

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Incinerator

Insinerator adalah tungku pembakaran untuk mengolah limbah padat, yang mengkonversi materi padat (sampah) menjadi materi gas, dan abu, (*bottom ash* dan *fly ash*). Insinerasi merupakan proses pengolahan limbah padat dengan cara pembakaran pada temperatur lebih dari 800°C untuk mereduksi sampah mudah terbakar (*combustible*) yang sudah tidak dapat didaur ulang lagi, membunuh bakteri, virus, dan kimia toksik (A. Sutowo Latief, 2012)

Patrick (1980) dalam Arif Budiman (2001) menyatakan bahwa *incinerator* adalah alat yang digunakan untuk proses pembakaran sampah. Alat ini berfungsi untuk merubah bentuk sampah menjadi lebih kecil dan praktis serta menghasilkan sisa pembakaran yang sterill sehingga dapat dibuang langsung ke tanah. Energi panas hasil pembakaran dalam *incinerator* dapat diguankan sebagai energi alternative bagi proses lain seperti pemanasan atau pengeringan.

Menurut (Hadiwiyoto, 1983 dalam Arif Budiman, 2001) menyatakan bahwa untuk merancang alat pembakar sampah diperlukan beberapa pertimbangan untuk diperhatikan, yaitu jumlah udara pembakaran, sisa hasil pembakaran dan desain *incinerator*. Menurut (Hadiwiyoto, 1983 dalam Arif Budiman, 2001) alat pembakaran sampah terdapat dua jenis berdasarkan metode pembakaran yang berlangsung pada alat tersebut, yaitu alat pembakar sampah tipe kontinyu dan tipe batch. Pada alat pembakar sampah tipe kontinyu, sampah dimasukkan secara terus-menerus dengan debit tetap, sedangkan pada alat pembakaran sampah tipe *batch*, sampah dimasukkan sampai mencapai batas maksimum kemudian dibakar bersamaan.

Pada *incinerator* terdapat 2 ruang bakar, yang terdiri dari *Primary Chamber* dan *Secondary Chamber* (Gunadi Priyamba, 2013).

a. 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 600°C-800°C 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.

b. *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 didalam secondary chamber dalam temperatur tinggi yaitu sekitar 800°C-1000°C. Sehingga gas-gas pirolisa (Metana, Etana dan Hidrokarbon lainnya) terurai menjadi gas CO₂ dan H₂O.

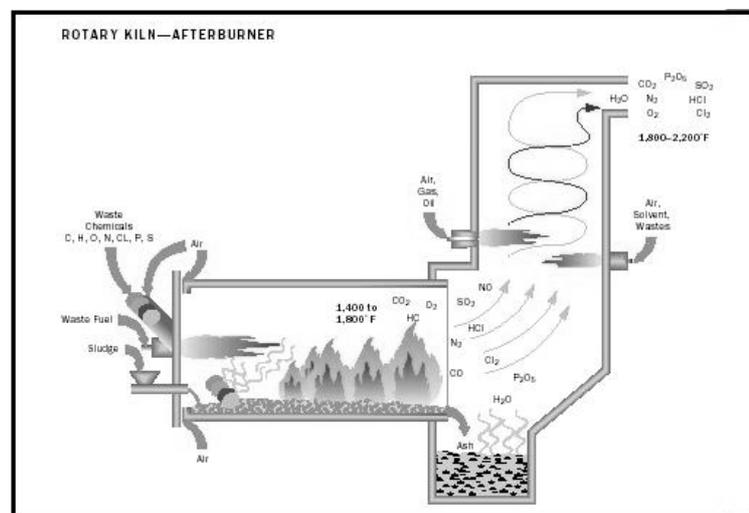
2.2 Jenis-Jenis Incinerator

Jenis *incinerator* yang paling umum diterapkan untuk membakar limbah padat B3 ialah *rotary kiln*, *multiple hearth*, *fluidized bed*, *open pit*, *single chamber*, *multiple chamber*, *aqueous waste injection*, dan *starved air unit*. Dari semua jenis insinerator tersebut, rotary kiln mempunyai kelebihan karena alat tersebut dapat mengolah limbah padat, cair, dan gas secara simultan. (Gunadi P. 2004).

2.2.1 Incinerator Rotary Kiln

Tipe ini cocok untuk menginsinerasi limbah yang mempunyai kandungan air (water content) yang cukup tinggi dan volumenya cukup besar. *System incinerator* ini berputar pada bagian *Primary Chamber*, dengan tujuan untuk mendapatkan pembakaran limbah yang merata keseluruhan bagian.

