oksida (SO_x)

Dalam sistem pembakaran, sulfur oksida (SO_x) Diproduksi sebagai akibat langsung dari oksidasi belerang dalam bahan bakar. Mereka biasanya terdiri dari lebih dari 90% SO_2 (Elliott, 1981) dengan jumlah yang lebih rendah dari SO_3 . Mereka berbahaya bagi manusia kesehatan dan merupakan faktor utama dalam pembentukan fenomena hujan asam.

4) Nitrogen Oksida

Nitrogen oksida ($\text{NO}_x + \text{N}_2\text{O}$), selain menjadi sangat beracun pada tinggi konsentrasi, juga bertanggung jawab untuk 30% dari pembentukan hujan asam (Dunmore, 1987; Sloss, 1991) dan karena itu memainkan peran dalam pengasaman air dan tanah dan korosi bangunan dan monumen. Mereka juga berkontribusi pembentukan kabut asap, dengan bereaksi dengan spesies polutan lainnya seperti hidrokarbon, serta produksi ozon beracun dan penipisan lapisan ozon stratosfer. N_2O juga merupakan gas rumah kaca.

5) Hidrogen Klorida

Halogen hadir di atmosfer adalah akibat pembakaran bahan bakar dalam pembakaran besar tanaman tanpa teknologi desulfurisasi gas buang (FGD). Selama pembakaran, halogen dilepaskan ke dalam gas buang. Pada limbah padat perkotaan seperti *refused derived fuel* (RDF), kandungan klorin dapat mencapai 0,62% (wt, kondisi kering); daging dan tepung tulang (MBM) dapat memiliki kandungan klorin dari 0,26-1,10% (wt, kondisi kering); dan lumpur limbah dapat berisi hingga 0,05% (wt, kondisi kering) klorin (Gulyurtlu et al., 2005;.. Crujeira et al., 2005; Lopes et al., 2009; Fryda et al., 2006). Williams et al. (2012) meneliti bahan bakar biomassa padat dan menemukan bahwa kandungan klorin berkisar antara 0,01% (wt, kering dan bebas abu) di pinus dan kayu pohon willow sampai 1,0% (wt, kering dan bebas abu) dalam kotoran sapi.

6) Dioxins and furans (polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD) and polychlorinated dibenzofurans (PCDF))

Dioksin dan furan adalah dua dari dua belas polutan organik yang persisten (POP) yang didefinisikan oleh Konvensi Stockholm mengenai Bahan Pencemar Organik Persisten. '*Dioksin dan furan*' adalah istilah umum yang digunakan untuk sekelompok bahan kimia senyawa yang terdiri dari 75 polychlorinated dibenzo-p-dioxin (PCDD) dan 135 Polychlorinated Dibenofurans (PCDF).

7) Karbon Monoksida dan Senyawa organik terlarut(Volatile Organic Compounds)

Karbon monoksida dan senyawa organik volatil (VOC) adalah hasil dari pembakaran tidak sempurna: mereka adalah polutan gas dan beracun bagi manusia. Dalam sistem FBC (*fluidized bed combustion*) beroperasi pada kondisi stabil, biasanya untuk menemukan CO konsentrasi 100-500 mg/Nm³ dalam gas buang. Konsentrasi VOC biasanya antara 10-20 kali lebih rendah dari nilai CO. Tingkat emisi berkorelasi dengan

perubahan parameter pembakaran seperti suhu, kelebihan udara, waktu tinggal dan tingkat pencampuran udara/bahan bakar.

Sedangkan pada proses gasifikasi dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1) Materi partikel

Partikel dalam gasifikasi berasal dari abu bahan baku, debu, karbon yang belum terkonversi (dalam gas yang dihasilkan dari gasifikasi suhu rendah), jelaga (biasanya dalam kasus suhu tinggi tetapi oksigen kurang), dan akumulasi *bed material* (dalam kasus *fluidised bed gasifiers*). Pengendapan partikulat pada peralatan gasifier merupakan penyebab penyumbatan dan dan aus pada peralatan.

2) Logam berat

Vervaeke et al.(2006) mempelajari distribusi logam berat dalam berbagai fraksi abu yang dihasilkan pada proses gasifikasi dari biomassa yang diolah di lokasi yang terkontaminasi. Kadmium, timbal dan seng sebagian besar ditemukan dalam *fly ash*, menunjukkan terjadinya volatilisasi selama gasifikasi diikuti oleh nukleasi homogen dan/atau kondensasi PM selama pendinginan.

Unsur-unsur lain juga telah terbukti menguap selama gasifikasi. Turn et al. (1998) mempelajari nasib unsur anorganik ampas tebu dan banagrass selama *fluidised bed gasification*. Silicon, aluminium, titanium, besi, kalsium, magnesium, natrium, kalium, fosfor dan klorin terdeteksi dalam fase gas, menunjukkan bahwa unsur-unsur ini sebagian menguap selama gasifikasi namun beberapa hanya terdeteksi pada tingkat rendah.

3) Sulfur

Hal ini berlaku umum bahwa selama gasifikasi, sebagian besar sulfur diubah H_2S dan hanya sekitar 3-10% berakhir sebagai COS, dengan sejumlah kecil sebagai CS_2 (Medcalf et al., 1998; Ratafia-Brown et al., 2002).

4) Ammonia

Ketika proses gasifikasi biomassa, kandungan nitrogen yang (0,5-3%) menghasilkan produksi amonia (NH_3) dan nitrogen molekuler. Tidak seperti proses gasifikasi batubara, konversi ke hidrogen sianida sangat rendah dalam gasifikasi biomassa (Han dan Kim, 2008). Komponen utama adalah amonia, biasanya pada tingkat 1,000-5,000 ppm (Zhou et al., 2000), meskipun hal ini dapat bervariasi sesuai dengan jenis bahan bakar yang digunakan, parameter *gasifier*, dan kondisi operasi. Mojtahedi et al. (1995) menunjukkan bahwa amonia menyumbang hingga 60-80% isi nitrogen. Sisa nitrogen diubah menjadi N_2 , dan beberapa HCN, HNCO dan NO_x (Leppälahti, 1995; Leppälahti dan Koljonen, 1995; Nelson et al., 1996.)

5) Hidrogen Klorida

Björkman dan Stromberg (1997) melakukan studi pada pirolisis dan gasifikasi dari berbagai jenis biomassa, dan menemukan bahwa 20-50% dari klorin dilepaskan pada temperatur 400°C , mungkin sebagai HCl, dan terus akan dilepaskan sebagai kalium klorida pada suhu di atas 700°C , meninggalkan 30-60% klorin dalam arang pada 900°C (Gonzalez et al., 2008).

6) Senyawa Alkali

Sejumlah besar senyawa alkali (CaO , K_2O , MgO , Na_2O) yang hadir dalam bahan bakar yang digunakan dalam *fluidised bed gasification*, khususnya pada biofuel. Senyawa ini alkali dapat menguap pada suhu di atas 700°C selama gasifikasi; ketika mereka terkondensasi (di bawah 650°C), mereka membentuk partikel ($<5\text{ mm}$) pada peralatan *downstream* (turbin gas, *heat exchanger*), menempel pada permukaan logam, sehingga terjadi korosi. Selain itu, garam alkali menonaktifkan katalis yang digunakan dalam perengkahan

tar dalam sistem gasifikasi, mereformasi dan mengubah *syngas* menjadi hidrokarbon.

Adapun tiga komponen fraksi utama yang dihasilkan dari proses pirolisis adalah sebagai berikut:

1. Uap gas, mengandung terutama nitrogen, metan, karbonmonoksida, karbondioksida, dan berbagai gas macam gas lainnya, tergantung dari karakteristik organik yang diproses.
2. Fraksi cair, terdiri dari tar atau minyak yang mengandung asam asetat, aseton, methanol, dan hidrokarbon teroksigenasi kompleks. Dengan proses tambahan, fraksi cair ini bisa digunakan sebagai bahan bakar minyak sintetik sebagai pengganti bahan bakar minyak konvensional.
3. Arang, terdiri dari karbon yang hampir murni ditambah bahan inert yang memang terdapat dalam limbah padat.

Dari karakteristik sampah Kota Surabaya dapat dihitung secara stoikiometri mengenai karakteristik hasil dari berbagai pemrosesan buangan padat dengan teknologi konversi termal ini. Tabel 4.3 menunjukkan karakteristik sampah dalam persen berat/100 kg untuk Kota Surabaya.

Tabel 4.3 Komposisi sampah Kota Surabaya

No	Komposisi Sampah	Persentase	Berat per 100 kg(kg/100kg)
1	Sampah basah	71.96	71.96
2	Plastik	12.94	12.94
3	Kertas dan kardus	5.35	5.35
4	Diapers	4.71	4.71
5	Kabel	0.03	0.03
6	Kayu	0.89	0.89
7	B3	0.16	0.16

No	Komposisi Sampah	Persentase	Berat per 100 kg(kg/kg)
8	Kain	1.94	1.94
9	Kaca	0.92	0.92
10	Karet	0.58	0.58
11	Kaleng Alumunium	0.08	0.08
12	Logam	0.24	0.24
13	Lain-lain	0.2	0.2

Sumber: Nikmah, 2013

Total sampah kota Surabaya untuk tahun 2013 adalah sebesar 461.706 ton/tahun. Setelah diketahui komposisi dari sampah padat, kemudian bisa dihitung kadar air, total solid, volatil solid (proximate analysis) serta ultimate analysis(Cbio, Cfossil, C, N, S dan Nilai kalor). Tabel 4.4 menunjukkan karakteristik kimia sampah TPA Benowo, Surabaya.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan karakteristik kimia sampah TPA Benowo, Surabaya

Parameter	Satuan	Nilai
Analisa Proximate		
Kadar air	%berat	0,690
Total Solid	%berat	0,310
Volatil Solid	%bk	0,075
Abu	%bk	0,247

Sumber: Nikmah, 2013

Parameter	Satuan	Nilai
Analisa Ultimate		
C bio	%bk	0,335
C fossil	%bk	0,103
C	%bk	0,439
N	%bk	0,037
S	%bk	0,003
Nilai Kalor	(GJ/ton)	11,477

Sumber: Nikmah, 2013

Untuk mengitung karakteristik dari *combustion*, maka digunakan persamaan (2.1) dan (2.2) yaitu sebagai berikut:

CO₂

Dengan asumsi bahwa emisi karbon dioksida dari pembakaran MSW rata-rata adalah 1 Mg per Mg sampah, maka emisi CO₂ sebesar 0.33 (0.50) Mg adalah fosil dan 0.67 (0.50) Mg berasal dari proses biogenik. Dalam perhitungan selanjutnya, ditemukan bahwa proporsi CO₂ pada iklim yang relevan adalah rata-rata 0.415 Mg CO₂ per Mg limbah.

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi CO}_2 &= 0,415 \text{ Mg CO}_2/\text{Mg sampah} \cdot 461,706 \cdot 10^3 \\
 &\quad \text{Mg sampah/tahun} \\
 &= 1,916 \cdot 10^5 \text{ Mg CO}_2/\text{tahun} \\
 &= 1,916 \cdot 10^8 \text{ Kg CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

N₂O

Pada pengukuran yang dilakukan pada fasilitas insinerasi didapatkan level emisi sebesar 1 sampai 12 mg/m³ dengan rata-rata 1-2 mg/m³.

