

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 INSINERASI

Insinerasi (*incineration*) merupakan suatu teknologi pengolahan limbah yang melibatkan pembakaran limbah pada temperatur tinggi. Teknologi insinerasi dan sistem pengolahan limbah temperatur tinggi lainnya digambarkan sebagai "perlakuan termal". Pada hakekatnya, insinerasi barang-barang sisa atau sampah mengkonversi limbah menjadi panas yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi seperti listrik. Salah satu cara teknologi pengolahan limbah adalah dengan teknologi insinerasi, dan alat yang digunakan biasa disebut dengan insinerator. Pengolahan limbah dengan insinerator terutama bertujuan untuk mengurangi volume dari limbah itu sendiri sampai sekecil mungkin, kemudian juga untuk mengolah limbah tersebut supaya menjadi tidak berbahaya bagi lingkungan serta stabil secara kimiawi.

Teknologi insinerasi berfungsi sebagai suatu alternatif untuk metode-metode pengolahan limbah *landfill* dan proses biologis seperti pengomposan dan biogas. Teknologi ini mempunyai manfaat-manfaat kuat terutama sekali untuk pengolahan limbah jenis-jenis tertentu di daerah-daerah relung seperti limbah klinis (limbah rumah sakit ataupun farmasi) dan limbah-limbah berbahaya tertentu yang mana patogen-patogen dan toksin-toksin hanya dapat dihancurkan dengan temperatur tinggi. Potensi pembangkitan listrik yang menggunakan pembakaran sampah perkotaan dan metode-metode non-termal lainnya dari energi yang berbasis limbah seperti biogas sedang terus meningkat yang dilihat sebagai suatu strategi penganeka-ragaman energi potensial. Teknologi insinerasi terutama sekali populer di negara-negara seperti Jepang yang mana lahan adalah suatu sumber

daya langka. Swedia telah menjadi pemimpin dalam menggunakan energi yang dihasilkan dari teknologi insinerasi ini dalam 20 tahun silam.

Terdapat berbagai jenis insinerator yang telah dikembangkan, namun teknologi insinerasi yang paling umum digunakan seperti seperti *Rotary Kiln Incinerator*, *Multiple Hearth Incinerator*, dan *Fluidized Bed Incinerator*. Dua teknologi terakhir disebutkan merupakan teknologi utama yang paling banyak digunakan dan dikembangkan untuk teknologi insinerasi.

2.2 JENIS – JENIS INSINERATOR

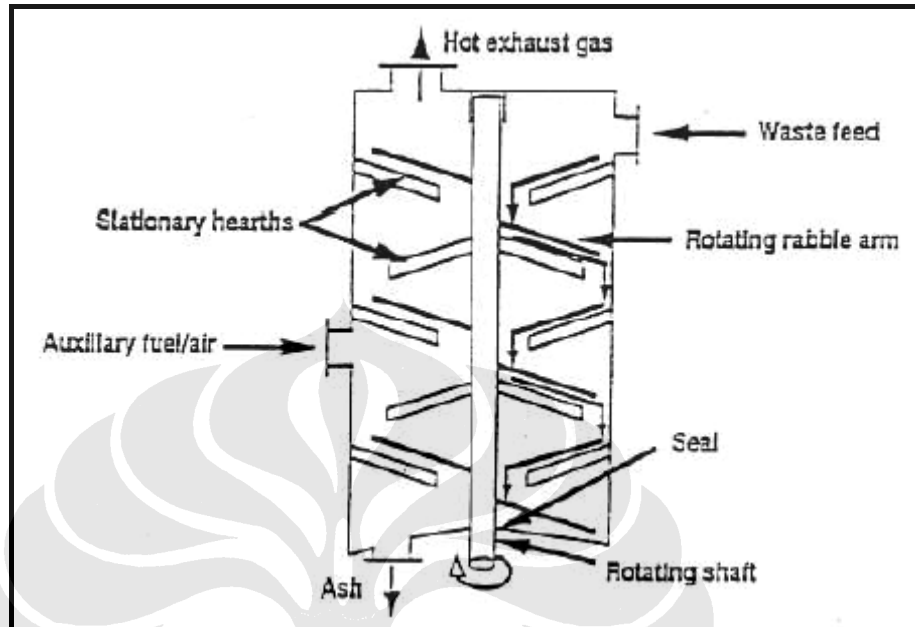
Terdapat berbagai jenis insinerator yang telah dikembangkan, namun teknologi insinerator yang paling umum digunakan selama ini adalah seperti *rotary kiln incinerator*, *multiple hearth Incinerator*, dan *fluidized bed incinerator*. Dua teknologi terakhir disebutkan merupakan teknologi utama yang paling banyak digunakan untuk teknologi insinerasi. Pembahasan *fluidized bed incinerator* akan dibahas secara rinci pada sub bab selanjutnya.

2.2.1 *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. Umpah 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 diumpun masuk dari bawah, dan sampah diumpun 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 demi tungku dengan membawa produk pembakaran dan partikel abu.