Proses pembakarannya sama dengan *type static*, terjadi dua kali pembakaran dalam Ruang Bakar 1 (*Primary Chamber*) untuk limbah dan Ruang Bakar 2 (*Secondary Chamber*) untuk sisa-sisa gas yang belum sempurna terbakar dalam *Primary Chamber*. (Gunadi P. 2004)



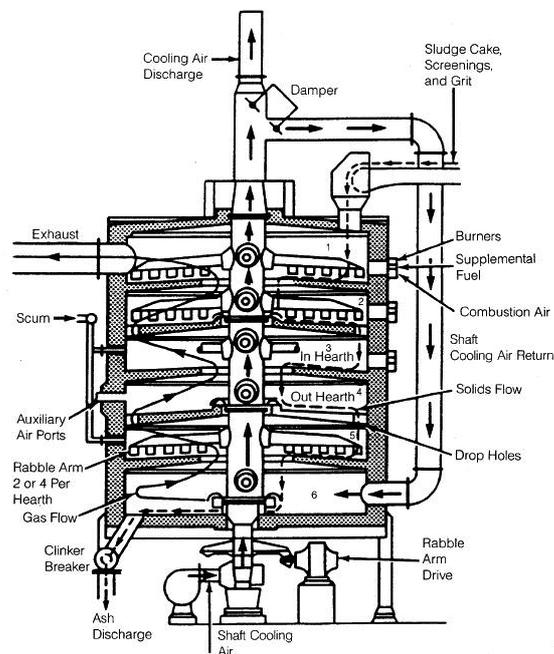
Gambar 1. *Incinerator Rotary Kiln*

Sumber : Pollution issues /Ho-Li / Incineration, 2013

2.2.2 *Multiple Hearth Incinerator*

Multiple Hearth Incinerator, yang 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 tungku secara terus menerus dan abu hasil proses pembakaran dikeluarkan melalui silo. Burner dipasang pada sisi dinding tungku pembakar di mana pembakaran terjadi. Udara diumpan masuk dari bawah, dan sampah diumpan masuk 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 dengan membawa produk pembakaran dan partikel abu. (Gunadi P. 2004)



Gambar 2. *Multiple Hearth Incinerator*

Sumber : Combustion Portal, 2011

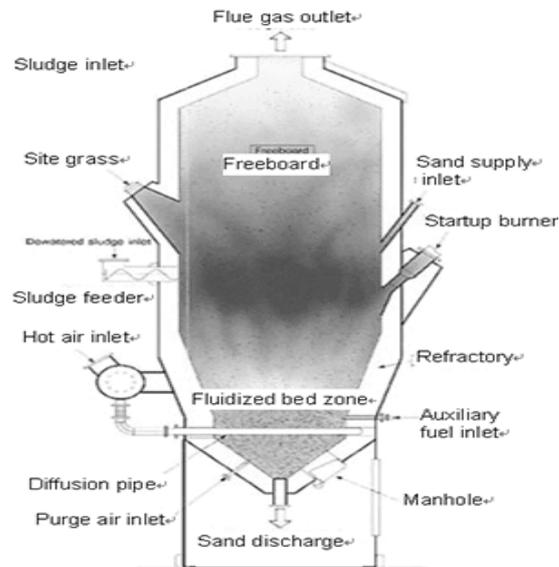
2.2.3 *Fluidized Bed Incinerator*

Fluidized bed incinerator adalah 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 sangat 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 fluidasi udara. *Fluidized bed incinerator* normalnya tersedia dalam ukuran berdiameter dari 9 sampai 34 ft.

Pembakaran dengan teknologi *fluidized bed* merupakan satu rancangan alternatif untuk pembakaran limbah padat. Hamparan pasir tersebut diletakkan di atas distributor yang berupa grid logam dengan dilapisi bahan tahan api. Grid ini berisi suatu pelat berpori nosel-nosel injeksi udara atau *tuyere* di mana udara dialirkan ke dalam ruang bakar untuk menfluidisasi hamparan (*bed*) tersebut. Aliran udara melalui nosel menfluidisasi hamparan sehingga berkembang menjadi dua kali volume sebelumnya. Fluidisasi meningkatkan pencampuran dan turbulensi serta laju perpindahan panas yang terjadi. Bahan bakar bantu digunakan selama pemanasan awal untuk memanaskan hamparan sampai temperatur operasi sekitar 750 sampai 900 °C sehingga pembakaran dapat terjaga pada temperatur konstan. Dalam beberapa instalasi, suatu sistem *water spray* digunakan untuk mengendalikan temperatur ruang bakar.

Fluidized bed incinerator telah digunakan untuk macam-macam limbah termasuk limbah perkotaan dan limbah lumpur. Reaktor unggun atau hamparan fluidisasi (*fluidized bed*) meningkatkan penyebaran umpan limbah yang datang dengan pemanasan yang cepat sampai temperatur pengapiannya (*ignition*) serta meningkatkan waktu kontak yang cukup dan juga kondisi pencampuran yang hebat untuk pembakaran sempurna. Pembakaran normalnya terjadi sendiri, kemudian sampah hancur dengan cepat, kering dan terbakar di dalam *hamparan pasir*. Laju pembakaran sampah meningkat oleh kontak langsung dengan partikel hamparan yang panas. Aliran udara fluidisasi meniup abu halus dari hamparan. Gas-gas pembakaran biasanya diproses lagi di *wet scrubber* dan kemudian abunya dibuang secara *landfill*. (Gunadi P. 2004)