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi N}_2\text{O} &= 2 \text{ mg/m}^3 \cdot 5500 \text{ Nm}^3/\text{Mg sampah} \cdot 461,706 \\
 &\quad \cdot 10^3 \text{ Mg sampah/tahun} \cdot 10^{-9} \\
 &= 5,078 \text{ Mg/tahun} \\
 &= 5,078 \cdot 10^3 \text{ Kg/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi N}_2\text{O CO}_2\text{-equivalent} &= 5,078 \text{ Mg/tahun} \cdot 310 \text{ Mg} \\
 &\text{CO}_2/\text{Mg N}_2\text{O} \\
 &= 1,574 \cdot 10^3 \text{ Mg CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Metan (CH₄)

Diasumsikan bahwa terjadi pembakaran oksidatif pada insinerator MSW, sehingga metana tidak ada pada gas buang sehingga tidak ada yang diemisikan. Meskipun emisi metana bisa terbentuk di bunker limbah, tekanan di bawah bunker limbah menyebabkan mereka diangkut dengan udara bunker ke ruang pembakaran sebagai udara primer, dan akan terkonversi di sana.

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi CH}_4 &= 0 \\
 \text{Total emisi CH}_4 \text{ CO}_2\text{-equivalent} &= 0
 \end{aligned}$$

Karbon monoksida (CO)

Selama proses insinerasi sampah karbon monoksida merupakan produk dari proses pembakaran yang tidak sempurna. Rata-rata emisi CO adalah dibawah 50 mg/m³.

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi CO} &= 50 \text{ mg/m}^3 \cdot 5500 \text{ Nm}^3/\text{Mg sampah} \cdot 461,706 \\
 &\cdot 10^3 \text{ Mg sampah/tahun} \cdot 10^{-9} \\
 &= 1,269 \cdot 10^2 \text{ Mg/tahun} \\
 &= 1,269 \cdot 10^5 \text{ Kg/tahun} \\
 \text{Total emisi CO CO}_2\text{-equivalent} &= 1,269 \cdot 10^2 \text{ Mg/tahun} \cdot 3 \\
 &\text{Mg CO}_2/\text{Mg CO} \\
 &= 3,807 \cdot 10^2 \text{ Mg CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Nitrogen Oksida (NO_x)

Tingkat emisi 200 mg/m³ aman dapat dicapai jika langkah-langkah pengolahan gas buang selektif dilakukan.

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi NO}_x &= 0,2 \cdot 10^3 \text{ mg/m}^3 \cdot 5500 \text{ Nm}^3/\text{Mg sampah} \cdot \\
 &461,706 \cdot 10^3 \text{ Mg sampah/tahun} \cdot 10^{-9} \\
 &= 5,078 \cdot 10^2 \text{ Mg/tahun} \\
 &= 5,078 \cdot 10^5 \text{ Kg/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi CO } CO_2\text{-equivalent} &= 5.078 \cdot 10^2 \text{ Mg/tahun} \cdot 8 \\
 &\text{Mg CO}_2/\text{Mg NO}_x \\
 &= 4,0624 \cdot 10^3 \text{ Mg CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Ammonia (NH₃)

Emisi (ditentukan dalam pengukuran individu) berada pada kisaran 1-10 mg/m³; rata-rata diasumsikan 4 mg NH₃/m.

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi NH}_3 &= 4 \text{ mg/m}^3 \cdot 5500 \text{ Nm}^3/\text{Mg sampah} \cdot 461,706 \cdot \\
 &10^3 \text{ Mg sampah/tahun} \cdot 10^{-9} \\
 &= 1,015 \cdot 10 \text{ Mg/tahun} \\
 &= 1,015 \cdot 10^4 \text{ Kg/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi NH}_3 \text{ } CO_2\text{-equivalent} &= 1,015 \cdot 10 \text{ Mg/tahun} \cdot 8 \text{ Mg} \\
 &\text{CO}_2/\text{Mg N}_2\text{O} \\
 &= 8,12 \cdot 10 \text{ Mg CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Non-Methane Volatile Organic Compounds (NMVOCs)

Emisi (ditentukan dalam pengukuran individu) berada pada kisaran dibawah 10 mg/m³; rata-rata diasumsikan 5 mg NH₃/m.

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi TOC} &= 5 \text{ mg/m}^3 \cdot 5500 \text{ Nm}^3/\text{Mg sampah} \cdot 4617,06 \cdot \\
 &10^{11} \text{ Mg sampah/tahun} \cdot 10^{-9} \\
 &= 1,269 \cdot 10^{10} \text{ Mg/tahun} \\
 &= 1,269 \cdot 10^4 \text{ Kg/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi TOC } CO_2\text{-equivalent} &= 1,269 \cdot 10^{10} \text{ Mg/tahun} \cdot 11 \\
 &\text{Mg CO}_2/\text{Mg N}_2\text{O} \\
 &= 1,3959 \cdot 10^{11} \text{ Mg CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Untuk mengitung karakteristik dari *gasification*, maka digunakan persamaan (2.3) yaitu sebagai berikut.

CO₂total

$$Emisi = \frac{4617,06 \times 10^{11} \times (0,439 \times 0,310) \times 3,652}{4617,06 \times 10^{11}} \times 1000$$

$$Emisi = 497 \frac{kg}{ton}$$

$$Emisi = 497 \times 461706 \text{ ton/tahun} = 2,29 \times 10^8 \text{ kg/tahun}$$

Dengan:

-0,439 adalah Ctotal

-0,310 adalah total solid

Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka untuk karakteristik lain diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Emisi Gasification

Jenis	Satuan	Faktor	Emisi
CO ₂ total	kg/ton	3.652	497
Total CO ₂ total	kg/tahun		$2,29 \times 10^8$
CO ₂ fosil	kg/ton	3.652	116.60836
Total CO ₂ fosil	kg/tahun		$5,38 \times 10^7$
CO	kg/ton	0.00052	0.22828
Total CO	kg/tahun		$1,05 \times 10^5$
SO ₂	kg/ton	0.016	0.048
Total SO ₂	kg/tahun		$2,21 \times 10^4$
H ₂ S	kg/ton	0.004	0.012
Total H ₂ S	kg/tahun		$5,540 \times 10^3$
NO _x	kg/ton	0.00655	0.24235
Total NO _x	kg/tahun		$1,12 \times 10^5$

Adapun untuk *pyrolysis* dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai perhitungan karakteristik sampah untuk MSW, hal ini dikarenakan karakteristik untuk *pyrolysis* bergantung pada senyawa sampah yang diproses. Tabel 4.6 dapat memberikan gambaran untuk komposisi gas pada *pyrolysis*.

Tabel 4.6 Komposisi Gas untuk Pyrolysis dengan temperatur berbeda

Gas	Persen Volume			
	900°F	1200°F	1500°F	1700°F
H ₂	5.56	16.58	28.55	32.48
CH ₄	12.43	15.91	13.73	10.45

Gas	Persen Volume			
	900°F	1200°F	1500°F	1700°F
CO	33.5	30.49	34.12	35.25
CO ₂	44.77	31.78	20.59	18.31
C ₂ H ₄	0.45	2.18	2.24	2.43
C ₂ H ₆	3.03	3.06	0.77	1.07
Jumlah	99.74	100	100	99.99

Sumber: US EPA, 1971

Perbandingan antara gasifikasi dan pirolisis juga dapat dilihat pada penelitian yang dilakukan oleh Hwang (2013). Hwang (2013) melakukan sebuah penelitian untuk *pyrolysis* (PY) dan *steam gasification* (SG). Steam diproduksi pada suhu 250°C pada sebuah tungku elektronik berbentuk tabung menggunakan air hasil penyulingan yang dialirkan dengan pompa HPLC (PU-2080 Plus, JASCO) pada kecepatan konstan 0,25 ml/menit (SG1) atau 0,50 ml/menit (SG2). Ia menggunakan *woody biomass chip* (WBC) yang diperoleh dari sampah konstruksi dan pembongkaran, *refused-derived fuel* (RDF), dan *refuse paper and plastic fuel* (RPF) yang dilakukan pada temperatur berbeda menggunakan instrumen skala lab dan didapatkan hasil sebagai berikut.

- a) Komposisi material dasar dan konversinya pada *pyrolysis* dan *gasification* dengan temperatur berbeda

Tabel 4.7 Komposisi dan nilai pemanasan dari WBC, RDF dan RPF

Komposisi	WBC	RDF	RPF
Ash(wt%)	0.5	12.9	7.9
VM(wt%)	86.6	76.7	86.7
FC(wt%)	13	10.4	5.4
C(wt%)	50.4	43.5	52

Komposisi	WBC	RDF	RPF
H(wt%)	6.5	6.4	8
N(wt%)	0.1	1.1	0.2
S (wt%)	0	0.1	0.1
Cl(wt%)	<0.01	0.4	0.04
HHV(MJ/kg)	20.8	17.9	24.6

Sumber: Hwang, 2013

Tabel 4.7 menunjukkan nilai komposisi dan pemanasan dari WBC, RDF, dan RPF. Zat volatil dari WBC dan RPF menunjukkan nilai yang hampir serupa satu sama lain tapi WBC berisi sekitar 2,5 kali lebih dibandingkan dengan karbon tetap RPF. Namun demikian, nilai kalor dari RPF lebih tinggi dibandingkan WBC karena kandungan plastik tinggi (sekitar 30% berat). RDF mengandung abu sekitar 13% berat, yang merupakan kadar abu tertinggi di antara tiga bahan baku. Kandungan klorida dari RDF juga lebih tinggi dibandingkan dengan RDF dan WBC, dengan sekitar 0,4% berat.

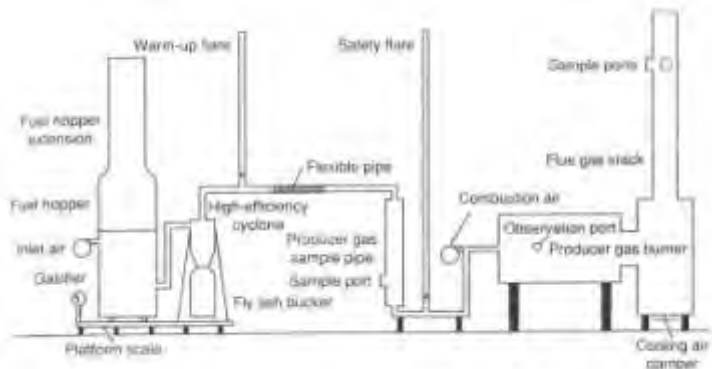
Gambar 4.15 menunjukkan rasio konversi WBC, RDF, dan RPF ke gas dan produk cair pada temperatur yang berbeda. Pada 500° C, RPF memiliki rasio konversi tertinggi di antara tiga bahan baku, sedangkan RDF menunjukkan yang terendah. Pada 700° C, konversi rasio RDF menunjukkan perbedaan antara pirolisis dan uap gasifikasi. RDF terkandung sekitar 13% berat abu, yang mungkin bertindak sebagai katalis untuk mempercepat degradasi RDF dengan keberadaan uap pada 700° C (Galvagno et al., 2009). Pada 900° C, rasio konversi seluruh bahan baku meningkat dengan injeksi uap. Sementara itu, hampir tidak ada perbedaan antara rasio konversi pada kondisi SG1 dan SG2. Dengan demikian, jumlah uap disuntikkan oleh kondisi SG1 dianggap cukup untuk mengakibatkan reaksi gasifikasi uap.

b) Produk gas

Tabel 4.9 menunjukkan volume gas yang dihasilkan dari WBC, RDF, dan RPF pada pirolisis dan gasifikasi dengan temperatur yang berbeda. Terlepas dari jenis bahan baku, jumlah gas yang dihasilkan meningkat pesat dengan proses gasifikasi uap di suhu kisaran 700-900°C, dibandingkan dengan jumlah produk gas selama pirolisis dari WBC, RDF, dan RPF pada 700°C dan 900°C, yang meningkat menjadi 1,7, 2,1, dan 1,4 kali pada 700°C dan 2,4, 2,4, dan 1,8 kali pada 900°C dalam kondisi gasifikasi. RDF menunjukkan hasil gas tertinggi di antara tiga bahan baku bawah gasifikasi uap pada 700°C. Seperti telah disebutkan, mungkin disebabkan oleh dekomposisi katalitik dari RDF oleh konstituen abu.

