

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Berdasarkan Peraturan Pemerintah no.18 tahun 1999 dijelaskan bahwa limbah bahan beracun dan berbahaya (limbah B3) adalah sisa suatu usaha atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan beracun yang karena sifat, konsentrasinya, atau jumlahnya yang secara langsung dapat mencemari lingkungan hidup dan membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup yang lain.

Tabel 1. Data Umum Analisis Ultimate dari Komponen yang Mudah Terbakar

<i>Component</i>	<i>Percent by Weight (dry basis)</i>					
	<i>Carbon</i>	<i>Hydrogen</i>	<i>Oxygen</i>	<i>Nitrogen</i>	<i>Sulfur</i>	<i>Ash</i>
<i>Organic</i>						
<i>Food wastes</i>	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
<i>Paper</i>	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0
<i>Cardboard</i>	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0
<i>Plastics</i>	60.0	7.2	22.8	-	-	10.0
<i>Textiles</i>	55.0	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5
<i>Rubber</i>	78.0	10.0	-	2.0	-	10.0
<i>Leather</i>	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
<i>Yard wastes</i>	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5
<i>Wood</i>	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
<i>Inorganic</i>						
<i>Glass</i>	0.5	0.1	0.4	<0.1	-	98.9
<i>Metals</i>	4.5	0.6	4.3	<0.1	-	90.5
<i>Dirt, ash, etc.</i>	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

Sumber : <http://msw.cecs.ucf.edu/Exercise-Chemcomposition.pdf>

Limbah medis adalah limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit dalam bentuk padat, cair, dan gas. Limbah padat B3 terdiri dari limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah farmasi, limbah sitotoksik, limbah kimiawi, limbah radioaktif, limbah container bertekanan, limbah dengan kandungan logam berat yang tinggi.

Dari keseluruhan limbah rumah sakit, sekitar

- 10 sampai 15 persen diantaranya merupakan limbah infeksius yang mengandung logam berat, antara lain merkuri (Hg).
- Sebanyak 40 persen lainnya adalah limbah organik yang berasal dari makanan dan sisa makanan, baik dari pasien dan keluarga pasien maupun dapur gizi.
- Selanjutnya, sisanya merupakan limbah anorganik dalam bentuk botol bekas infus dan plastik.

Berdasarkan sifatnya, limbah dibedakan menjadi:

1) Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun)

Suatu limbah digolongkan sebagai limbah B3 bila mengandung bahan berbahaya atau beracun yang sifat dan konsentrasinya, baik langsung maupun tidak langsung, dapat merusak atau mencemarkan lingkungan hidup atau membahayakan kesehatan manusia. Limbah beracun dibagi menjadi:

- Limbah mudah meledak
- Limbah mudah terbakar.
- Limbah reaktif
- Limbah beracun
- Limbah yang menyebabkan infeksi
- Limbah yang bersifat korosif

2) Limbah *infeksius*

Limbah *infeksius* meliputi limbah yang berkaitan dengan pasien yang memerlukan isolasi penyakit menular serta limbah laboratorium yang berkaitan dengan pemeriksaan mikrobiologi dari poliklinik, ruang perawatan dan ruang isolasi penyakit menular.

3) Limbah radioaktif

Limbah radioaktif adalah bahan yang terkontaminasi dengan radio isotop yang berasal dari penggunaan medis atau riset radionucleida.

4) Limbah umum

Berdasarkan bentuk limbah yang dihasilkan, dibedakan menjadi:

1) Limbah padat

Limbah padat di laboratorium relatif kecil, biasanya berupa endapan atau kertas saring terpakai, sehingga masih dapat diatasi. Limbah padat dibedakan menjadi:

- Limbah padat *infeksius*
- Limbah padat *non infeksius*

2) Limbah gas

Limbah yang berupa gas umumnya dalam jumlah kecil, sehingga relatif masih aman untuk dibuang langsung di udara, contohnya limbah yang dihasilkan dari penggunaan generator, sterilisasi dengan etilen oksida atau dari *thermometer* yang pecah (uap air raksa).

3) Limbah cair

Limbah cair adalah sisa dari suatu hasil usaha atau kegiatan yang berwujud cair (PP No.82 Thn 2001). Umumnya laboratorium berlokasi di sekitar kawasan hunian, sehingga akumulasi limbah cair yang meresap ke dalam air tanah dapat membahayakan lingkungan sekitar. Limbah cair terbagi atas:

- Limbah cair *infeksius*
- Limbah cair *domestic*
- Limbah cair kimia (Astuti, 2012).