Gambar 3. *Fluidized Bed Incinerator*

Sumber : Tsukishima Kikai, 2011

2.3 Proses Pembakaran

Reaksi pembakaran secara umum terjadi melalui 2 cara, yaitu pembakaran sempurna dan pembakaran habis. Pembakaran sempurna adalah proses pembakaran yang terjadi jika semua karbon bereaksi dengan oksigen menghasilkan CO_2 , sedangkan pembakaran tidak sempurna adalah proses pembakaran yang terjadi jika bahan bakar tidak terbakar habis dimana proses pembakaran yang tidak semuanya menjadi CO_2 (Abdullah et, al., 1998 dalam Arif Budiman, 2001)

Menurut Culp (1991 dalam Arif Budiman, 2001) proses pembakaran actual dipengaruhi oleh 5 faktor, yaitu :

- Pencampuran udara dan bahan dengan baik
- Kebutuhan udara untuk proses pembakaran
- Suhu pembakaran
- Lamanya waktu pembakaran yang berhubungan dengan laju pembakaran
- Berat jenis bahan yang akan dibakar

Pencampuran udara dan bahan bakar yang baik dalam pembakaran actual biasanya tidak dapat dicapai tetapi didekati melalui penambahan *excess* udara. Penambahan *excess* udara harus baik dengan nilai minimum karena apabila terlalu

banyak dapat meningkatkan kehilangan energy dalam pembakaran dan meningkatnya emisi NO_x .

Proses pembakaran sampah pada rumah tangga berlangsung secara bertahap. Tahap awal terjadi penguapan kandungan air sampah yang belum terbakar menggunakan panas dari bahan terbakar yang berada di sekelilingnya atau menggunakan energi panas yang ditambahkan dari luar. Pada saat pemanasan sampah terjadi pelepasan karbon atau bahan volatile yang terkonversi menjadi gas yang mudah terbakar, proses ini disebut gasifikasi. Gas ini selanjutnya bercampur dengan oksigen yang dapat mengalami reaksi oksidasi. Kondisi ini apabila menghasilkan temperature cukup tinggi dan berlangsung lama dapat terkonversi secara sempurna (*complete combustion*) menghasilkan uap air dan CO_2 yang dilepaskan ke udara.

Kondisi sebaliknya dapat terjadi yaitu apabila temperature pembakaran rendah dan waktu tinggal pada ruang bakar cepat terjadi pembakaran yang tidak sempurna (*incomplete combustion*) yang dapat menghasilkan asap (Lee & Lin, 2007 dalam subagiyo ddk 2013). Dampak lain dari pembakaran tidak sempurna adalah terbentuknya polutan lain yang semula tidak terdapat dalam sampah karena terjadi reaksisintesa yang disebut *denovo* menghasilkan dioksidan furan. Tingkat kesempurnaan pembakaran di pengaruhi oleh beberapa variable berikut :

a. Temperatur

Temperatur pembakaran merupakan fungsi nilai bakar (*heating value*) sampah dan bahan bakar tambahan dari luar, rancangan alat pembakar (*incinerator*), supply udara dan control pembakaran. Pembakaran sempurna memerlukan temperature tinggi, secara umum temperature lebih tinggi dari 650°C dan waktu tinggal 1-2 detik dapat menghasilkan pembakaran sempurna pada makanan dan sampah rumah tangga. Temperatur lebih tinggi sekitar 1000°C diperlukan untuk membakar campuran sampah yang mengandung bahan berbahaya (*hazardous*) seperti sampah medis dengan waktu tinggal minimal 1detik dapat menghasilkan polutan seperti dioksisn, furan, asap dan abu minimal.

b. Waktu Tinggal

Pembakaran sempurna membutuhkan waktu tinggal yang cukup yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menjamin terjadinya pencampuran yang sempurna antara udara dan bahan bakar agar dapat bereaksi secara sempurna. Pembakaran pada temperatur rendah, sampah dengan nilai panas rendah dan turbulensi campuran gas yang rendah memerlukan waktu tinggal yang lebih lama untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna.

c. Turbulensi

Turbulensi pencampuran gas yang terbakar dan udara diperlukan untuk menjamin terjadinya kontak yang cukup antara bahan bakar dan udara. Hal ini dapat menghasilkan temperatur yang tinggi sehingga menyebabkan pembakaran sempurna. Tingkat pencampuran tergantung dari rancangan ruang bakar insinerator dan sistem injeksi udara. Sistem pembakaran dengan sirkulasi udara alami pada sistem pembakaran terbuka tidak dapat menghasilkan pencampuran yang baik. Demikian juga tumpukan sampah yang terlalu tinggi dapat mengganggu turbulensi pencampuran udara dan gas yang mudah terbakar karena tersumbatnya rongga jalur aliran kedua bahan ini. Rancangan insinerator yang dapat menghasilkan pembakaran sempurna menggunakan system sirkulasi paksa (forced circulation) untuk memperoleh turbulensi pencampuran.

d. Komposisi Sampah

Karakteristik sampah seperti nilai panas, kandungan air dan sifat kimia (kandungan C, H, O, N, S dan Cl) sampah berpengaruh terhadap proses pembakaran dan jenis polutan pada gas buang dan abu. Semakin tinggi temperatur, waktu tinggal dan derajat pencampuran gas dan udara semakin mendekati pembakaran sempurna dan semakin kecil pengaruh karakteristik sampah terhadap tingkat kesempurnaan pembakaran.