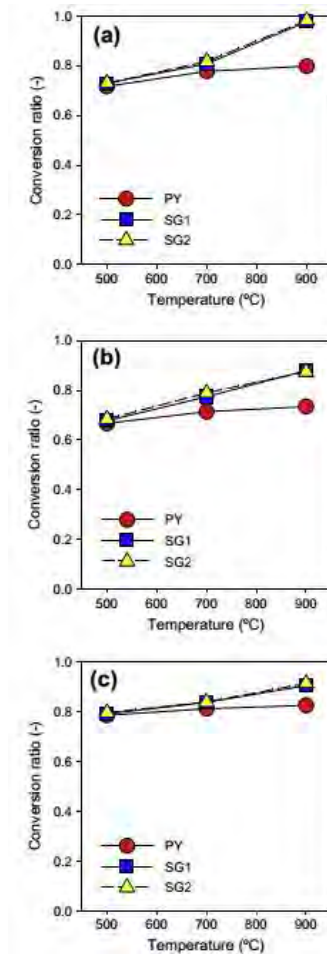
Sementara itu, WBC menunjukkan hasil gas tertinggi menurut gasifikasi pada 900°C. Meskipun rasio konversi yang tinggi RPF pada gasifikasi kondisi (Gambar 4.16), jumlah generasi gas sepenuhnya kecil dibandingkan dengan dua bahan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa banyak RPF lebih banyak dikonversi ke cair daripada produk gas selama gasifikasi.

Hasil dari emisi udara menggunakan sistem yang digambarkan pada gambar 4.15 dapat dilihat pada tabel 4.10.



Gambar 4.15 Skema diagram emission-testing system untuk gasifier

Sumber: Tchobanoglous et al., 1993



Gambar 4.16 Konversi rasio bahan baku untuk produk gas dan cair pada berbeda pirolisis (PY) dan gasifikasi uap (SG1 dan SG2): (a) WBC, (b) RDF, dan (c) RPF

Sumber: Hwang, 2013

Tabel 4.8 Jumlah gas yang dihasilkan dan nilai kalor yang diperoleh dari WBC, RDF, dan RPF pada pirolisis (PY) dan gasifikasi (SG1 dan SG2) dengan suhu yang berbeda

		(a)Jumlah Produksi Gas (Nm ³ /kg)			(b)Heating Value (MJ/Nm ³)			(b)Heating Value dari 1 kg bahan mentah (MJ/Nm ³)		
		500°C	700°C	900°C	500°C	700°C	900°C	500°C	700°C	900°C
WBC	PY	0.12	0.3	0.52	12.2	16.5	16.9	1.5	5	8.8
	SG1	0.15	0.52	1.24	10.5	12.7	12.9	1.6	6.6	15.9
	SG2	0.13	0.54	1.4	11.5	12.5	12.5	1.5	6.8	17.4
RDF	PY	0.13	0.27	0.43	10.4	17	19.1	1.3	4.7	8.2
	SG1	0.17	0.58	1.01	9.4	12.7	14.1	1.6	7.3	14.3
	SG2	0.16	0.71	1.1	10.3	13	13.6	1.6	9.2	14.9
RPF	PY	0.09	0.3	0.5	16	23.9	24.4	1.5	7.2	12.1
	SG1	0.11	0.43	0.9	13.2	21	17.9	1.4	9.1	16.1
	SG2	0.12	0.46	1.09	14.3	22	16.5	1.7	10	17.9

Sumber: Hwang, 2013

Tabel 4.9 Emisi Udara dari Gasifier

Emisi	Unit	Nilai
NO _x	ppmv	60-115
SO ₂	gr/dscm	0.091-0.227
Noncondesible hydrocarbon	ppmv	<1
Total tingkat emisi partikel (EPA Method 5)	gr/dscm	0.068-0.164
Diameter potongan partikel	µm	8

Sumber: US EPA, 1984

Untuk buangan padat yang merupakan bahan berbahaya dan beracun dapat digambarkan dari penelitian yang dilakukan oleh Girsang (2013) terhadap limbah B3 RSUD Dr. Soetomo. Insinerator yang digunakan adalah tipe *rotary klin*. Dari penelitiannya tersebut didapatkan karakteristik sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.10 Karakteristik emisi udara dari proses insinerasi limbah padat B3

No	Parameter	Hasil Lab	Limit Deteksi	Satuan	Metode
1	Debu/Partikulat	9.69	50	mg/Nm3	US EPA Method 29
2	Sulfur dioksida, SO ₂	29.24	250	mg/Nm3	US EPA Method 6C
3	Nitrogen dioksida, NO ₂	165.43	300	mg/Nm3	US EPA CTM 034-1999
4	Hidrogen Fluorida, HF	0.4	10	mg/Nm3	SNI 19-7117.9-2005
5	Karbon Monoksida, CO	8.58	100	mg/Nm3	US EPA CTM 034-1999

No	Parameter	Hasil Lab	Limit Deteksi	Satuan	Metode
6	Hidrogen Klorida, HCL	0.37	70	mg/Nm3	SNI 19-7117.9-2005
7	Total Hidrokarbon, HC	1,069	35	mg/Nm3	Flame Ionization
8	Arsenik, As	<0.0003	1	mg/Nm3	US EPA Method 29
9	Kadmium, Cd	<0.00002	0.2	mg/Nm3	US EPA Method 30
10	Kromium, Cr	<0.0002	1	mg/Nm3	US EPA Method 31
11	Plumbun, Pb	<0.00002	5	mg/Nm3	US EPA Method 32
12	Merkuri, Hg	<0.00006	0.2	mg/Nm3	US EPA Method 33
13	Thalium, Tl	0.0002	0.2	mg/Nm3	US EPA Method 34
14	Opasitas	2,5	10	mg/Nm3	SNI 19-7117.9-2005

Sumber: Penelitian Girsang, 2013

Tabel 4.11 Hasil Pengujian TCLP oleh RSUD Dr.Soetomo

No	Parameter	Satuan	Hasil Lab	Baku Mutu	Limit Deteksi (LD)
1	Mercury (Hg)	mg/l	<LD	0.2	0.0014
2	Plumbun (Pb)	mg/l	0.4025	5	0.0405
3	Cadmium (Cd)	mg/l	0.026	1	0.01
4	Chrom (Cr)	mg/l	0.205	5	0.0198
5	Cooper (Cu)	mg/l	0.0607	10	0.0196
6	Cobalt (Co)	mg/l	0.7027	-	0.02
7	Nickel (Ni)	mg/l	0.4291	-	0.0378
8	Zinc (Zn)	mg/l	22.9363	50	0.0075

Sumber: RSUD Dr.Soetomo, 2013

Dari hasil uraian diatas dapat disimpulkan bahwa agak sulit untuk membandingkan secara langsung karakteristik dari masing-masing proses. Hal ini dikarenakan perbedaan dari proses dasar itu sendiri dan karakteristik buangan padat itu sendiri yang berbeda-beda pula. Untuk dapat membandingkan secara langsung harus dilakukan penelitian dengan kondisi karakteristik buangan padat yang sama. Dan tetap ada perbedaan karakteristik karena perbedaan proses tersebut.

4.4 Perbandingan Energi yang Dihasilkan dengan Teknologi Lain

Pada studi ini akan dibandingkan energi yang dihasilkan dari pemrosesan sampah padat dengan teknologi konversi termal dengan teknologi lain. Teknologi lain yang akan dibandingkan adalah teknologi pembakaran batu bara.

Perbedaan teknologi pada pembakaran batubara dan MSW pada dasarnya terletak pada perbedaan bahan bakar yang, yang akhirnya, mempengaruhi jenis pembakaran peralatan yang diperlukan dan pembakaran dan masalah lingkungan yang harus ditangani. Secara khusus, paling sifat bahan bakar yang penting adalah (a) ukuran bahan bakar partikel, (b) komposisi bahan bakar, termasuk komposisi abu, dan (c) variabilitas bahan bakar berkaitan dengan ukuran dan komposisi.

Tabel 4.12 Perbandingan komposisi batubara dan MSW

Komposisi (umum), persen berat		
Komponen	Batubara	MSW
Karbon	70	25
Hydrogen	5	3
Oxygen	5	20
Minerals	10	25
Nitrogen	1.5	0.5

Komposisi (umum), persen berat		
Komponen	Batubara	MSW
Sulfur	1-5	0.2
Klorin	0.005-0.6	0.2-0.6
Uap Air	5	25

Sumber: *US Department of Energy, 1998*

Tabel diatas menunjukkan komposisi secara umum pada batubara (*coal*) dan sampah kota (MSW). Adapun nilai panas yang dihasilkan dari proses pembakaran keduanya dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Nilai panas dari pembakaran batubara dan MSW

Nilai Panas J/g(Btu/lb)	
Batubara	MSW
2.8 (12000)	1.1 (5000)

Sumber: *US Department of Energy, 1998*

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pembakaran dari batubara lebih banyak menghasilkan energi dibandingkan dengan pembakaran MSW. Perbandingan keduanya yaitu Batubara:MSW = 2,4:1.

4.5 Teknologi Konversi Termal di Beberapa Negara

Teknologi konversi termal ini mulai banyak digunakan di beberapa negara di dunia. Beberapa diantaranya adalah sebagai berikut.

4.5.1 Teknologi Konversi Termal di Japan

Jepang telah membangun 1.915 insinerator sampah dalam kapasitas sampai dengan 1.800 ton/hari. Fasilitas ini mengolah 68 persen limbah daur ulang. Ini merupakan komitmen terbesar negara untuk pembakaran sampah dan melengkapi upaya daur

ulang yang luar biasa di Jepang, yang tampaknya menjadi yang paling komprehensif dan sukses di dunia. Pada tahun 1983, kapasitas semua insinerator adalah 153.303 ton/hari, dengan keluaran rata-rata 75.022 ton/hari.

Sementara sebagian besar insinerator adalah *small batch* atau jenis intermiten, yang sebagian besar lagi memiliki kapasitas pembakaran yang lebih besar, lebih baru, dan sepenuhnya merupakan fasilitas pengolahan sampah menjadi energi. Terdapat 361 buah insinerator tipe ini pada tahun 1983.

Kapasitas fasilitas *incinerator* terbesar di Jepang adalah 1.800 ton/hari yaitu Tokyo Plant yang merupakan setengah dari kapasitas terbesar pembakaran sampah di AS. Hal ini sangat umum untuk insinerator yang besar untuk memiliki penghancur untuk pengolahan limbah besar, yang menyumbang sedikitnya 1 sampai 5% dari sampah yang akan diinsinerasi.