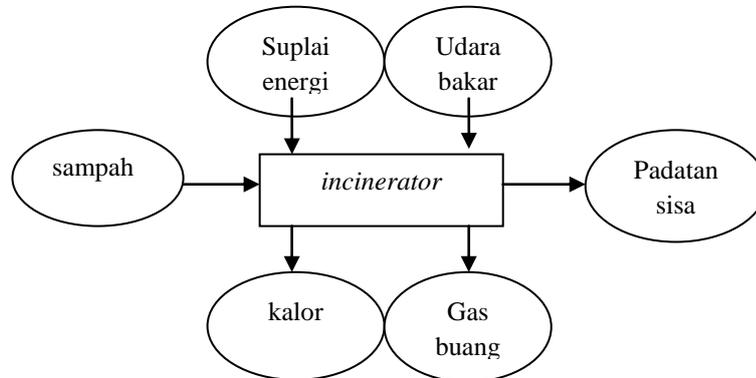
Pengelolaan limbah rumah sakit mengacu pada Permenkes 1204 tahun 2004 ini. Setiap limbah yang tergolong kedalam limbah B3 harus memiliki pengelolaan khusus agar tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sekitar limbah B3 tersebut. Pengelolaan limbah B3 meliputi dari reduksi, pewadahan, pengumpulan, penyimpanan sementara, pengolahan, dan pemusnahan atau penimbunan. (Leonard S dan Welly, 2013).

2.2 Incinerator

Menurut Hufman dan Lee (1996) *Incinerator* merupakan teknologi terbaik yang saat ini digunakan dalam pemusnahan limbah rumah sakit dan teknologi yang paling banyak digunakan pada saat ini. *Incinerator* adalah sebuah alat yang menggunakan sistem *incineration*. Metode yang digunakan dalam sistem ini adalah mendisposisi sampah padat dengan membakar sebagian atau komponen bahan bakar. Bahan-bahan yang digunakan adalah sampah padatan. Proses *incinerator* ini dilakukan dengan membakar sampah pada temperatur yang tinggi (600-1000⁰C). Sehingga sampah padat tersebut berubah bentuk menjadi abu (Christian, 2008).

Sebelum menggunakan insinerator dalam pemusnahan limbah medis, menurut Keputusan Kepala Bapedal No. 3 Tahun 1995, sebuah rumah sakit harus memiliki data-data spesifikasi antara lain nama pabrik pembuat *incinerator*, jenis *incinerator*, kapasitas pembakaran, temperatur operasi, waktu tinggal, laju umpan imbah, kapasitas blower, efisiensi pembakaran, *detruction rate efficiency*, tinggi cerobong, diameter cerobong, kecepatan gas saat keluar dari cerobong, dan akses oksigen pada cerobong.

Adapun skema proses insinerator adalah :



Gambar 1. Skema Proses Incinerator

Incinerator dirancang dengan menggunakan 2 (dua) ruang pembakaran, yaitu Ruang Bakar 1 (*Primary Chamber*) dan Ruang Bakar 2 (*Secondary Chamber*).

- *Primary Chamber*

Berfungsi sebagai tempat pembakaran limbah. Kondisi pembakaran dirancang dengan jumlah udara untuk reaksi pembakaran kurang dari semestinya, sehingga disamping pembakaran juga terjadi reaksi pirolisa. Pada reaksi pirolisa material organik terdegradasi menjadi karbon monoksida dan metana. Temperatur dalam *primary chamber* diatur pada rentang 600⁰C-800⁰C dan untuk mencapai temperatur tersebut, pemanasan dalam *primary chamber* dibantu oleh energi dari *burner* dan energi pembakaran yang timbul dari limbah itu sendiri. Udara (oksigen) untuk pembakaran di suplai oleh blower dalam jumlah yang terkontrol.

Padatan sisa pembakaran di *primary chamber* dapat berupa padatan tak terbakar (logam, kaca) dan abu (mineral), maupun karbon berupa arang. Tetapi arang dapat diminimalkan dengan pemberian suplai oksigen secara *continue* selama pembakaran berlangsung. Sedangkan padatan tak terbakar dapat diminimalkan dengan melakukan pensortiran limbah terlebih dahulu.

- *Secondary Chamber*

Gas hasil pembakaran dan pirolisa perlu dibakar lebih lanjut agar tidak mencemari lingkungan. Pembakaran gas-gas tersebut dapat berlangsung dengan baik jika terjadi pencampuran yang tepat antara oksigen (udara) dengan gas hasil pirolisa, serta ditunjang oleh waktu tinggal (retention time) yang cukup. Udara untuk pembakaran di *secondary chamber* disuplai oleh blower dalam jumlah yang terkontrol.

Selanjutnya gas pirolisa yang tercampur dengan udara dibakar secara sempurna oleh *burner* di dalam *secondary chamber* dalam temperatur tinggi yaitu sekitar 800⁰C-1000⁰C. Sehingga gas-gas pirolisa (Metana, Etana dan Hidrokarbon lainnya) terurai menjadi gas CO₂ dan H₂O.