Beberapa hal yang terjadi pada proses pembakaran (Darmansyah Dalimunthe, 2006):

a. Pembakaran dengan udara kurang

Pada proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas hilang karena bahan bakar berlebih serta ada bahan bakar yang tak terbakar disamping terdapat hasil pembakaran, seperti CO, CO₂, uap air, O₂, dan N₂.

b. Pembakaran dengan udara berlebih

Pada proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas hilang karena udara berlebih serta hasil pembakaran, seperti CO₂, uap air, O₂ dan N₂.

c. Pembakaran dengan udara optimum

Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dan panas yang hilang minimum, serta terdapatnya hasil pembakaran, seperti CO₂, uap air, dan N₂.

Pada proses pembakaran (*inceneration*) limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) kebanyakan terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Dapat juga mengandung halogen, sulfur, nitrogen dan logam berat. Hadirnya elemen lain dalam jumlah kecil tidak mengganggu proses oksidasi limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Struktur molekul umumnya menentukan bahaya dari suatu zat organik terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Bila molekul limbah dapat dihancurkan dan diubah menjadi karbon dioksida (CO₂), air (H₂O) dan senyawa anorganik, tingkat senyawa organik akan berkurang. Untuk penghancuran dengan panas merupakan salah satu teknik untuk mengolah limbahn B3 (bahan berbahaya dan beracun).

Proses pembakaran sampah berlangsung secara bertahap. Tahap awal terjadi penguapan kandungan air sampah yang belum terbakar menggunakan panas dari bahan terbakar yang berada di sekelilingnya atau menggunakan energi panas yang ditambahkan dari luar. Pada saat pemanasan sampah terjadi pelepasan karbon atau bahan *volatile* yang terkonversi menjadi gas yang mudah terbakar, proses ini disebut gasifikasi. Gas ini selanjutnya bercampur dengan oksigen yang dapat mengalami reaksi oksidasi. Kondisi ini apabila menghasilkan temperature cukup tinggi dan berlangsung lama dapat terkonversi secara sempurna (*complete combustion*) menghasilkan uap air dan CO₂ yang dilepaskan ke udara (Subagiyo

dkk, 2013). Kondisi sebaliknya dapat terjadi yaitu apabila temperatur pembakaran rendah dan waktu tinggal pada ruang bakar cepat terjadi pembakaran yang tidak sempurna (*incomplete combustion*) yang dapat menghasilkan asap (Lee & Lin, 2007 dalam subagiyo ddk 2013).

Pada proses pembakaran (*incineration*) limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) kebanyakan terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Dapat juga mengandung halogen, sulfur, nitrogen dan logam berat. Hadirnya elemen lain dalam jumlah kecil tidak mengganggu proses oksidasi limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Struktur molekul umumnya menentukan bahaya dari suatu zat organik terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Bila molekul limbah dapat dihancurkan dan diubah menjadi karbon dioksida (CO₂), air (H₂O) dan senyawa anorganik, tingkat senyawa organik akan berkurang. Untuk penghancuran dengan panas merupakan salah satu teknik untuk mengolah limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun).

Keputusan Bapedal No 03 tahun 1995. Peraturan tersebut mengatur tentang kualitas *incinerator* dan emisi yang dikeluarkannya. persyaratan yang harus dipenuhi dalam menjalankan *incinerator* adalah emisi udara yang dikeluarkannya harus sesuai dengan baku mutu emisi untuk *incinerator*.

Tabel 1. Baku Mutu Emisi Udara untuk *Incinerator*

No	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm ²)
1	Partikel	50
2	Sulfur dioksida (SO ₂)	250
3	Nitrogen dioksida (NO ₂)	300
4	Hidrogen Fluorida (HF)	10
5	Karbon Monoksida (CO)	100
6	Hidrogen Chlorida (HCl)	70
7	Total Hidrocarbon (sbg CH ₄)	35
8	Arsen (As)	1
9	Kadmium (Cd)	0.2
10	Kromium (Cr)	1
11	Timbal (Pb)	5
12	Merkuri (Hg)	0.2
13	Talium (Tl)	0.2
14	Opasitas	10%

Sumber : Keputusan Kepala BAPEDAL Palembang

2.4 Tahapan Proses Insenerasi

Proses insenerasi akan berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu (Dodika, 2009) :

2.4.1 Pengeringan

Merupakan penguapan air yang terkandung di dalam sampah, terutama pada sampah organik yang mengandung kadar air > 70%. Penguapan air mulai terjadi pada temperatur 100 °C. Pada tahap ini dibutuhkan energi (panas) untuk menjaga temperatur tetap berada pada > 100 °C.