Semua insinerator di Jepang dimiliki oleh pemerintah, meskipun sepertiganya merupakan kontrak dengan perusahaan swasta. Fasilitas pengolahan limbah menjadi energi umumnya mahal untuk dibangun dan menghabiskan antara 20 juta sampai 30 juta (US \$ 130.000 - \$ 195.000) per ton, tergantung pada fasilitas yang disediakan. Pada fasilitas Sohka (Takuma) dengan kapasitas 300 ton/hari, yang mulai dioperasikan pada tahun 1985, membutuhkan biaya 8 miliar yen (\$ 52 juta)(Hershkowitz, 1989).

4.5.2 Teknologi Konversi Termal di Irlandia

Irlandia saat ini memiliki infrastruktur limbah, yang didasarkan pada *landfill*. Dan telah melebihi kapasitas dan tidak bisa mematuhi peraturan Eropa. Sejumlah strategi mengenai sampah telah dibuat dan sedang menunggu implementasi. Konversi termal dan *anaerobic digestion* adalah salah satu dari berbagai solusi pengelolaan sampah terpadu yang diusulkan.

Teknologi Konversi termal yang digunakan di Irlandia meliputi 2 sistem yaitu:

1) *Inceneration*

Dari beberapa *incinerator* yang diteliti didapatkan efisiensi energi sebagaimana yang ditunjukkan dalam tabel 4.14.

Tabel 4.14 Effisiensi Energi dan Energi yang dibutuhkan oleh Incinerator

Tipe	Rata-Rata	Maksimal
<i>Electricity</i>		
Electrical efficiency obtained	18%	22%
Parasitic electrical demand	15%	
Net electrical efficiency %	15.3%	
<i>Thermal</i>		
Average thermal efficiency obtained	50%	
Parasitic thermal demand	15%	
Net thermal efficiency	42.5%	

Sumber: Murphy, 2004

Tabel 4.15 Biaya insinerasi yang dibutuhkan

Fasilitas Insinerasi	Size (ktpa)	Capital Cost(€/tpa)	Running Cost (€/t)
British, Irish, American	120	560	42(7.5%)
	420	430	28(6.5%)
Danish	40	650	48.8(7.5%)
	230	560	36.5(6.5%)
Dutch	450	1030	67(6.5%)

Sumber: Murphy, 2004

2) *Gasification*

Keuntungan gasifikasi selama proses insinerasi terutama karena efisiensi listrik yang lebih baik dari yang dihasilkan pembangkit. Dalam sistem skala besar dengan kombinasi turbin

yang digunakan, akan dapat meningkatkan efisiensi listrik, tetapi mengurangi suhu sisa panas dalam uap. Produksi energi termal sehingga secara signifikan lebih rendah dari yang dihasilkan oleh insenerasi. Tabel 4.16 menunjukkan efisiensi energi dan energi yang dibutuhkan.

Tabel 4.16 Effisiensi Energi dan Energi yang dibutuhkan pada gasifikasi

Type	Rata-rata
<i>Electricity</i>	
Electrical efficiency obtained	34%
Parasitic electrical demand	20%
Net electrical efficiency %	27.2%
<i>Thermal</i>	
Average thermal efficiency obtained	30%
Parasitic thermal demand	20%
Net thermal efficiency	24%

Sumber: Murphy, 2004

Tabel 4.17 Biaya gasifikasi yang dibutuhkan

Capital Cost(€/tpa)	Running Cost (€/t)
€524/t MSW pa	60(11.5%)

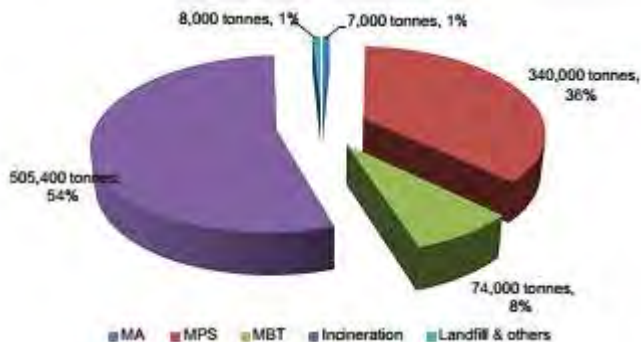
Sumber: Murphy, 2004

4.5.3 Teknologi Konversi Termal di Berlin, Jerman

Selama bertahun-tahun terakhir kebutuhan landfill telah berkurang secara signifikan di Jerman dan alasan utama adalah meningkatnya jumlah sampah yang telah didaur ulang dan digunakan kembali (misalnya, kertas, kemasan lampu, limbah konstruksi, bio-waste, dll). Sebagian besar limbah padat yang tersisa tidak didaur ulang, dibakar, untuk *co-incineration*,

mechanical-physical stabilization (MPS) dan diolah secara mekanis dan biologis/*mechanical and biological treatment* (MBT).

Mechanical-physical stabilization dan *mechanical and biological treatment* merupakan metode inovatif untuk pengolahan limbah padat yang ‘ramah lingkungan’. Prinsip dari kedua metode ini adalah menyortir dan memisahkan sampah menjadi salah satu fraksi yang mudah terbakar (yang kemudian dapat digunakan untuk menghasilkan energi), atau dalam kasus MBT, menjadi fraksi *biodegradable* yang mengalami perlakuan biologis dan kemudian mengalami proses pengomposan dalam kondisi aerobik . Di Berlin, terdapat dua pabrik MPS yang beroperasi di Pankow (dengan kapasitas 160.000 ton/tahun) dan Reinickendorf (dengan kapasitas 180.000 ton/tahun) dengan jumlah kapasitas 340.000 ton/tahun (sekitar 36% dari jumlah total limbah pembuangan pada tahun 2008). Selain itu, saat ini ada satu fasilitas MBT yang terletak di pinggiran Berlin yaitu Fasilitas Schöneiche dengan kapasitas 74.000 ton/tahun (mencakup 8% dari jumlah sampah yang dikelola pada tahun 2008).



Gambar 4.17 Pengelolaan sampah pada tahun 2008 di Berlin

Sumber: Thürmer, 2007

Gambar 4.17 menggambarkan pengelolaan sampah pada tahun 2008 di kota Berlin. Total sampah yang dikelola adalah 934.400 ton, dimana 505.400 ton diinsinerasi dan mencapai 54%

dari total sampah yang dikelola pada tahun 2008. Saat ini, terdapat satu fasilitas insinerasi (The Ruhleben Incineration Plant) dengan kapasitas produksi tahunan total hingga 520.000 ton/tahun, dan merupakan bagian utama dari rencana pengelolaan sampah Berlin (Thürmer, 2007). Produk sampingan seperti logam, dipisahkan untuk daur ulang, bijihnya dapat digunakan kembali setelah pengolahan, dan keluaran energinya berupa panas dan tenaga listrik.

4.5.4 Teknologi Konversi Termal di Singapore

Saat ini, Singapura memiliki empat insinerator: Tuas (2.000 ton/hari), Ulu Pandan (1.700 ton/hari), Senoko (2.400 ton/hari), dan incinerator Tuas Selatan (3000 ton/hari) (lihat Tabel 4.18). Total kapasitas 8200 ton/hari adalah cukup untuk pembakaran semualimbah padat di Singapura sampai tahun 2007. Dengan diantisipasi peningkatan rata-rata 5% pada limbah padat, maka akan diperlukan tambahan insinerator baru. Sebuah pabrik insinerasi kelima (*waste-to-energy plant*), yang terletak di Tuas Selatan dan dijalankan oleh Keppel Seghers Engineering Singapore Pte Ltd. Dan dibangun di bawah Public-Private Partnership (PPP), telah beroperasi sejak awal 2009 dan mampu mengolah 800 ton/hari limbah padat dan menghasilkan lebih dari 20 MW energi bersih (*Ministry of Environment and Water Resources* (MEWR), 2008). Selain itu, salah satu strategi untuk mengurangi jumlah sampah yang akan dibuang di TPA adalah dengan mendaur ulang debu hasil insinerasi dan limbah yang tidak terbakar yang dibuang di TPA (Lang, 2007).

Tabel 4.18 Fasilitas Insenerasi di Singapura

Lokasi Fasilitas Insenerasi	Tahun Dibangun	Biaya konstruksi (juta)	Jumlah Incinerator	Kapasitas (ton/hari)
Ulu Pandan	1979	130	4 unit	1100
Tuas	1986	200	5 unit	1700

Lokasi Fasilitas Insenerasi	Tahun Dibangun	Biaya konstruksi (juta)	Jumlah Incinerator	Kapasitas(ton/ha ri)
Senoko	1992	560	6 unit	2400
Tuas Selatan	2000	900	6 unit	3000

Sumber: NEA Singapore, 2008; Khoo, 2009; NEA dan MEWR, 2006

4.6 Analisa Perundang-undangan

Perundang-undangan yang berlaku di Indonesia mengenai ash dan emisi yang dihasilkan dari teknologi konversi termal adalah Keputusan Kepala Bapedal No. 3 Tahun 1995 Tentang : Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun. Baku mutu untuk emisi udara dari teknologi konversi termal dapat dilihat pada tabel 4.19. Karena residu yang dihasilkan merupakan katagori B3 sehingga harus mengikuti baku mutu yang ditunjukkan pada tabel 4.20.

Tabel 4.19 Baku mutu emisi udara untuk insinerator

Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm ³)
Partikel	50
Sulfur dioksida (SO ₂)	250
Nitrogen dioksida (NO ₂)	300
Hidrogen flourida (HF)	10
Karbon Monoksida (CO)	100
Hidrogen klorida (HCL)	70
Total hidrokarbon (sebagai CH ₄)	35
Arsen (As)	1
Kadmium (Cd)	0.2

Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm ³)
Kromium (Cr)	1
Timbal (Pb)	5
Merkuri (Hg)	0.2
Talium (Tl)	0.2
Opositas	10%

Sumber: Keputusan Kepala Bapedal No. 3 Tahun 1995

Tabel 4.20 Baku Mutu TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) Zat Pencemar Dalam Limbah Untuk Penentuan Karakteristik Sifat Racun

Parameter	Konsentrasi Dalam Ekstraksi Limbah (mg/L) (TCLP)
Aldrin + Dieldrin	0.02
Arsen	0.2
Barium	5
Benzene	0.005
Boron	100
Cadmium	0.05
Carbon tetrachloride	0.2
Chlordane	0.01
Chlorobenzene	5
Choloroform	5
Chromium	0.25
Copper	0.19

Parameter	Konsentrasi Dalam Ekstraksi Limbah (mg/L) (TCLP)
o-Cresol	0.5
m-Cresol	0.5
Total Cresol	0.5
Cyanida (bebas)	1
2,4-D	5
1,4-Dichlorobenzene	0.05
1,2-Dichloroethane	0.2
1,1-Dichloroethylene	0.05
2,4-Dinitrotoluene	0.01
Endrin	50
Fluorides	0.004
Heptachlor + Heptachlor Epoxide	0.08
Hexachlorobenzene	0.05
Hexachloroethane	0.3
Lead	2.5
Lindane	0.2
Mercury	0.01
Methoxychlor	3
Methyl Parathion	0.3
Methyl Ethyl Ketone	20
Nitrate + Nitrite	500
Nitrite	50
Nitrobenzene	1
Pentachlorophenol	0.5
Pyridine	0.1

Parameter	Konsentrasi Dalam Ekstraksi Limbah (mg/L) (TCLP)
PCBs	0.05
Selenium	0.05
Silver	2
Tetrachloroethylene (PCE)	0.3
Phenol	2
DDT	1
Chlorophenol (total)	1
Chloronaphtalene	1
Trihalomethanes	1
2,3,5-Trichlorophenol	40
2,3,6-Trichlorophenol	1
Vynil Chloride	0.05
Zinc	2.5

Sumber: PPRI no. 18 tahun 1999

Kemudian untuk jenis peralatan yang digunakan harus memenuhi baku mutu DRE insinerator (efisiensi penghancuran dan penghilangan). Baku mutu DRE insinerator menurut Keputusan Kepala Bapedal No. 3 Tahun 1995 Tentang : Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun dapat ditunjukkan pada tabel 4.21.