Adapun parameter utama dalam operasi *incinerator* yaitu :

- *Temperature* (suhu), berkaitan dengan pasokan oksigen/udara. Udara yang dipasok akan menaikkan temperatur karena proses oksidasi materi organik bersifat eksotermis
- *Time* (waktu), berkaitan dengan lamanya fasa gas yang harus terpapar dengan panas yang telah ditentukan. Biasanya 2 detik pada fasa gas, sehingga terjadi pembakaran sempurna
- Turbulensi, sampah harus kontak sempurna dengan oksigen. Insinerator besar diatur dengan kisi-kisi atau tungku yang dapat bergerak, sedangkan insinerator yang kecil (modular) tungkunya statis. (Ruslinda, 2010)

2.2.1 Klasifikasi *Incinerator*

- *Multiple Heart Incinerator*

Alat ini telah digunakan sejak pertengahan tahun 1900-an, terdiri dari suatu kerangka lapisan baja tahan api dengan serangkaian tungku (*hearth*) yang tersusun secara vertikal, satu di atas yang lainnya dan biasanya berjumlah 5-8 buah tungku, *shaft rabble arms* beserta *rabble teeth*-nya dengan kecepatan

putaran $\frac{3}{4}$ - 2 rpm. Umpan sampah dimasukkan dari atas. Limbah yang dapat diproses dalam *multiple hearth incinerator* memiliki kandungan padatan minimum antara 15-50 %-berat. Limbah yang kandungan padatannya di bawah 15 %-berat padatan mempunyai sifat seperti cairan daripada padatan. Limbah semacam ini cenderung untuk mengalir di dalam tungku dan manfaat *rabble* tidak akan efektif. Jika kandungan padatan di atas 50 % berat, maka lumpur bersifat sangat *viscous* dan cenderung untuk menutup *rabble teeth*. Udara dipasok dari bagian bawah *furnace* dan naik melalui tungku demi tungku dengan membawa produk pembakaran dan partikel abu.

- *Rotary Kiln Incinerator*

Rotary kiln incinerator merupakan suatu kerangka silindris yang dilapisi bahan tahan api yang terpasanga pada sudut kemiringan yang rendah. Rotasi dan sudut kemiringan dari tanur (*klin*) menyebabkan Bergeraknya limbah melalui tanur sambil juga untuk meningkatkan pencampuran limbah tersebut dengan udara. *Rotary kiln* secara normal memerlukan suatu ruang bakar sekunder (*after burner*) untuk memastikan hancurnya unsur-unsur yang berbahaya secara menyeluruh. Ruang utama berfungsi untuk terjadinya pirolisis atau pembakaran limbah padat menjadi gas. Reaksi pembakaran fasa gas disempurnakan di dalam ruang sekunder. Kedua ruang utama dan sekunder secara umum dilengkapi dengan sistem bahan bakar pembantu.

Rotary kiln memutar-mutar sampah dalam kerangka silindris, yang memungkinkan terjadinya pencampuran yang seksama dengan udara. Kondisi operasional dapat mencapai suhu 1500 – 3000 °F (800 – 1650 °C), sehingga insinerator jenis ini memiliki resistansi paling baik terhadap pembakaran temperatur tinggi. Sistem insinerator jenis *rotary kiln* merupakan sistem pengolahan limbah yang paling *universal* dari segi jenis dan kondisi limbah yang dikelola. Insinerator jenis ini dapat digunakan untuk mengolah berbagai jenis limbah padat dan sludge, cair maupun limbah gas. Jumlah limbah cair, padat maupun gas dapat diumpan masuk dalam kuantitas yang sangat besar, dan juga

dapat beroperasi secara batch mode yang memungkinkan lebih fleksibel dibandingkan dengan *continuous mode*.

- *Fluidized Bed Incinerator*

Fluidized bed adalah teknologi pembakaran yang digunakan dalam pembangkit listrik. *Fluidized bed* menanggukkan bahan bakar padat di atas jet-meniup udara selama proses pembakaran. Hasilnya adalah pencampuran turbulen gas dan padatan. Aksi berjatuhan, seperti cairan menggelegak, memberikan reaksi kimia yang lebih efektif dan transfer panas. Tanaman FBC lebih fleksibel dibandingkan tanaman konvensional yang mereka dapat dipecah pada batubara dan biomassa, antara bahan bakar lainnya.