2.4.2 Pembakaran '*volatile matters*'

Yaitu reaksi oksigen dengan unsur unsur kimia yang terkandung di dalam sampah terutama unsur N, S, P, Alkali dan lainnya sehingga tersisa unsur C

(Karbon) yang kita kenal sebagai arang. Secara kumulatif reaksi oksidasi ini akan menghasilkan kalor (panas). Untuk mencapai temperatur reaksi oksidasinya maka dibutuhkan panas, meskipun pada akhir reaksinya akan dihasilkan panas.

2.4.3 Pembakaran Sempurna (Karbon)

Yaitu reaksi oksigen dengan Karbon (arang) pada temperature 400 - 600 °C dengan tahapan reaksi sbb:



Secara kumulatif reaksi ini menghasilkan panas (eksotermik). Reaksi inilah yang menjelaskan mengapa selalu terbentuk gas CO (karbon monoksida) pada pembakaran arang.

2.5 Gas Hasil Pembakaran

Sebagaimana diketahui bahwa pembakaran adalah proses oksidasi dimana oksigen diberikan dengan mengikuti rasio udara berlebih terhadap massa bahan bakar agar diperoleh reaksi pembakaran yang komplit. Reaksi utama dari proses pembakaran antara karbon dengan oksigen akan membentuk karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Karbon dioksida merupakan produk pembakaran yang memiliki temperatur rendah. Oksidasi karbon monoksida ke karbon dioksida hanya dapat terbentuk jika memiliki sejumlah oksigen yang seimbang. Kandungan CO yang tinggi mengindikasikan proses pembakaran tidak komplit dan ini harus seminimal mungkin dihindari, karena:

- a. CO adalah gas yang dapat dibakar. Kandungan CO yang tinggi akan menghasilkan efisiensi pembakaran yang rendah.
- b. Dapat menyebabkan gangguan bau (*odour*)

Dalam suatu pembakaran, diharapkan terjadi pembakaran sempurna. Untuk suatu bahan bakar hidrokarbon, produk yang akan dihasilkan adalah CO₂, H₂O

dan N_2 , sementara O_2 juga akan terbentuk jika terjadi kelebihan suplai udara. Jika bahan bakar telah ditentukan dan pembakaran terjadi secara sempurna, jumlah dari masing-masing produk dapat ditentukan dengan menerapkan prinsip konservasi massa pada persamaan kimia. Di dalam semua jenis alat pembakaran, derajat pencampuran antara bahan bakar dan udara merupakan suatu faktor penentu dalam reaksi yang terjadi setelah terjadi pencampuran bahan bakar dan udara. Bila konsentrasi gas CO sangat tinggi mempunyai resiko yang tinggi bagi makhluk hidup dan lingkungan sekitarnya. Pada pembakaran sempurna, reaktan akan terbakar dengan oksigen, menghasilkan sejumlah produk yang terbatas. Ketika hidrokarbon terbakar dengan oksigen, maka hanya akan dihasilkan gas karbon dioksida dan uap air. Namun terkadang akan dihasilkan senyawa nitrogen dioksida yang merupakan hasil teroksidasinya senyawa nitrogen di dalam udara.

2.6 Limbah Medis (B3)

Limbah medis yaitu buangan dari kegiatan pelayanan yang tidak dipakai ataupun tidak berguna termasuk dari limbah pertamanan. Limbah medis cenderung bersifat infeksius dan kimia beracun yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia, memperburuk kelestarian lingkungan hidup apabila tidak dikelola dengan baik. Limbah medis puskesmas adalah semua limbah yang dihasilkan dari kegiatan puskesmas dalam bentuk padat dan cair (KepMenkes RI No. 1428/Menkes/SK/XII/2006).

Tabel 2. 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>

Berdasarkan potensi bahaya yang dapat ditimbulkannya, oleh Departemen Kesehatan RI limbah medis telah digolongkan sebagai berikut (Adisamito, 2009:129-131) :

A. Limbah benda tajam

yaitu obyek atau alat yang memiliki sudut tajam, sisi, ujung atau bagian yang menonjol yang dapat memotong atau menusuk kulit, seperti jarum hipodermik, perlengkapan intravena, pipet pasteur, pecahan gelas dan pisau bedah.

B. Limbah infeksius

yaitu limbah yang berkaitan dengan pasien yang memerlukan isolasi penyakit menular dan limbah laboratorium yang berkaitan dengan pemeriksaan mikrobiologi dari poliklinik dan ruang perawatan/isolasi penyakit menular.

C. Limbah jaringan tubuh

yang meliputi organ, anggota badan, darah dan cairan tubuh. Biasanya dihasilkan pada saat pembedahan atau autopsi.

D. Limbah sitotoksik

yaitu bahan yang terkontaminasi oleh obat sitotoksik selama peracikan, pengangkutan atau tindakan terapi sitotoksik.

E. Limbah farmasi

yaitu terdiri dari obat-obatan kedaluwarsa, obat yang terbuang karena karena batch yang tidak memenuhi spesifikasi atau kemasan yang terkontaminasi, obat yang tidak diperlukan lagi atau limbah dari proses produksi obat.

F. Limbah kimia

yaitu limbah yang dihasilkan dari penggunaan bahan kimia dalam tindakan medis, veterenary, laboratorium, proses sterilisasi atau riset. Dalam hal ini dibedakan dengan buangan kimia yang termasuk dalam limbah farmasi dan sitotoksik.