Tabel 4.21 Baku mutu DRE insinerator (efisiensi penghancuran dan penghilangan)

Parameter	Baku Mutu DRE
POHCs	99,99 %
Polychlorinated biphenil (PCBs)	99,9999 %

Parameter	Baku Mutu DRE
Polychlorinated dibeneuran	99,9999 %
Polychlorinated dibenzo-p-dioksin	99,9999 %

Sumber: Keputusan Kepala Bapedal No. 3 Tahun 1995

Kemudian jika mengacu kepada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara maka baku mutu udara ambien yang diizinkan dapat dilihat pada tabel 4.22. Untuk penggunaan dalam rumah sakit harus memperhatikan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 1204/MENKES/SK/X/2004 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit. Selain itu juga memperhatikan Undang-Undang No.23 Tahun 1992 Tentang Kesehatan dan Undang-undang No.23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Tabel 4.22 Baku mutu udara ambien

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
1	SO ₂ (Sulfur Dioksida)	1 jam	900 µg/Nm ³	Pararosanalin	Spektrofotometer
		24 jam	365 µg/Nm ³		
		1 tahun	60 µg/Nm ³		
2	CO (Karbon Monoksida)	1 jam	30000 µg/Nm ³	NDIR	NDIR Analyzer
		24 jam	10000 µg/Nm ³		
		1 tahun			
3	NO ₂ (Nitrogen Dioksida)	1 jam	400 µg/Nm ³	Saltzman	Spektrofotometer
		24 jam	150 µg/Nm ³		
		1 tahun	100 µg/Nm ³		
4	O ₃ (Oksida)	1 Jam	235 µg/Nm ³	Chemiluminescent	Spektrofotometer
		1 tahun	50 µg/Nm ³		
5	HC (Hidro karbon)	3 jam	160 µg/Nm ³	Flamed Ionization	Gas Chromatografi
6	PM ₁₀ (Partikel <10 mm)	24 jam	150 µg/Nm ³	Gravimetric	Hi-Vol
	PM _{2,5} (*) (Partikel <2,5 mm)	24 jam	65 µg/Nm ³	Gravimetric	Hi-Vol
		1 tahun	15 µg/Nm ³	Gravimetric	Hi-Vol
7	TSP (Debu)	24 jam	230 µg/Nm ³	Gravimetric	Hi-Vol
		1 tahun	90 µg/Nm ³		

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
7	TSP (Debu)	24 jam	230 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Gravimetric	Hi-Vol
		1 tahun	90 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		
8	Pb (Timah Hitam)	24 Jam	2 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Gravimetric	Hi-Vol
		1 tahun	1 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Ekstraktif Pengabuan	AAS
9	Dustfall (Debu Jatuh)	30 hari	10 ton/km ² /bulan (Pemukiman), 10 ton/km ² /bulan (Industri)	Gravimetric	Cannister
10	Total Fluorides (as F)	24 jam	3 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Specific Ion Electrode	Impinger atau Countinous Analyzer
		90 hari	0,5 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		
11	Flour Indeks	30 hari	40 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$ dari kertas limed filter	Colourimetric	Limed Filter paper
12	Khlorine & Khlorine dioksida	24 Jam	150 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Specific Ion Electrode	Impinger atau Countinous Analyzer
13	Sulphat Indeks	30 hari	1 mg SO ₃ /100 cm ³ dari Lead Peroksida	Colourimetric	Lead Peroxida Candle

Sumber : PPRI No. 41 tahun 1999

Catatan:

- (*) $PM_{2,5}$ mulai berlaku tahun 2002
- Nomor 11 s/d 13 hanya diberlakukan untuk daerah/kawasan Industri Kimia Dasar

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Proses yang memiliki dampak negatif yang paling banyak adalah proses *combustion*. Sedangkan proses yang memiliki dampak positif yang paling banyak adalah proses *gasification*.
2. Pemrosesan buangan padat dengan teknologi konversi termal dibagi menurut kebutuhannya terhadap udara yaitu *combustion* (udara berlebih), *gasification* (kekurangan udara) dan *pyrolysis* (tanpa udara).
3. Pada *combustion* didapatkan karakteristik hasil sampah kota Surabaya berturut turut dari CO₂, N₂O, CH₄, CO, NO_x, NH₃, NMVOCs adalah 1,916 x 10⁸ Kg CO₂/tahun, 5,078 x 10³ Kg/tahun, 0, 1,269 x 10⁵ Kg/tahun, 5,078 x 10⁵ Kg/tahun, 1,015 x 10⁴ Kg/tahun 1,269 x 10⁴ Kg/tahun. Sedangkan pada *gasification* didapatkan hasil untuk CO₂, CO, SO₂, H₂S, dan NO_x berturut-turut adalah 2,29 x 10⁸ Kg/tahun, 1,05 x 10⁵ Kg/tahun, 2,21 x 10⁴ Kg/tahun, 5,540 x 10³ Kg/tahun, 1,12 x 10⁵ Kg/tahun. Nilai energi yang dihasilkan dari proses konversi termal buangan padat masih lebih kecil dibandingkan dari energi yang didapat dari teknologi batubara yaitu 2,4:1.
4. Perundang-undangan yang berlaku di Indonesia mengenai ash dan emisi yang dihasilkan dari teknologi konversi termal adalah Keputusan Kepala Bapedal No. 3 Tahun 1995 Tentang : Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18

Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Untuk penggunaan dalam rumah sakit harus memperhatikan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 1204/MENKES/SK/X/2004 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit. Selain itu juga memperhatikan Undang-Undang No.23 Tahun 1992 Tentang Kesehatan dan Undang-undang No.23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.

5.2 Saran

Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai teknologi konversi termal. Sehingga dapat dibandingkan secara langsung baik dari karakteristiknya hingga energi yang dihasilkan.

**Keputusan Kepala Bapedal No. 3 Tahun 1995
Tentang : Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah
Bahan Berbahaya Dan Beracun**

Oleh : KEPALA BAPEDAL
Nomor : KEP-03/BAPEDAL/09/1995
Tanggal : 5 SEPTEMBER 1995 (JAKARTA)

KEPALA BADAN PENGENDALIAN DAMPAK LINGKUNGAN

Menimbang :

- a. bahwa untuk melaksanakan Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 1994 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang telah diubah dengan Peraturan Pemerintah Nomor 12 Tahun 1995 tentang perubahan Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 1994 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun telah diatur ketentuan mengenai Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun;
- b. bahwa sehubungan dengan hal tersebut di atas perlu ditetapkan Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun;

Mengingat :

1. Undang-undang Nomor 4 Tahun 1982 tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lembaran Negara Tahun 1982 Nomor 12, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3215);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 51 Tahun 1993 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (Lembaran Negara Tahun 1993 Nomor 84, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3538);
3. Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 1994 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (Lembaran Negara Tahun 1994 Nomor 26, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3551) yang telah diubah dengan Peraturan Pemerintah Nomor 12 Tahun 1995 tentang Perubahan Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 1994 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (Lembaran Negara Tahun 1995 Nomor 24, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3595);
4. Keputusan Presiden Nomor 77 Tahun 1994 tentang Badan Pengendalian Dampak Lingkungan.

MEMUTUSKAN :

Menetapkan :

KEPUTUSAN KEPALA BADAN PENGENDALIAN DAMPAK LINGKUNGAN
TENTANG PERSYARATAN TEKNIS PENGOLAHAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA
DAN BERACUN

Pasal 1

Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) adalah proses untuk mengubah karakteristik dan komposisi limbah B3 menjadi tidak berbahaya dan/atau tidak beracun.

Pasal 2

Persyaratan pengolahan limbah B3 meliputi persyaratan:

Lokasi pengolahan limbah B3;
Fasilitas pengolahan limbah B3;
Penanganan limbah B3 sebelum diolah;
Pengolahan limbah B3;
Hasil pengolahan limbah B3.

Pasal 3

Persyaratan teknis pengolahan limbah B3 meliputi:

fisika dan kimia;
atabilisasi/solidifikasi;
insinerasi.

Pasal 4

Ketentuan pengolahan dan persyaratan teknis pengolahan limbah B3 sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 dan Pasal 3 sebagaimana tersebut dalam Lampiran Keputusan ini.

Pasal 5

Setiap penanggungjawab kegiatan pengolahan limbah B3 yang berhubungan langsung dengan pengolahan limbah B3 wajib:

mempunyai latar belakang pendidikan tentang pengelolaan limbah B3; atau pernah mengikuti pelatihan pengelolaan limbah B3;

Pasal 6

Setiap karyawan/operator yang langsung berhubungan dengan unit operasi pengolahan limbah B3 wajib mengikuti pelatihan pengelolaan limbah B3;

Pasal 7

Pengolah limbah B3 wajib membuat dan menyampaikan laporan tentang pengolahan limbah B3 secara berkala sekurang-kurangnya dalam waktu 3 (tiga) bulan sekali kepada Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan dengan tembusan Bupati/Walikotamadya Kepala Daerah Tingkat II dan Gubernur Kepala Daerah Tingkat I yang bersangkutan, tentang:

Jenis, karakteristik, jumlah timbulan limbah B3 dan waktu diterimanya limbah B3;

Jenis, karakteristik, jumlah dan waktu limbah B3 yang diolah;

Jenis, karakteristik, jumlah dan waktu timbulan limbah B3 (cair dan/atau padat) hasil pengolahan;

Jenis, karakteristik, jumlah, dan waktu limbah B3 yang ditimbun (landfill);

Pasal 8

Setiap pengolah limbah B3 wajib melakukan pemantauan terhadap baku mutu limbah yang dihasilkan dari kegiatan yang dilakukan.

Pasal 9

Hasil pemantauan terhadap baku mutu limbah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 8 wajib dilaporkan sekurang-kurangnya 3 (tiga) bulan sekali kepada Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan dengan tembusan Bupati/Walikotamadya Kepala Daerah Tingkat II dan Gubernur Kepala Daerah Tingkat I yang bersangkutan.

Pasal 10

Persyaratan teknis pengolahan yang belum diatur dalam keputusan ini akan diatur kemudian.

Pasal 11

Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan : di Jakarta
Pada tanggal : 5 September 1995
Kepala Badan Pengendalian
Dampak Lingkungan

Sarwono Kusumaatmadja

PERSYARATAN TEKNIS PENGOLAHAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN

1. PENDAHULUAN

Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), adalah proses untuk mengubah jenis, jumlah dan karakteristik limbah B3 menjadi tidak berbahaya dan/atau tidak beracun dan/atau immobilisasi limbah B3 sebelum ditimbun dan/atau memungkinkan agar limbah B3 dimanfaatkan kembali (daur ulang). Proses pengolahan limbah B3 dapat dilakukan secara pengolahan fisika dan kimia, stabilisasi/solidifikasi, dan insenerasi.