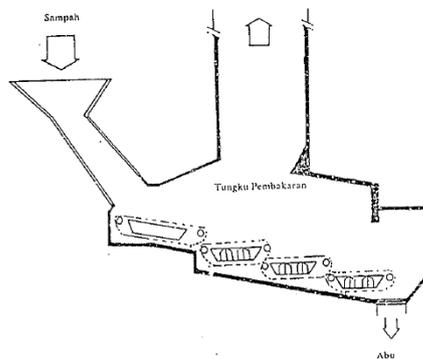
Fluidized bed mengurangi jumlah belerang yang dipancarkan dalam bentuk emisi SO_x. Kapur digunakan untuk mengendap sulfat selama pembakaran, yang juga memungkinkan transfer panas lebih efisien dari boiler ke peralatan yang digunakan untuk menangkap energi panas (biasanya tabung air). Endapan dipanaskan datang di kontak langsung dengan tabung (pemanasan dengan konduksi) meningkatkan efisiensi. Karena ini memungkinkan tanaman batubara untuk membakar pada suhu dingin, kurang NO_x juga dipancarkan. Namun, pembakaran pada suhu rendah juga menyebabkan emisi hidrokarbon aromatik polisiklik meningkat. FBC boiler dapat membakar bahan bakar lain selain batubara, dan suhu pembakaran yang lebih rendah (800 °C / 1500 °F) memiliki manfaat tambahan lainnya juga.

Sebuah tungku pembakar yang menggunakan media pengaduk berupa pasir seperti pasir kuarsa atau pasir silika, sehingga akan terjadi pencampuran (*mixing*) yang homogen antara udara dengan butiran-butiran pasir tersebut. *Mixing* yang konstan antara partikel-partikel mendorong terjadinya laju perpindahan panas yang cepat serta terjadinya pembakaran sempurna. *Fluidized bed incinerator* berorientasi bentuk tegak lurus, silindris, dengan kerangka baja yang dilapisi bahan tahan api, berisi hamparan pasir (*sand bed*) dan distributor untuk fluidisasi udara. *Fluidized bed incinerator* normalnya tersedia dalam ukuran berdiameter dari 9 sampai 34 ft (Christian, 2008).

2.2.2 Klasifikasi *incinerator* berdasarkan cara penyuplaian

- Suplai kontinu

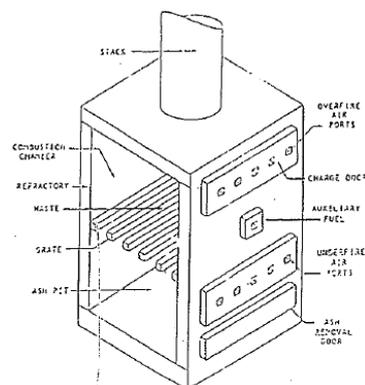
Biasanya untuk kapasitas besar (> 40 ton/hari). Keuntungan dari insinerator ini adalah mudah dioperasikan, temperatur dalam tungku lebih merata dapat dipertahankan dan hemat bahan bakar (Ruslinda, 2010). Sampah dimasukkan secara terus-menerus dengan debit tetap (Budiman, 2001).



Gambar 4. Alat Pembakar Sampah Tipe kontinu (Budiman, 2001)

- Suplai tidak kontinu (*batch*)

Pemasukan secara manual. Menurut Hadiwiyoto (1983) pada alat pembakar tipe batch, sampah dimasukkan sampai mencapai batas maksimum kemudian dibakar bersamaan. Susanto (2001) merancang incinerator tipe batch yang terdiri dari 6 bagian utama yaitu ruang pembakaran, kasa penyulut api, ruan pengendapan bahan padat (hasil pembakaran), cerobong asap, lubang pemasukan udara dan sistem pindah panas.



Gambar 5. Alat Pembakar Sampah Tipe Batch (Budiman, 2001)

2.2.3 Klasifikasi *Incinerator* Berdasarkan Jenis Tungku

- Tungku dengan *refractory-line*

Tungku ini berfungsi untuk mencegah pengerakan sampah pada dinding pembakaran yang menggunakan dinding dari jenis materi *refractory* (tahan panas) di seluruh bagian. Selain itu, tungku ini tergantung pada suplai udara yang banyak (berlebih dibandingkan dengan kebutuhan untuk pembakaran), kelebihan udara ini akan bercampur dengan gas terbentuk, sehingga perlengkapan pencemaran udara menjadi lebih besar volumenya.

- Tungku *waterwall*

Tungku ini dapat menangkap panas untuk dimanfaatkan kembali. Panas pembakaran ditransfer ke air dingin tersebut, yang berfungsi mengatur panas berlebih dalam ruangan, uap air yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti menjalankan turbin pembangkit tenaga listrik. Menggunakan pipa – pipa berisi air sebagai dinding ruangan pembakaran dan dengan dinding ini dapat dicegah terbentuknya kerak di dinding.