G. Limbah radioaktif

yaitu bahan yang terkontaminasi dengan radio isotop yang berasal dari penggunaan medis atau riset radionuklida. Dalam kaitan dengan pengelolaannya, limbah medis dikelompokkan menjadi lima (5), yaitu (Adisamito, 2009:133):

- Golongan A, terdiri dari :

- 1) Dressing bedah, swab dan semua limbah yang terkontaminasi dari daerah ini.
- 2) Bahan-bahan linen dari kasus penyakit infeksi.

- 3) Seluruh jaringan tubuh manusia, bangkai/jaringan hewan dari laboratorium dan hal-hal lain yang berkaitan dengan *swab* dan *dressing*.
- Golongan B terdiri dari : syringe bekas, jarum, cartridge, pecahan gelas dan benda tajam lainnya.
 - Golongan C terdiri dari : limbah dari laboratorium dan post partum, (kecuali yang termasuk dalam gol. A)
 - Golongan D terdiri dari : limbah bahan kimia dan bahan farmasi tertentu.
 - Golongan E terdiri dari : pelapis bed-pan, disposable, urinoir, incontinence-pad dan stamag bags.

Tabel 3. Jenis Wadah dan Label Limbah Medis Padat Sesuai Katagorinya

No	Kategori	Warna Kontainer	Keterangan
1	Radioaktif	Merah	Kantong boks timbal dengan simbol radioaktif
2	Sangat Infeksius	Kuning	Kantong plastik kuat, anti bocor, atau kontainer yang dapat disterilisasi dengan otoklaf
3	Limbah Infeksius, patologi dan anatomi	Kuning	Kantong plastik kuat, anti bocor, atau kontainer
4	Sitotoksis	Ungu	Kontainer kuat dan anti bocor
5	Limbah kimia dan farmasi	Coklat	Kantong plastik atau kontainer

Sumber : Adisamito, 2009:13

2.7 Absorbsi

Absorbsi merupakan salah satu proses pemisahan dengan mengontakkan campuran gas dengan cairan sebagai penyerapnya, penyerap tertentu akan menyerap satu atau lebih pada komponen gas. Absorbsi dapat berlangsung dalam dua macam proses, yaitu absorbsi fisik dan absorpsi kimia (Kumoro andri cahyo,

hadiyanto, 2004). Absorpsi fisik yaitu absorpsi dimana gas terlarut dalam cairan menyerap tanpa disertai reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi gas H₂S dengan air, metanol, atau propilen. Absorpsi kimia yaitu absorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai reaksi kimia. Contoh absorpsi ini dapat dilihat pada absorpsi gas CO₂ dengan larutan Na₂CO₃, NaOH, K₂CO₃ dan lain sebagainya (I Made Mara, Januari 2011).

Peristiwa absorpsi adalah salah satu peristiwa perpindahan massa yang besar peranannya dalam proses industri. Operasi ini dikendalikan oleh laju difusi dan kontak antara dua fasa. Operasi ini dapat terjadi secara fisika maupun kimia. Contoh dari absorpsi fisika antara lain sistem amonia-udara-air dan aseton-udara-air. Sedangkan contoh dari absorpsi kimia adalah NO_x-udara-air, dimana NO_x akan bereaksi dengan air membentuk HNO₃ (M. Yusuf Firdaus, 2011).

Hal-hal yang mempengaruhi dalam proses adsorpsi :

- Zat yang diadsorpsi
- Luas permukaan yang diadsorpsi
- Temperatur
- Tekanan

2.8 Absorben

Absorben adalah cairan yang dapat melarutkan bahan yang akan diabsorpsi pada permukaannya, baik secara fisik maupun secara reaksi kimia. Absorben sering juga disebut sebagai cairan pencuci. Persyaratan absorben (Suparni Setyowati Rahayu, 2009) :

1. Memiliki daya melarutkan bahan yang akan diabsorpsi yang sebesar mungkin (kebutuhan akan cairan lebih sedikit, volume alat lebih kecil).
2. Selektif
3. Memiliki tekanan uap yang rendah
4. Tidak korosif.
5. Mempunyai viskositas yang rendah
6. Stabil secara termis.
7. Murah

2.9 Jenis Absorpsi

Absorpsi dapat berlangsung dalam dua macam proses, yaitu absorpsi fisik dan absorpsi kimia.

2.9.1 Absorpsi fisika

Physical absorption bisa digunakan dengan hasil yang memuaskan karena salah satu keuntungan dari proses ini adalah tidak adanya batas absorpsi. Jumlah CO_2 yang terabsorpsi oleh solvent ditentukan oleh kesetimbangan uap-air campuran, yang ditentukan oleh kondisi pada tekanan dan temperatur tertentu. Untuk kondisi tekanan parsial CO_2 yang tinggi, menyebabkan kapasitas loading CO_2 juga tinggi. Sehingga proses physical absorption sangat tepat untuk proses yang memakai aliran feed gas yang kaya CO_2 .