Proses pengolahan secara fisika dan kimia bertujuan untuk mengurangi daya racun limbah B3 dan/atau menghilangkan sifat/karakteristik limbah B3 dari berbahaya menjadi tidak berbahaya. Proses pengolahan secara stabilisasi/solidifikasi bertujuan untuk mengubah watak fisik dan kimiawi limbah B3 dengan cara penambahan senyawa pengikat B3 agar pergerakan senyawa B3 ini terhambat atau terbatas dan membentuk massa monolit dengan struktur yang kekar. Sedangkan proses pengolahan secara insinerasi bertujuan untuk menghancurkan senyawa B3 yang terkandung di dalamnya menjadi senyawa yang tidak mengandung B3.

Pemilihan proses pengolahan limbah B3, teknologi dan penerapannya didasari atas evaluasi kriteria yang menyangkut kinerja, keluwesan, kehadalan, keamanan, operasi dari teknologi yang digunakan, dan pertimbangan lingkungan. Timbunan limbah B3 yang sudah tidak dapat diolah atau dimanfaatkan lagi harus ditimbun pada lokasi penimbunan (*landfill*) yang memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

2. PERSYARATAN PENGOLAHAN LIMBAH B3

2.1. *Persyaratan Lokasi Pengolahan Limbah B3*

Pengolahan limbah B3 dapat dilakukan di dalam lokasi penghasil limbah B3 atau di luar penghasil limbah B3. Untuk pengolahan **di dalam** lokasi penghasil, lokasi pengolahan disyaratkan :

- a. Merupakan daerah bebas banjir, dan
- b. Jarak antara lokasi pengolahan dan lokasi fasilitas umum minimal 50 meter.

Persyaratan lokasi pengolahan limbah B3 **di luar** lokasi penghasil adalah :

- a. Merupakan daerah bebas banjir;
- b. Pada jarak paling dekat 150 meter dari jalan utama/jalan tol dan 50 meter untuk jalan lainnya;
- c. Pada jarak paling dekat 300 meter dari daerah pemukiman, perdagangan, rumah sakit, pelayanan kesehatan atau kegiatan sosial, hotel, restoran, fasilitas keagamaan dan pendidikan;
- d. Pada jarak paling dekat 300 meter dari garis pasang naik laut, sungai, daerah pasang surut, kolam, danau, rawan, mata air dan sumur penduduk;
- e. Pada jarak paling dekat 300 meter dari daerah yang dilindungi (cagar alam, hutan lindung dan lain-lainnya).

2.2. Persyaratan Fasilitas Pengolahan Limbah B3

Dalam pengoperasian limbah B3 harus menerapkan system operasi yang meliputi :

a. Sistem Keamanan Fasilitas

Sistem keamanan yang diterapkan dalam pengoperasian fasilitas pengolahan limbah B3 sekurang-kurangnya harus :

- 1) Memiliki system penjagaan 24 jam yang memantau, mengawasi dan mencegah orang yang tidak berkepentingan masuk ke lokasi;
- 2) Mempunyai pagar pengaman atau penghalang lain yang memadai dan suatu system untuk mengawasi keluar masuk orang dan kendaraan melalui pintu gerbang maupun jalan masuk lain;
- 3) Mempunyai tanda yang mudah terlihat dari jarak 10 meter dengan tulisan “Berbahaya” yang dipasang pada unit/bangunan pengolahan dan penyimpanan, serta tanda “Yang Tidak Berkepentingan Dilarang Masuk” yang ditempatkan di setiap pintu masuk ke dalam fasilitas dan pada setiap jarak 100 meter di sekeliling lokasi;
- 4) Mempunyai penerangan yang memadai di sekitar lokasi.

b. Sistem Pencegahan Terhadap Kebakaran

Untuk mencegah terjadi kebakaran atau hal lain yang tak terduga di fasilitas pengolahan, maka sekurang-kurangnya harus :

- 1) Memasang system arde (*Electrikal Spark Grounding*)
- 2) Memasang tanda peringatan, yang jelas terlihat dari jarak 10 meter, dengan tulisan :

“Awat Berbahaya”, “Limbah B3 (mudah terbakar, ..., dll)

Dilarang Keras Menyalakan Api Atau Merokok !”

- 3) Memasang peralatan pedeteksi bahaya kebakaran yang bekerja secara otomatis selama 24 jam terus menerus, berupa:
 - (a) Alat deteksi peka asam (*smoke sensing alarm*), dan
 - (b) Alat deteksi peka panas (*heat sensing alarm*),
- 4) Tersediannya system pemadam kebakaran yang berupa :
 - (a) Sistem permanen dan otomatis, dengan menggunakan bahan pemadam air, busa, gas atau bahan kimia kering, dengan jumlah dan mutu sesuai kebutuhan;
 - (b) Pemadam kebakaran *portable* dengan kapasitas minimum 10 kg untuk setiap 100 m² dalam ruangan ;
- 5) Menata jarak atau lorong antara kontainer – kontainer yang berisi limbah B3 minimum 60 cm sehingga tidak mengganggu gerakan orang, peralatan pemadam kebakaran, peralatan pengendali/pencegah tumpahan limbah, dan peralatan untuk menghilangkan kontaminasi ke semua arah di dalam lokasi;
- 6) Menata jarak antara bangunan-bangunan yang memadai sehingga mobil pemadam kebakaran mempunyai akses menuju lokasi kebakaran.

c. Sistem pencegahan Tumpahan Limbah

- 1) Fasilitas pengolahan limbah B3 harus mempunyai rencana, dokumen dan petunjuk teknis operasi pencegahan tumpahan limbah B3 yang meliputi;
 - (a) Pemeriksaan Mingguan terhadap fasilitas pengolahan, dan
 - (b) Sistem tanda bahaya peringatan dini yang bekerja selama 24 jam dan yang akan memberi tanda bahaya sebelum terjadi tumpahan/luapan limbah (*level control*).
- 2) Pengawas harus dapat mengidentifikasi setiap kelainan yang terjadi, seperti malfungsi, kerusakan, kelalaian operator, kebocoran atau tumpahan yang dapat menyebabkan terlepasnya limbah dari fasilitas pengolahan ke lingkungan. Program ini juga harus menyangkut terlepasnya limbah dari fasilitas pengolahan ke lingkungan. Program ini juga harus menyangkut mekanisme tanggap darurat;
- 3) Penggunaan bahan penyerap (*absorbent*) yang sesuai dengan jenis dan karakteristik tumpahan limbah B3.

d. Sistem Penanggulangan Keadaan Darurat.

Fasilitas pengolahan limbah B3 harus mempunyai system untuk mengatasi keadaan darurat yang mungkin terjadi. Persyaratan minimum untuk system tanggap darurat antara lain:

- 1) Ada koordinator penanggulangan keadaan darurat, yang bertanggungjawab melaksanakan tindakan-tindakan yang harus

diakukan sesuai dengan prosedur penanganan kondisi darurat yang terjadi;

- 2) Jaringan komunikasi atau pemberitahuan kepada :
 - (a) Tim penanggulangan keadaan darurat,
 - (b) Dinas pemadam kebakaran,
 - (c) Pihak kepolisian,
 - (d) Ambulan dan pelayanan kesehatan,
 - (e) Sekolah, rumah sakit dan penduduk setempat,
 - (f) Aparat pemerintah terkait setempat;
- 3) Memiliki prosedur evakuasi bagi seluruh pekerja fasilitas pengolahan limbah B3.
- 4) Mempunyai peralatan penanggulangan keadaan darurat;
- 5) Tersedianya peralatan dan baju pelindung bagi seluruh staf penanggulangan keadaan darurat di lokasi, dan sesuai dengan jenis limbah B3 yang ditangani di lokasi tersebut;
- 6) Memiliki prosedur tindakan darurat pengangkutan;
- 7) Menetapkan prosedur untuk penutupan sementara fasilitas pengolahan;
- 8) Melakukan pelatihan bagi karyawan dalam penanggulangan keadaan darurat yang dilakukan minimal dua kali dalam setahun.

e. Sistem Pengujian Peralatan

- 1) Semua alat pengukur, peralatan operasi pengolahan dan perlengkapan pendukung operasi harus diuji minimum sekali dalam setahun;
- 2) Hasil pengujian harus dituangkan dalam berita acara yang memuat hasil uji coba penanganan system keadaan darurat. Informasi tersebut harus selalu tersedia di lokasi fasilitas pengolahan limbah B3.

f. Pelatihan Karyawan

Perusahaan wajib memberikan pelatihan secara berkala kepada karyawan yang meliputi :

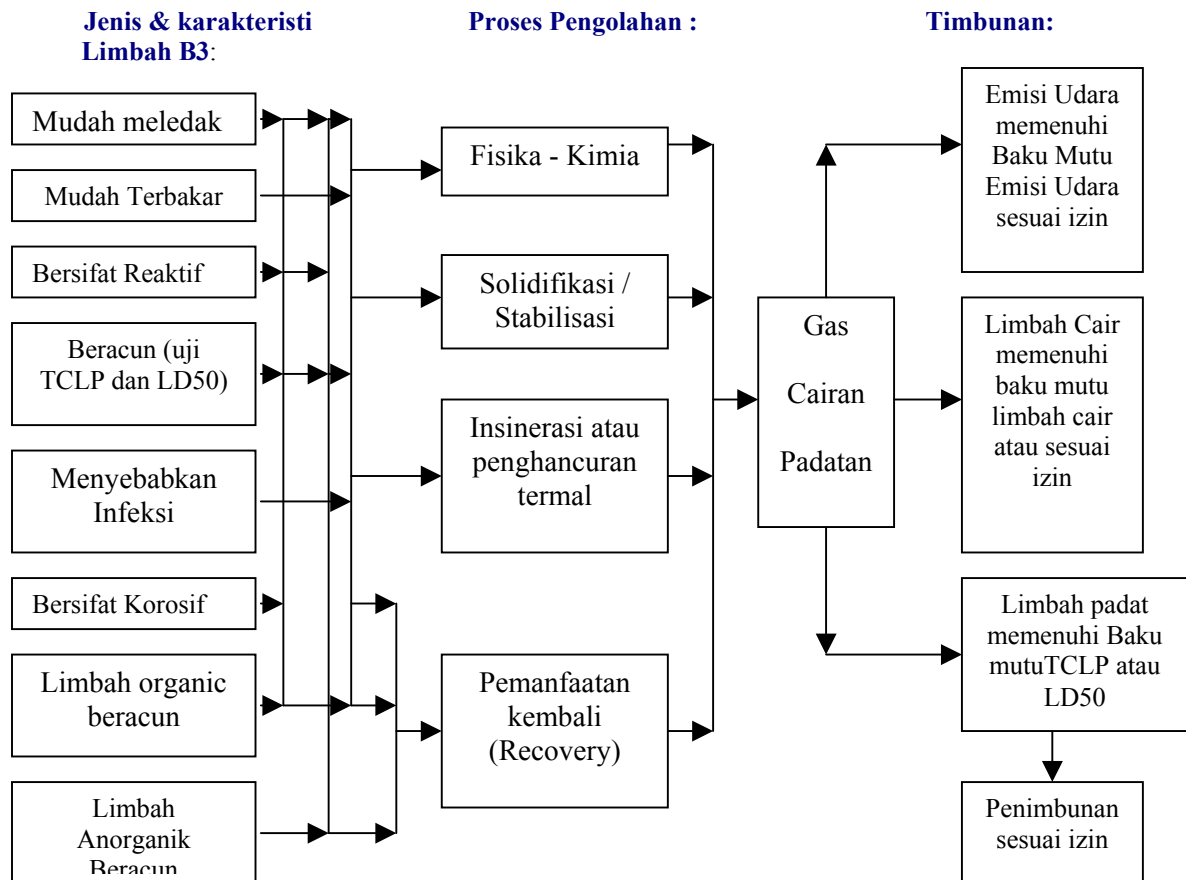
- 1) Pelatihan dasar, diantaranya;
 - (a) Pengenalan limbah; meliputi jenis limbah, sifat dan karakteristik serta bahayannya terhadap lingkungan dan manusia, serta tindakan pencegahannya;
 - (b) Peralatan pelindung: menyangkut kegunaan dan penggunaannya;
 - (c) Pelatihan untuk keadaan darurat: meliputi kebakaran, ledakan, tumpahan, matinya listrik, evakuasi, dan sebagainya;
 - (d) Prosedur inspeksi;
 - (e) Pertolongan pertama pada kecelakaan (P3K);
 - (f) Peralatan keselamatan kerja (K3);
 - (g) Peraturan perundangan-undangan tentang pengolahan limbah B3.
- 2) Pelatihan khusus
 - (a) Pemeliharaan peralatan pengolahan dan peralatan penunjangnya;
 - (b) Pengoperasian alat pengolahan dan peralatan penunjangnya;
 - (c) Laboratorium;
 - (d) Dokumentasi dan pelaporan;
 - (e) Prosedur penyimpanan dokumentasi dan pelaporan.