2.2.4 Bagian-Bagian Pada *Incinerator*

Bagian *incinerator* adalah sebagai berikut :

- Satu atau lebih ruang pembakaran (tungku). Insinerator kamar jamak dapat menghemat bahan bakar dan energi untuk suplai udara, mempertahankan temperatur
- Sistem cerobong gas : semakin tinggi semakin baik, terjadi pendinginan dan pengenceran
- Sistem pembuangan akhir abu : secara manual dan mekanis (> 20 ton/hari)

Perlengkapan tambahan berupa :

- Pemotong sampah atau limbah
- Pemilah limbah (di hulu/di hilir sistem)

- Pengontrol pencemaran udara, untuk partikulat (Bag house, scrubber), untuk uap asam (scrubber basa), dsb
- Sistem penangkap panas yang dihasilkan (Yenni Ruslinda, 2010).

2.2.5 Standar Karakteristik Insinerator

Kriteria yang ditentukan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) yang diantaranya adalah sebagai berikut:

- Pengurangan sampah yang efektif
- Lokasi jauh dari area penduduk
- Adanya sistem pemisahan sampah
- Desain yang bagus
- Pembakaran sampah mencapai suhu 1000 derajat
- Emisi gas buang memenuhi standar baku mutu.
- Perawatan yang teratur/periodik
- Ada Pelatihan Staf dan Manajemen

2.2.6 Manfaat Teknologi Insinerator

Teknologi pembakaran sampah dalam skala besar atau skala kota dilakukan di instalasi pembakaran insinerator. Teknologi ini mampu mengurangi sampah hingga 80 % berat sehingga yang 20% merupakan sisa pembakaran yang harus dibuang ke TPA atau dimanfaatkan lebih lanjut. Sisa pembakaran ini relatif stabil dan tidak dapat membusuk lagi, sehingga lebih mudah penanganannya.

Teknologi insinerasi mempunyai beberapa sasaran, yaitu :

- a. Mengurangi massa/volume limbah, proses oksidasi limbah pada pembakaran temperature tinggi dihasilkan abu, gas dan energi panas.
- b. Mendestruksi komponen berbahaya, insinerator 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 saran 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 enersi yang dapat dimanfaatkan. Faktor penting yang harus diperhatikan adalah kuantitas dan kontinuitas limbah yang akan dipasok. Kuantitas harus cukup untuk menghasilkan energi secara kontinu agar suplai energi tidak terputus.

Pembakaran sampah dengan insinerator merupakan cara yang paling mudah dan cepat untuk memusnahkan sampah. Lancar tidaknya proses pembakaran tergantung dari sifat fisik dan kimia sampah, karena sampah berasal dari sumber yang berbeda sehingga kandungan materi yang mudah dibakarpun berbeda-beda. Kondisi tersebut pada akhirnya memerlukan perhitungan dan ketelitian yang rumit (Latief, 2010).

2.3 Ruang Pembakaran

Ruang pembakaran merupakan metode pengolahan limbah secara kimiawi dengan proses oksidasi (pembakaran) yang tujuannya adalah untuk menstabilisasikan dan mereduksi volume dan berat limbah.

Kelebihan :

- Mengurangi volume dan berat limbah

- Penguraian atau penghancuran limbah padat cepat
- Prosesnya dapat dilakukan setiap saat

Kekurangan :

- Pengontrolan logam dalam proses insinerator, sulit untuk limbah anorganik dengan kandungan logam berat
- Keterampilan dan kemampuan operator harus memadai
- Membutuhkan cadangan bahan bakar yang cukup banyak

Sistem ruang pembakaran adalah unit pemusnah limbah padat dengan sistem membakar secara terkendali pada suhu tertentu, sehingga dalam pemilihan ruang bakar terdapat kriteria sebagai berikut :

1. Sistem pemasukan limbah padat, harus praktis dan aman bagi operator
2. Gas buangan dari cerobong furnace ruang bakar harus aman bagi lingkungan, sehingga perlu dilengkapi after burner dan wetscrubber dengan demikian emisi gas buang dari unit ruang pembakaran aman bagi lingkungan
3. Proses pembakaran temperatur harus mencapai suhu $800-1000^{\circ}\text{C}$, sehingga menjamin pemusnahan mikroba pathogen dan tidak menimbulkan pencemaran udara.
4. Pembakaran sempurna : dengan perhitungan yang cermat, akan dihasilkan pembakaran limbah dengan sempurna, sehingga DRE (destruction and removal efficiency) akan mencapai 99%
5. Perhitungan heat balance dan energy balance yang tepat dan disesuaikan heating value limbah. Ruang pembakaran untuk pengolahan limbah padat karena secara nyata akan mengurangi volume atau jumlah limbah padat yang dapat dibakar, dengan demikian merupakan unit proses pengolahan atau penanganan limbah yang cukup bermanfaat.