2.9.2 Absorpsi Kimia

Proses ini merupakan proses yang sudah umum digunakan dalam industri-industri untuk mereduksi kadar CO_2 . Pada umumnya menggunakan Amine sebagai pelarutnya. Amine digunakan sebagai media absorpsi untuk mengikat (di dalam kolom absorber) dan melepaskan kembali (di dalam kolom stripper) CO_2 dari gas alam. Di sini amine yang sudah digunakan untuk mengabsorb CO_2 harus diregenerasi, baik menggunakan regenerasi thermal dan/atau flash. Jenis-jenis amine yang digunakan : Pertama, MEA (monoethanolamine), secara umum digunakan pada konsentrasi 10 -20 %wt dalam air. Acid gas loading terbatas 0,3 – 0,4 mol Acid gas per mol amine. MEA dibandingkan dengan amine yang lain lebih korosif, terlebih lagi bila konsentrasi >20%wt, juga membutuhkan heat of reaction dengan H_2S & CO_2 sangat tinggi (sekitar 30% lebih tinggi dibandingkan DEA). Vapor pressure yang tinggi dari MEA mengakibatkan mudah kehilangan larutan di absorber dan stripper yang signifikan akibat penguapan yang tinggi. Kedua, DEA (diethanolamine), secara umum digunakan pada konsentrasi 25 – 35 % wt dalam air. Acid gas loading juga terbatas pada 0,3 – 0,4 mol acid gas per mol amine. DEA dibandingkan dengan MEA kurang korosif. Ketiga, DGA (diglycolamine atau 2 2-aminoethoxy ethanol), secara umum digunakan pada

konsentrasi 40 – 60 % wt dalam air. Acid gas loading terbatas 0,3 – 0,4 mol acid gas per mol amine. Sifatnya mirip dengan MEA tetapi mempunyai vapor pressure yang lebih rendah sehingga diperlukan konsentrasi yang lebih tinggi. Tingkat degradasi DGA juga tinggi. Keempat, MDEA (methyldiethanolamine), secara umum digunakan pada konsentrasi 30 -50 %wt. Acid gas loading tinggi 0,7 – 0,8 mol Acid gas per mol amine. Karena acid gas loading yang tinggi maka dapat mengurangi jumlah (flowrate) dari sirkulasi larutan amine (hal ini juga berarti mengurangi konsumsi energi pompa). MDEA juga tidak mudah terdegradasi baik secara thermal maupun chemical, dan mempunyai heat of reaction dengan H₂S yang rendah. Kelima, TEA (triethanolamine), merupakan tersier amine dan larutan amine yang pertama kali dikomersialkan untuk digunakan dalam gas sweetening. TEA tidak bisa menghasilkan produk gas dengan spesifikasi H₂S rendah. Keenam, DIPA (diisopropanolamine), digunakan pada proses ADIP dan Sulfinol (keduanya lisensi Shell International Petroleum Company-SIPM). DIPA tidak bisa menghasilkan produk gas dengan spesifikasi H₂S rendah dan sekarang SIPM sudah menggantikan DIPA dengan MDEA.

Penggunaan absorpsi kimia dalam fase cair sering digunakan untuk mengeluarkan zat pelarut secara lebih sempurna dalam campuran gasnya.

Suatu keuntungan dalam absorpsi kimia adalah meningkatkan harga koefisien perpindahan massa(kga). Sebagian dari perubahan ini disebabkan makin besarnya luas efektif antar muka karena absorpsi kimia dapat juga berlangsung di daerah hamper stagnan di samping perangkapan dinamik. Untuk memperluas permukaan kontak digunakan kolom berisi packing (packed coloum) dengan criteria pemilihan packing sebagai berikut :

- Memiliki luas permukaan terbasahi tiap unit volume yang besar
- Memiliki ruang kosong yang cukup besar sehingga kehilangan tekanan kecil
- Karakteristik pembasahan baik
- Densitas kecil agar berat kolom keseluruhan kecil
- Tahan korosi dan ekonomis

Beberapa jenis packing yang sering digunakan antara lain raching ring, intolox sadle, poll ring.

Di dalam merancang suatu menara absorpsi harga koefisien perpindahan massa merupakan besaran yang sangat penting. Penurunan korelasi harga K_{ga} didasarkan pada absorpsi fisik. Dengan tersedianya harga K_{ga} dapat ditentukan besaran-besaran lain, seperti :

a. Kecepatan perpindahan massa

Kecepatan perpindahan massa dapat dihitung setelah konsentrasi gas yang berkeseimbangan dengan fase cairnya diketahui. Dalam hal ini gas harus mendifusi ke aliran cairan tiap satuan waktu.

b. Waktu operasi

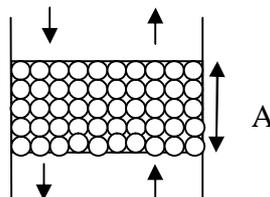
Jika harga K_{ga} diketahui maka kecepatan perpindahan massanya juga dapat diketahui sehingga waktu operasi absorpsi dapat diketahui juga.

c. Ukuran alat dan biaya

Untuk mengetahui dimensi alat dan besarnya biayapembuatan alat tersebut dapat diturunkan dari persamaan berikut :

$$H_{OG} = \frac{G_M}{K_{ga} \cdot P} \quad \dots(1)$$

Rumus untuk menghitung K_{ga} dapat didasarkan pada absorpsi fisik dengan menganggap bahwa kurva kesetimbangan larutan pada selang waktu tertentu dimana perpindahan massa berlangsung.