2.3. Persyaratan Penanganan Limbah B3 Sebelum Diolah

Sebelum melakukan pengolahan, terhadap limbah B3 harus dilakukan uji analisa kandungan/parameter fisika dan/atau kimia dan/atau biologi guna menetapkan prosedur yang tepat dalam proses pengolahan limbah B3 tersebut.

Setelah kandungan/parameter fisika dan/atau kimia dan/atau biologi yang terkandung dalam limbah B3 tersebut di ketahui, maka terhadap selanjutnya adalah menentukan pilihan proses pengolahan limbah B3 yang dapat memenuhi kualitas dan baku mutu pembuangan dan/atau lingkungan yang ditetapkan.

Alternatif proses teknologi pengolahan limbah B3 dapat dilihat pada diagram di bawah ini.



Keterangan :

1. Baku mutu limbah cair wajib memenuhi persyaratan sebagaimana yang telah ditetapkan dalam Kep-men 04/1991 atau yang ditetapkan oleh Bapedal.
2. Baku mutu emisi udara wajib memenuhi persyaratan sebagaimana yang telah ditetapkan dalam Kep-men 13/1995 atau yang ditetapkan oleh Bapedal.
3. Penimbunan wajib memenuhi semua persyaratan yang tercantum dalam PP 19/1994 dan ketentuan lain yang ditetapkan.

2.4. Pengolahan limbah B3

a. Pengolahan limbah B3 secara fisika dan kimia

Perlakuan terhadap limbah B3 dapat dilakukan dengan proses pengolahan sbb:

- 1) Proses pengolahan secara Kimia antara lain;
 - (a) Reduksi – Oksidasi,
 - (b) Elektrolisis,
 - (c) Netralisasi,
 - (d) Presipitasi/Pengendapan,
 - (e) Solidifikasi/Stabilisasi,
 - (f) Absorpsi,
 - (g) Penukar Ion,
 - (h) Pirolisa
- 2) Proses pengolahan secara fisika antara lain;
 - a) Pembersihan Gas;
 1. Elektrostatis presipitator,
 2. Penyaringan partikel,
 3. Wet scrubbing,
 4. Adsorpsi dengan karbon aktif,
 - b) Pemisahan cairan dan padatan:
 1. Sentrifugasi,
 2. Klarifikasi
 3. Koagulasi,
 4. Filtrasi,
 5. Flokulasi,
 6. Flotasi,
 7. Sedimentasi,
 8. Thickening.
 - c) Penyisihan komponen-komponen yang spesifik.
 1. Adsorpsi,
 2. Kristalisasi,
 3. Dialisis,
 4. Electrodialisa,
 5. Evaporasi,
 6. Leaching,
 7. Reverse osmosis,
 8. Solvent extraction,
 9. Stripping,

Penjelasan lebih rinci mengenai proses pengolahan fisika dan kimia sebagaimana yang dimaksud, akan diterbitkan dalam panduan pengolahan

limbah B3, yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari lampiran keputusan ini.

b. Pengolahan Stabilisasi/Solidifikasi

Proses stabilisasi/solidifikasi adalah suatu tahapan proses pengolahan limbah B3 untuk mengurangi potensi racun dan kandungan limbah B3 melalui upaya memperkecil/membatasi daya larut, pergerakan/penyebaran dan daya racunnya (immobilisasi unsure yang bersifat racun) sebelum limbah B3 tersebut dibuang ke tempat penimbunan akhir (*landfill*)

Prinsip kerja stabilisasi/solidifikasi adalah pengubahan watak fisik dan kimiawi limbah B3 dengan cara penambahan senyawa pengikat (*landfill*) sehingga pergerakan senyawa-senyawa B3 dapat dihambat atau terbatas dan membentuk ikatan massa monolit dengan struktur yang kekar (*massive*).

Bahan-bahan yang biasa digunakan untuk proses stabilisasi/solidifikasi (bahan aditif) antara lain:

- 1) Bahan pencampur : gypsum, pasir, lempung, abu terbang; dan
- 2) Bahan perekat/pengikat : semen, kapur, tanah liat, dll

Tata cara kerja stabilisasi/solidifikasi :

- 1) Limbah B3 sebelum distabilisasi/solidifikasi harus dianalisis karakteristiknya guna menentukan resep stabilisasi/solidifikasi yang diperlukan terhadap limbah B3 tersebut;
- 2) Setelah dilakukan stabilisasi/solidifikasi, selanjutnya terhadap hasil olahan tersebut dilakukan uji TCLP untuk mengukur kadar/konsentrasi parameter dalam lindi (extract/eluate) sebagaimana yang tercantum dalam Tabel 1 keputusan ini. Hasil uji TCLP sebagaimana dimaksud, kadarnya tidak boleh melewati nilai ambang batas sebagaimana ditetapkan dalam table.1;
- 3) Terhadap hasil olahan tersebut selanjutnya dilakukan uji kuat tekan (*Compressive Strength*) dengan “Soil Penetrometer Test”, dengan harus mempunyai nilai tekanan minimum sebesar 10 ton/m² dan lolos uji “Paint Filter test”.
- 4) Limbah B3 olahan yang memenuhi persyaratan kadar TCLP, nilai uji kuat tekan dan lolos tes paint filter test; selanjutnya harus ditimbun ditempat penimbunan (*landfill*) yang ditetapkan pemerintah atau yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

Tabel 1. *Baku Mutu TCLP (Hasil Ekstraksi/Lindi)*

Parameter	Konentrasi dalam
	ekstraksi limbah (mg/L)
Aldrin + Dieldrin	0,07
Arsen	5,0
Barium	100,0
Benzene	0,5
Boron	500,0
Cadmium	1,0
Carbon tetrachloride	0,5
Chlordane	0,03
Chlorobenzene	100,0
Chloroform	6,0
Chromium	5,0
Copper	10,0
o- Cresol	200,0
m -Cresol	200,0
p - Cresol	200,0
Total Cresol	200,0
Cyaide (free)	20,0
2,4 -D	10,0
1,4 - Diclorobenzene	7,5
1,2 - Dicloroethane	0,5
1,1 - Dicloroethylene	0,7
2,4 - Dinitrotoluene	0,13
Endrin	0,02
Fluorides	150,0
Hepachlor + Heptachlor epoxide	0,008
Hexachlorobenzene	0,13
Hexachlorobutadiene	0,5
Hexacholoroethane	3,0
Lead	5,0
Lindane	0,4
Mercury	0,2
Methoxychlor	10,0
Methyl ethylketone	200,0
Methyl Parathion	0,7
Nitrate + Nitrite	1000,0
Nitrite	100,0
Nitrobenzene	2,0
Nitrilotriacetic acid	5,0
Pentachlorophenol	100,0
pyridine	5,0
Parathion	3,5
PCBs	0,3
Selenium	1,0
Silver	5,0
Tetrachloroethylene (PCE)	0,7
Toxaphene	0,5
Trichloroethylenes (TCE)	0,5
Trialomethanes	35,0
2,4,5 - Trichlorophenol	400,0
2,4,6 - Trichlorophenol	2,0
2,4,5 -TP (Silvex)	1,0
Vynl chloride	0,2
Zinc	50,0

Khusus untuk unsur lain yang belum tercantum dalam tabel diatas akan diatur kemudian.

Proses lebih rinci mengenai proses pengolahan secara stabilisasi/solidifikasi sebagaimana yang dimaksud akan diterbitkan dalam panduan pengolahan limbah B3, yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari lampiran keputusan ini.

c. Pengolahan dengan Insinerasi (Thermal Treatment)

- 1) Sebelum mulai membangun atau memasang insinerator fasilitas pengolahan limbah B3, pemilik harus memberikan data-data spesifikasi teknis di bawah ini:
 - a) Spesifikasi insinerator, sekurang-kurangnya memuat informasi antara lain:
 1. Nama Pabrik pembuat dan nomor model.
 2. Jenis insinerator.
 3. Dimensi internal dari unit insinerator termasuk luas penampang zona/ruang proses pembakaran.
 4. Kapasitas udara penggerak utama (prime air mover).
 5. Uraian mengenai system bahan bakar (jenis/umpan).
 6. Spesifikasi teknis dan desain dari nozzle dan burner.
 7. Temperatur dan tekanan operasi di zona/ruang bakar.
 8. Waktu tinggal limbah dalam zona/ruang pembakar.
 9. Kapasitas blower.
 10. Tinggi dan diameter cerobong.
 11. Uraian peralatan pencegah pencemaran udara dan peralatan pemantauan emisi cerobong (stack/chimney).
 12. Tempat dan deskripsi dari alat pencatat suhu, tekanan, aliran dan alat-alat pengontrol lain.
 13. Deskripsi system pemutus umpan limbah yang bekerja otomatis.
 14. Efisiensi Penghancuran dan penghilangan (DRE), dan Efisiensi Pembakaran (EP).
 - b) Memperkirakan tingkat maksimal konsentrasi pada permukaan tanah akibat udara dari insinerator dengan memakai persamaan distribusi GAUSS dan/atau pengembangannya dengan mempertimbangkan kondisi meteorology setempat.
 - c) Memberikan uraian tentang jadwal konstruksi, mulai dari tahap pra konstruksi, pelaksanaan konstruksi, penyelesaian konstruksi, dan tahap persiapan operasi.
 - d) Menyerahkan laporan yang berisi informasi tentang butir (a), (b), dan (c) kepada kepala Bapedal sebagai lampiran pertimbangan dalam permohonan perizinan.
- 2) Sebelum insinerator di operasikan secara terus menerus atau kontinu, pemilik harus melakukan uji coba pembakaran (*trial burn test*). Uji coba ini harus mencakup semua peralatan utama dan peralatan penunjang termasuk peralatan pengendalian pencemaran udara yang dipasang. Uji coba dilakukan setelah mendapat persetujuan dari

Bapedal mengenai kelengkapan pada butir (1), dan dalam pelaksanaannya diawasi oleh Bapedal.