Beberapa alasan lain memilih ruang pembakaran sebagai solusi untuk mengolah limbah padat adalah :

- a. Menurut Tjokrokusumo (1995) Komponen yang berbahaya dalam limbah akan hancur karena dengan pemanasan $800-1000^{\circ}\text{C}$
 - b. Volume dan berat limbah akan terurai atau dirubah dari ukuran aslinya
 - c. Penguraian atau penghancuran limbah cepat, tidak membutuhkan waktu lama dibanding dengan pengolahan yang lain
 - d. Hasil akhir pembakaran berupa abu tetapi untuk benda yang tidak dapat menjdai abu akan menjadi arang yang telah rapuh sehingga dapat dibuang dan bercampur dengan limbah umum.
 - e. Dapat dibangun dekat dengan lokasi sehingga biaya pengangkutan kecil
 - f. Pembebasan udara dapat terkontrol secara efektif dan tidak menimbulkan dampak yang berbahaya bagi lingkungan atmosfer
 - g. Residu hasil pembakaran hampir semuanya organik dan relatif stabil
 - h. Ruang pembakaran tidak membutuhkan tempat yang luas
 - i. Cara pengoperasiannya mudah dan dikontrol oleh seorang operator sehingga menghemat tenaga manusia
6. Panasnya dapat dimanfaatkan bagi keperluan tertentu misal untuk pembangkit uap, air panas, listrik dan pencairan logam-logam
 7. Prosesnya dapat dilakukan setiap saat

Menurut Calvin. R Brunner (1994) Jumlah kebutuhan udara untuk pembakaran dan gas yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat diketahui

melalui kesetimbangan massa dan panas proses pembakaran. Suhu pembakaran : adalah tingkat atau derajat panas selama proses pembakaran dalam tungku ruang bakar. Hasil pembakaran : setelah diketahui jumlah udara yang diperlukan, kemudian perlu diperhitungkan pula jumlah gas yang dihasilkan selama pembakaran. Gas yang dihasilkan pada umumnya dinyatakan sebagai CO₂, H₂, O₂, dan N₂. yang dimaksud dengan panas pembakaran adalah panas yang dihasilkan oleh pembakaran 1 lb bahan bakar selama satu jam dalam juta Btu/jam. Panas pembakaran tiap jenis limbah berbeda-beda.

Pembakaran merupakan suatu teknologi transformasi yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah padat. Tungku ruang bakar merupakan salah satu unit operasi pembakaran limbah padat yang cukup baik, yang dapat mereduksi limbah cukup besar, dengan demikian merupakan unit proses pengolahan atau penanganan limbah yang cukup bermanfaat.

Proses pembakaran diperhitungkan neraca bahan dan energi, temperatur, tekanan atau aliran gas pembakaran dan reaksi-reaksi yang terjadi di dalam proses pembakaran. Proses pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dengan gas oksigen yang berlangsung pada kondisi tertentu meliputi, suhu mencapai pada titik bakar dari bahan yang dibakar, tersedianya gas oksigen yang cukup memadai dan terjadinya kontak antara bahan yang dibakar dengan oksigen. Apabila syarat-syarat ini terpenuhi maka proses pembakaran akan banyak mengandung gas CO dan partikel-partikel karbon yang nampak sebagai jelaga (*teer*). Proses reduksi volume limbah padat dapat dilakukan melalui pembakaran di dalam ruang pembakaran. Untuk mencapai reduksi volume maksimum diperlukan ruang bakar yang mampu membakar limbah seluruhnya dan diperlukan suatu ruang bakar yang mempunyai temperatur cukup tinggi diatas titik bakar dari limbah yang dibakar (Prayitno dan Sukosrono, 2007).

2.3.1 Energi panas hasil pembakaran

Energi panas yang dihasilkan oleh suatu proses pembakaran dapat diketahui besarnya melalui beberapa pendekatan diantaranya melalui pendekatan

pancaran panas dari gas hasil pembakaran dan pendekatan jumlah nilai kalor yang dikandung oleh bahan bakar per massa bahan bakar. Pendekatan jumlah energi panas hasil pembakaran berdasarkan pancaran gas hasil pembakaran didekati melalui sifat radiasi gas yang menyerap. Menurut McCabe et, al. (1999) gas-gas hasil pembakaran memiliki kemampuan untuk memancarkan atau menyerap panas. Pendekatan energi panas yang dihasilkan oleh suatu proses pembakaran adalah melalui nilai kalor yang dikandung oleh bahan bakar.