Gambar 4. elemen belakang kontak

Dari skema tersebut dapat didapatkan persamaan :

$$dG_y = K_{ga} \cdot P (y - y') dz \quad \dots(2)$$

Kecepatan perpindahan massa dapat ditentukan persamaan yang diturunkan oleh Max Well dan Stefan.

$$N_A = \frac{D_A \cdot a (y_{A2} - y_{A1})}{RTzP_2(1 - y_A)^m} \quad \dots(3)$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan untuk difusi gas dalam keadaan tetap dari komponen A melalui B yang tidak bergerak dan gas berdifusi dari tubuh gas ke permukaan batas gas cair. Dari persamaan tersebut dapat digunakan untuk mencari korelasi $K_g a$ yaitu :

$$K_g a = \frac{n}{(z_A \Delta P_{im} \cdot f)} \quad \dots(4)$$

Apabila volume cair diabaikan, maka :

Neraca massa A pada fase cair di sepanjang elemen volume kolom AG_z , menghasilkan persamaan:

$$\frac{d(V_L [A])^L}{dz} = \frac{\pi D^2}{4} \left\{ -D_{Aa} \frac{d[A]}{dx} \Big|_{-zL} (-r(A)) \right\} \quad \dots(5)$$

Neraca massa A pada fase gas pada elemen volume yang sama menghasilkan persamaan :

$$\frac{d(V_G [A])^G}{dz} = \frac{d}{dz} (V_L [A]^L) = N_A \cdot a \quad \dots(6)$$

2.10 Jenis-Jenis Menara Absorpsi

Jenis-jenis Menara Absorpsi : (M. Yusuf Firdaus, 2011).

2.10.1 Sieve Tray

Bentuknya mirip dengan peralatan distilasi. Pada Sieve Tray, uap menggelembung ke atas melewati lubang-lubang sederhana berdiameter 3-12 mm melalui cairan yang mengalir. Luas penguapan atau lubang-lubang ini biasanya sekitar 5-15% luas tray. Dengan mengatur energi kinetik dari gas dan uap yang mengalir, maka dapat diupayakan agar cairan tidak mengalir melalui lubang-lubang tersebut. Kedalaman cairan pada tray dapat dipertahankan dengan limpasan (overflow) pada tanggul (outlet weir).

2.10.2 Valve Tray

Valve Tray adalah modifikasi dari Sieve Tray dengan penambahan katup-katup untuk mencegah kebocoran atau mengalirnya cairan ke bawah pada saat tekanan uap rendah. Dengan demikian alat ini menjadi sedikit lebih mahal

daripada Sieve Tray, yaitu sekitar 20%. Namun demikian alat ini memiliki kelebihan yaitu rentang operasi laju alir yang lebih lebar ketimbang Sieve Tray.

2.10.3 Spray Tower

Jenis ini tidak banyak digunakan karena efisiensinya yang rendah.

2.10.4 Bubble Cap Tray

Jenis ini telah digunakan sejak lebih dari seratus tahun lalu, namun penggunaannya mulai digantikan oleh jenis Valve Tray sejak tahun 1950. Alasan utama berkurangnya penggunaan Bubble Cap Tray adalah alasan ekonomis, dimana desain alatnya yang lebih rumit sehingga biayanya menjadi lebih mahal. Jenis ini digunakan jika diameter kolomnya sangat besar.

2.10.5 Packed Bed

Jenis ini adalah yang paling banyak diterapkan pada menara absorpsi. Packed Column lebih banyak digunakan mengingat luas kontakannya dengan gas. Packed Bed berfungsi mirip dengan media filter, dimana gas dan cairan akan tertahan dan berkontak lebih lama dalam kolom sehingga operasi absorpsi akan lebih optimal.

2.11 Sifat Fisis dan Kimia NaOH dan CO₂

2.11.1 Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium Hidroksida dengan rumus kimia NaOH merupakan basa yang cukup kuat, mudah larut dalam air dan mudah menyerap CO₂ dengan,

BM	: 40 g/mol,
Rapat massa	: 2,130 g/lit,
Melting point	: 604.4°F
Boiling point	: 2,530°F

2.11.2 Karbon Dioksida (CO₂)

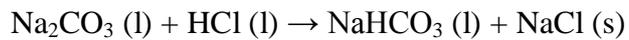
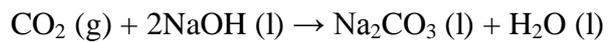
Karbon dioksida dikenal dengan rumus kimia CO₂ berwujud gas dengan

BM : 44,01 g/mol,

Melting point : -78°F

Boilling point : -57°F

Pada absorpsi CO₂ dengan larutan NaOH terjadi reaksi sebagai berikut :



(Andhika dkk ,2010)