Uji coba pembakaran ini bertujuan untuk memperoleh:

- a) Deskripsi kualitatif dan kuantitatif sifat fisika, kimia dan biologi dari :
 - 1. Limbah B3 yang akan dibakar termasuk semua jenis bahan organik berbahaya dan beracun utama (POHCs, PCBs, PCDFs, PCDDs), Halogen, Total Hidrokarbon (THC), dan Sulfur serta konsentrasi timah hitam dan merkuri dalam limbah B3;
 - 2. Emisi udara termasuk POHCs, produk pembakaran tidak sempurna (PICs) dan parameter yang tercantum pada Tabel 3;
 - 3. Limbah cair yang dikeluarkan (effluent) dari pengoperasian insinerator dan peralatan pencegahan pencemaran udara, termasuk semua POHCs, PICs dan parameter-parameter sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.
- b) Menentukan kondisi Operasi,
 - 1) Suhu di ruang bakar, sesuai dengan jenis limbah B3;
 - 2) Waktu tinggal (residence time) gas di zona/ruang bakar minimum 2 detik;
 - 3) Konsentrasi dari excess oxygen di exhaust peneluran.
- c) Menentukan kondisi meteorology yang spesifik (arah angin, kecepatan angin, curah hujan, dan lain-lain) dan konsentrasi ambient dari POHCs, PICs, dan parameter yang tercantum pada Tabel 3;
- d) Menentukan efisiensi penghancuran dan penghilangan (DRE) dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

Rumus Penghitung DRE (Efisiensi Penghancur dan Penghilang):

$$DRE = \frac{W^{in} - W^{out}}{W_{in}} \times 100 \%$$

DRE = Destruction and Removal Efficiency

W_{in} = Laju alir masa umpan masuk insinerator

W_{out} = Laju alir masa umpan keluar insinerator

- c) Menentukan efisiensi pembakaran (EP) dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$EP = \frac{CO_2}{CO_2 + CO} \times 100 \%$$

CO_2 = Konsentrasi emisi CO_2 di exhaust

CO = Konsentrasi emisi CO di Exhaust

- d) Uji coba pembakaran harus dilakukan minimal selama 14 hari secara terus menerus dan tidak atau yang ditetapkan oleh Bapedal.
 - e) Menyerahkan laporan yang berisi informasi tentang butir (a), (b), (c), (d), (e), dan (f) kepada Kepala Bapedal sebagai pertimbangan dalam pemberian perizinan.
- 3) Pada saat pengoperasian diwajibkan melaksanakan hal-hal sebagai berikut;

a) Pengoperasian

- (a) Memeriksa insinerator dan peralatan pembantu (pompa, Conveyor, pipa, dll) secara berkala;
- (b) Menjaga tidak terjadi kebocoran, tumpahan atau emisi sesaat;
- (c) Menggunakan system pemutus otomatis pengumpulan limbah B3 jika kondisi pengoperasian tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan;
- (d) Memastikan bahwa DRE dari insinerator sama dengan atau lebih besar dari yang tercantum pada Tabel 2.
- (e) Mengendalikan peralatan yang berhubungan dengan pembakaran maksimum selama 15 – 30 menit pada saat start-up sebelum melakukan operasi pengolahan secara terus menerus.
- (f) Pengecekan peralatan perlengkapan insinerator (conveyer, pompa, dll) harus dilakukan setiap hari.
- (g) Pengolah hanya boleh membakar limbah sesuai dengan izin yang dipunyai.
- (h) Residu/abu dari proses pembakaran insinerator harus ditimbun sesuai dengan persyaratan penimbunan (*landfill*).

b) Pemantauan :

- 1) Secara terus menerus mengukur dan mencatat;
 - a) Suhu di zona/ruang bakar;
 - b) Laju umpan limbah (*waste feed rate*);
 - c) Laju bahan bakar pembantu;
 - d) Kecepatan gas saat keluar dari daerah pembakaran;
 - e) Konsentrasi karbon monoksida, karbon dioksida, nitrogen oksida, sulfur dioksida, oksigen, HCL, Total Hidrokarbon (THC) dan partikel debu di cerobong (*stack/chimney*);
 - f) Oposisi.
- 2) Secara berkala mengukur dan mencatat konsentrasi POHCs, PCDs, PCDFs, PICs dan logam berat di cerobong.
- 3) Memantau kualitas udara sekeliling dan kondisi meteorologi sekurang-kurangnya 2 (dua) kali dalam sebulan, yang meliputi:
 - a) Arah dan kecepatan angin
 - b) Kelembaban
 - c) Temperatur

d) Curah hujan

- 4) Mengukur dan mencatat timbunan limbah cair (effluent) dari pengoperasian insinerator dan peralatan pengendali pencemaran udara yang harus memenuhi criteria limbah cair yang tercantum dalam Tabel 4.
- 5) Menguji system pemutus otomatis setiap minggu.

c. Pelaporan

- 1) Melaporkan hasil pengukuran emisi cerobong yang telah dilakukan selama 3 bulan terakhir sejak digunakan dan dilakukan pengujian kembali setiap 3 tahun untuk menjaga nilai minimum DRE.
- 2) Konsentrasi maksimum untuk emisi dan nilai minimum DRE sebagaimana tercantum dalam Tabel 2 dan 3. Pelaporan data-data di atas dilakukan setiap 3 (tiga) bulan ke Bapedal.

Tabel 2. *Baku Mutu DRE Insinerator (Efisiensi Penghancuran dan Penghilangan)*

Parameter	Bahan Mutu DRE
POHCs	99,99%
Polychlorinated biphenil (PCBs)	99,9999%
Polychlorinated dibeneuran	99,9999%
Polychlorinated dibenzo-p-dioksin	99,9999%

Tabel 3. *Baku Mutu Emisi Udara Untuk Insinerator*

Parameter	Kadar maksimum (mg/Nm ³)
Partikel	50
Sulfur dioksida (SO ₂)	250
Nitrogen dioksida (NO ₂)	300
Hidrogen flourida (HF)	10
Karbon monoksida (CO)	100
Hidrogen klorida (HCl)	70
Total Hidrokarbon (sebagai CH ₄)	35
Arsen (As)	1
Kadmium (Cd)	0,2
Kromium (Cr)	1
Timbal (Pb)	5
Merkuri (Hg)	0,2
Talium (Tl)	0,2
Opositas	10%

Kadar maksimum pada table di atas dikoreksi terhadap 10 % oksigen (O²) dan pada kondisi normal (250 C, 760 mm Hg) dan berat kering (*dry basis*).

Catatan:

1. Kadar pada Table 3. diatas akan dievaluasi kembali berdasarkan pemantauan emisi udara yang terbaru dan pemodelan dispersi.
2. Efisiensi pembakaran insinerator sama atau lebih besar dari 99,99 %
3. Baku mutu emisi udara dapat ditetapkan kembali sesuai dengan jenis limbah yang akan diolah, dampaknya terhadap lingkungan dan perkembangan teknologi.
4. Bagi penggunaan Tanur Semen (Rotary Cement Kiln) sebagai insinerator, baku mutu emisi udaranya sebagaimana yang ditetapkan pada Kep-Men 13/1995 dan bagi parameter yang tidak tercantum dalam Kep-men 13/1995 mengikuti sebagaimana yang tercantum pada table 3, atau sesuai dengan peraturan yang ditetapkan.
5. Penimbunan abu (bottom ash) dari insinerator di landfill setelah melalui uji Toxicity Characteristic Leaching Prosedure (TCLP) sesuai dengan metode US-EPA SW-846-METHOD 1310. Jika melebihi nilai batas maksimum TCLP Tabel 1 pada keputusan ini maka dilakukan stabilisasi terlebih dahulu.
6. Menjamin bahwa limbah yang sudah distabilisasi tidak berbahaya bagi manusi dan lingkungan (dengan melampirkan hasil analisa TCLP)

Tabel 4. *Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Pengelolaan Limbah Industri B3 (BMLCK-PPLIB3)*

Parameter	Konsentrasi Maksimum	
	Nilai	Satuan
<u>Fisika</u>		
Suhu	38 °C	°C
Zat Padat terlarut	2000	mg/l
Zat padat tersuspensi	200	mg/l
<u>Kimia</u>		
pH	6 _ 9	mg/l
Besi, terlarut (Fe)	5	mg/l
Magan, terlarut (Mn)	2	mg/l
Barium, (Ba)	2	mg/l
Tembaga, (Cu)	2	mg/l
Seng, (Zn)	5	mg/l
Krom valensienam (Cr6+)	0,1	mg/l
Krom total, (Cr)	0,5	mg/l
Kadmium, (Cd)	0,05	mg/l
Merkuri, (Hg)	0.002	mg/l
Timbal, (Pb)	0,1	mg/l
Stanum, (Sn)	2	mg/l
Arsen, (As)	0,1	mg/l
Selenium, (Se)	0,05	mg/l
Nikel, (Ni)	0,2	mg/l
Kobal, (Co)	0,4	mg/l
Sianida, (CN)	0,05	mg/l
Sulfida, (S ²⁻)	0,05	mg/l
Flourida, (F)	2	mg/l
Klorin bebas, (Cl ₂)	1	mg/l
Amoniak bebas, (NH ₃ -N)	1	mg/l
Nitrat, (NO ₃ -N)	20	mg/l
Nitrit, (NO ₂ -N)	1	mg/l
BOD ₆	50	mg/l
COD	100	mg/l
Senyawa aktif biru metilen, (MBAS)	5	mg/l
Fenol	0,5	mg/l
Minyak dan lemak	10	mg/l
AOX	0,5	mg/l
PCBs	0,005	mg/l
PCDFs	10	ng/l
PCDDs	10	ng/l

Catatan:

- Parameter Debit limbah maksimum bagi kegiatan ini disesuaikan dengan kapasitas pengolahan dan karakteristik dari kegiatan.
- Selain Parameter tersebut diatas Bapedal dapat menetapkan parameter kunci lainnya bila dianggap perlu.

Penjelasan lebih rinci mengenai proses pengolahan secara insinerasi sebagaimana yang dimaksud akan diterbitkan dalam panduan pengolahan limbah B3, yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari lampiran keputusan ini. (and)

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Arqol Abid dan nama panggilan Abid. Penulis di lahirkan di Kota Balikpapan pada tanggal 09 Juni. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 025 Balikpapan, SMP Muhammadiyah 3 Al-Mujahidin Balikpapan dan SMA Muhammadiyah 2 Al-Mujahidin Balikpapan. Pada Tahun 2009, penulis menempuh pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan

FTSP - ITS melalui jalur Beasiswa Kementerian Agama dan terdaftar dengan NRP 3309100702. Sejak SMP penulis telah aktif mengikuti kegiatan organisasi OSIS yaitu sebagai wakil Ketua OSIS dan ekstrakurikuler Pramuka. Saat SMA, penulis aktif dalam organisasi OSIS sebagai Sekretaris serta ekstrakurikuler Pramuka dan Marching Band, dan Bulutangkis. Selain itu selama menempuh pendidikan di Pondok Pesantren Al-Mujahidin, penulis aktif sebagai staf Seksi Bahasa dan sebagai Bendahara OPPM (Organisasi Pelajar Ponpes Al-Mujahidin). Penulis juga aktif dalam organisasi kemahasiswaan yaitu sebagai staff Departemen Riset dan Teknologi HMTL - ITS (2010 - 2011). Penulis juga aktif mengikuti pelatihan yaitu Pelatihan Pra - TD dan TD. Pada tahun 2012, penulis mengikuti Kerja Praktek di PU Werdhapura Sanur, Denpasar, Bali pada bagian pengawasan lingkungan Denpasar Sewerage Development Project (DSDP).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”