2.4 Proses Pembakaran Aktual

Lima hal yang diperlukan untuk pembakaran yang baik adalah pencampuran murni reaktan (*proper mixing*), udara yang cukup, temperatur yang cukup, waktu yang cukup untuk berlangsungnya reaksi dan harus terdapat kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api. Karena pencampuran yang baik tidak pernah diperoleh dalam proses pembakaran aktual, pembakaran yang baik hanya dapat dijamin dengan menyediakan kelebihan udara (*excess air*) bagi proses tersebut. Tergantung pada jumlah kelebihan udara yang disediakan dan derajat pencampuran, gas buang mengandung hasil pembakaran sempurna, karbon dioksida, air dan sulfur dioksida. Beberapa hasil pembakaran tak sempurna termasuk sebagian bahan bakar yang tak terpakai, karbon monoksida, hidroksil, dan aldehida, dan nitrogen serta senyawa-senyawa nitrogen misalnya nitrat oksida (NO) dan nitrogen oksida (NO₂). Semua produk ini, kecuali air dan nitrogen, dipandang bersifat polutan terhadap atmosfer. (Archie W., 1985)

2.5 Bahan Bakar pada Insinerator

2.5.1 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

LPG merupakan bahan bakar berupa gas yang dicairkan merupakan produk minyak bumi yang diperoleh dari proses distilasi bertekanan tinggi. Fraksi yang digunakan sebagai umpan dapat berasal dari beberapa sumber yaitu dari gas alam maupun gas hasil dari pengolahan minyak bumi (*Light End*). Komponen

utama LPG terdiri dari hidrokarbon ringan berupa propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), serta sejumlah kecil etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}).

2.5.1.1 Jenis LPG

Sesuai dengan penggunaannya sebagai bahan bakar LPG dibedakan atas :

- *LPG Mix*

Adalah campuran *propane* dan *butane* dengan komposisi antara 70-80% dan 20-30% volume dan diberi odorant (*mercaptant*) dan umumnya digunakan untuk bahan bakar rumah tangga.

- *LPG propane* dan LPG butana

Adalah elpiji yang masing-masing mengandung *propane* 95% dan *butane* 97,5% volume dan diberi odorant (*mercaptant*), umumnya digunakan untuk keperluan industri.

2.5.1.2 Sifat LPG terutama adalah sebagai berikut :

- Cairan dan gasnya sangat mudah terbakar
- Gas tidak beracun, tidak berwarna dan biasanya berbau menyegat
- Gas dikirimkan sebagai cairan yang bertekanan di dalam tangki atau silinder
- Cairan dapat menguap jika dilepas dan menyebar dengan cepat
- Gas ini lebih berat dibanding udara sehingga akan banyak menempati daerah yang rendah

2.5.1.3 Komposisi dari LPG

Komponen utama LPG terdiri dari hidrokarbon ringan berupa propana dan butana serta sejumlah kecil etana dan pentana.

Tabel 1. Komposisi LPG

Methane	CH ₄	70 – 90%
Ethane	C ₂ H ₆	
Propane	C ₃ H ₈	
Butane	C ₄ H ₁₀	0 – 20%
Carbon Dioxide	CO ₂	0 – 8%
Oxygen	O ₂	0 – 0.2%
Nitrogen	N ₂	0 – 5%
Hydrogen sulphide	H ₂ S	0 – 5%
Rare gases	A, He, Ne, Xe	Trace

(sumber : wordpress.com)

2.5.1.4 Reaksi Pembakaran LPG

a. Reaksi pembakaran propana

Jika terbakar sempurna, reaksi pembakaran propana adalah sebagai berikut



propana + oksigen → karbon dioksida + uap air dan + panas

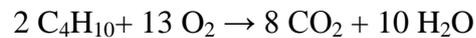
panas (LHV) yang dihasilkan reaksi tersebut setara dengan sekitar 46 MJ/kg. Sebagai gambaran, untuk menaikkan suhu 1 gram air sebesar 1⁰C dibutuhkan energi sebesar 4,186 J. Jadi untuk menaikkan suhu 1 L air dari suhu ruangan (30⁰C) ke suhu 100⁰C akan dibutuhkan energi sebesar 293 020 J.

Pada tahap ini air baru mencapai suhu 100⁰C dan belum mendidih. Diperlukan energi lagi sebesar 2257 J per gram air yang berubah menjadi uap. Anggaphlah kita kehilangan 100 gram air yang menjadi uap saat proses pendidihan, maka akan ada tambahan energi sebesar 225 700 J lagi yang diperlukan.

Artinya untuk mendidihkan air sebanyak 1 L dibutuhkan sekitar 11 gram propana. Tentu saja ini angka ideal karena perhitungan di atas tidak melibatkan panas yang hilang (ke udara atau ke panci pemanas).

b. Reaksi pembakaran Butana

Jika terbakar sempurna, reaksi pembakaran butana adalah sebagai berikut



butana + oksigen → karbon dioksida + uap air dan + panas

Panas yang dihasilkan oleh reaksi tersebut hampir sama dengan propana yaitu sekitar 46 MJ/kg (Wikipedia, 2011).

2.5.2 Udara

Udara yang digunakan dalam proses pembakaran mengandung 78% nitrogen, 21% oksigen dan 1% uap air, karbon dioksida, dan gas-gas lain.

Tabel 2. Komposisi Udara

Component	By Weight (%)	By Volume (%)
Nitrogen	78,03	75,46
Oksigen	20,99	23,20
Argon	0,94	1,30
Water, H₂O	0,00	0,00
Others	0,04	0,04

(Sumber : Praswasti, 2008)

2.6 Persamaan Gas Ideal

Untuk melakukan pengukuran terhadap volume gas, diperlukan suatu keadaan standar untuk digunakan sebagai titik acuan. Keadaan ini yang juga dikenal sebagai STP (Standard Temperature and Pressure) yaitu keadaan dimana gas mempunyai tekanan sebesar 1 atm (760 mmHg) dan suhu (273,15 K). Suatu mol gas ideal, yaitu gas yang memenuhi ketentuan semua hukum-hukum gas akan mempunyai volume sebanyak 22,414 liter pada keadaan standar ini.

Syarat berlakunya hukum Boyle adalah bila gas berada bila gas berada dalam keadaan ideal (gas sempurna), yaitu gas yang terdiri dari satu atau lebih atom-atom dan dianggap identik satu sama lain. Setiap molekul tersebut bergerak secara acak, bebas dan merata serta memenuhi persamaan gerak Newton, yang dimaksud gas sempurna (ideal) dapat didefinisikan bahwa gas yang perbandingannya PV/nT nya dapat didefinisikan sama dengan R pada setiap besar tekanan. Dengan kata lain, gas sempurna pada tiap besar tekanan bertabiat sama seperti gas sejati pada tekanan rendah. Persamaan gas ideal sebagai berikut :

$$PV = n.R.T \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan :

- P : tekanan gas n : jumlah mol gas
- V : volume gas T : temperatur mutlak (K)
- R : konstanta gas universal (0,082 l.atm.mol⁻¹.K⁻¹)

2.7 Temperatur Penyalaan (*Flame Temperature*)

Temperatur nyala adalah temperatur dimana suatu zat atau material melepaskan uap yang cukup untuk membentuk campuran dengan udara yang ada sehingga terbakar. Angka dari temperatur ini diperoleh dari sumber yang ada seperti buku, walaupun banyak orang yang mengatakan bahwa temperatur nyala tidak dapat kita tentukan secara nyata. Karena hal itulah para ahli mencari metode untuk menentukan nilainya secara teori. Temperatur nyala api ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu tergantung pada jenis bahan bakar dan oksidan yang digunakan. Untuk api konvensional yang digunakan dalam fotometri nyala, temperatur nyala yang lebih tinggi diperoleh dengan oksigen digunakan sebagai oksidan bukan udara, karena di dalam udara terdapat nitrogen yang dapat menurunkan suhu nyala api.

Temperatur nyala juga bervariasi sesuai dengan rasio masing-masing komponen dalam campuran yang mudah terbakar. jika campuran tidak masuk pembakar dalam komposisi optimal, bahan bakar kelebihan atau oksidan

pemberat. Tidak berpartisipasi dalam reaksi dan gas inert seperti komponen berlebih menurunkan suhu nyala api.

Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi temperatur nyala :

- Temperatur Adiabatik
- Tekanan Atmosfir
- Bahan bakar yang terbakar
- Ada tidaknya pengoksidasi dalam bahan bakar
- Bagaimana stokiometri pembakaran yang terjadi

Adapun jenis-jenis nyala yaitu :

Sebelum membahas lebih lanjut mengenai temperatur nyala, kita harus dapat membedakan beberapa jenis nyala api, yaitu :

- Laminar

Visualisasi api yang terlihat pada api tipe ini berbentuk secara laminar atau teratur. Api jenis ini memiliki bentuk mengikuti streamline aliran tanpa membentuk turbulensi atau gerakan tidak beraturan. Nyala api laminar terbagi menjadi dua yaitu nyala api laminar premixed dan nyala api laminar difusi. Contoh dari api laminar premixed adalah nyala pembakar Bunsen. Sebuah nyala api difusi laminar adalah lilin. Bahan bakar berasal dari uap lilin, sementara pengoksidasinya adalah udara. Uap lilin dan udara ini tidak bercampur sebelum dimasukkan ke zona nyala dengan cara difusi.

- Turbulan

Api turbulen menunjukkan pola aliran nyala api yang tidak beraturan atau acak yang memberi indikasi aliran yang bergerak sangat aktif. Sama seperti api laminar, api turbulen juga terbagi menjadi dua yaitu, nyala api turbulan premixed dan nyala api turbulan difusi. Api premixed paling bergejolak adalah dari sistem pembakaran rekayasa: boiler, tungku, dll. Kebanyakan kebakaran yang tidak diinginkan masuk dalam kategori api difusi turbulan.