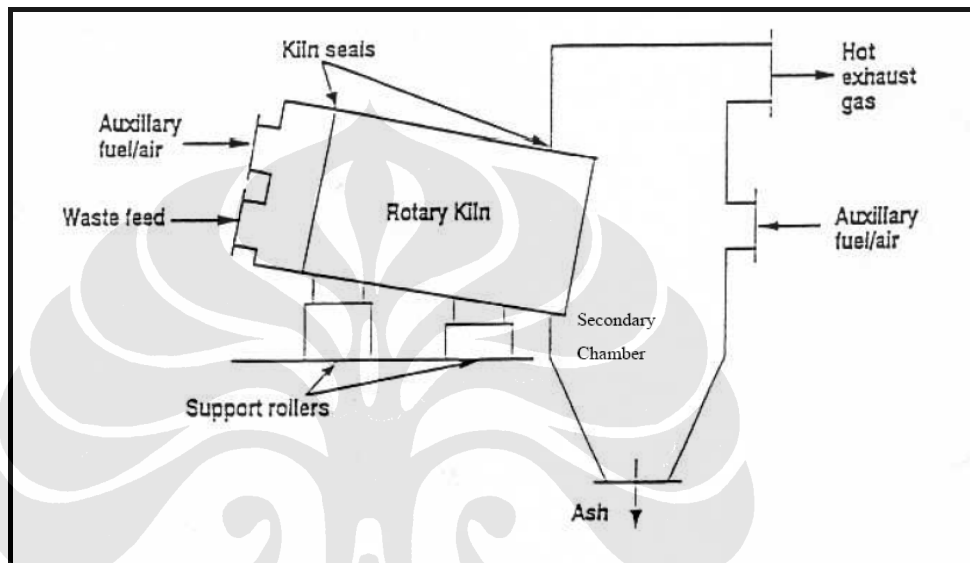
Gambar 2.1. *Multiple hearth incinerator*

2.2.2 *Rotary Kiln Incinerator*

Rotary kiln incinerator merupakan suatu kerangka silindris yang dilapisi bahan tahan api yang terpasang pada sudut kemiringan yang rendah. Rotasi dan sudut kemiringan dari tanur (*kiln*) menyebabkan bergerakinya 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 incinerator 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 diumpun masuk dalam kuantitas yang sangat besar, dan juga dapat beroperasi secara *batch mode* yang memungkinkan lebih fleksibel dibandingkan dengan *continuous mode*.



Gambar 2.2. Rotary kiln incinerator

2.3 FLUIDIZED BED INCINERATOR

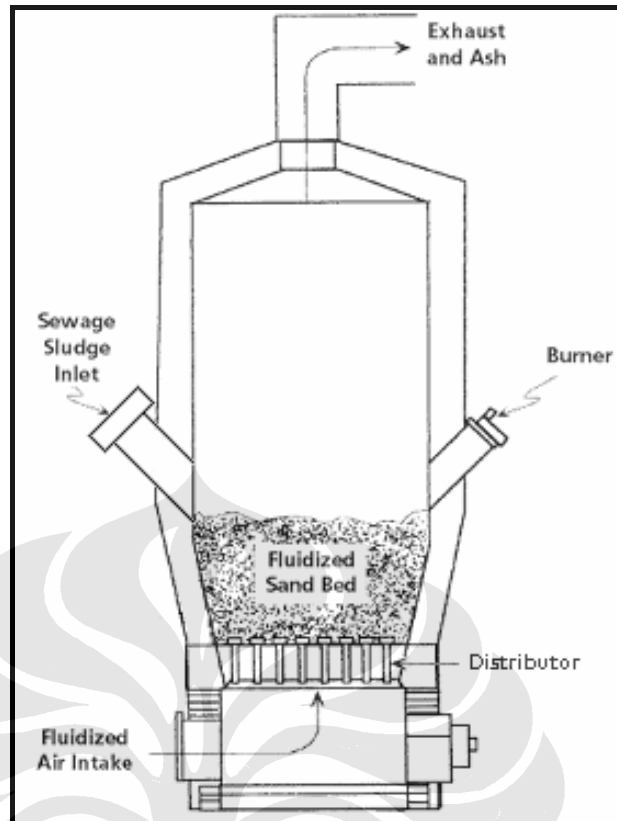
Fluidized bed incinerator adalah sebuah tungku pembakar yang menggunakan media pengaduk berupa pasir seperti pasir kuarsa atau pasir silika, sehingga akan terjadi pencampuran (*mixing*) yang homogen antara udara dengan butiran-butiran pasir tersebut. *Mixing* yang konstan antara partikel-partikel mendorong terjadinya laju perpindahan panas yang cepat serta terjadinya pembakaran sempurna. *Fluidized bed incinerator* berorientasi bentuk tegak lurus, silindris, dengan kerangka baja yang dilapisi bahan tahan api, berisi hampan pasir (*sand bed*) dan distributor untuk fluidisasi 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. Hampan pasir tersebut diletakkan di atas distributor yang berupa grid logam dengan dilapisi bahan tahan api. Grid ini

berisi suatu pelat berpori berisi nosel-nosel injeksi udara atau *tuyere* di mana udara dialirkan ke dalam ruang bakar untuk menfluidisasi hampan (*bed*) tersebut. Aliran udara melalui nosel menfluidisasi hampan 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 hampan 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 hampan 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 *hampan pasir*. Laju pembakaran sampah meningkat dengan sangat karena laju pirolisis dari limbah padat meningkat oleh kontak langsung dengan partikel hampan yang panas. Aliran udara fluidisasi meniup abu halus dari hampan. Gas-gas pembakaran biasanya diproses lagi di *wet scrubber* dan kemudian abunya dibuang secara *landfill*.

Sampah padat, yang sudah dalam bentuk tercacah atau dipotong menjadi kecil-kecil, dimasukkan ke dalam ruang bakar dengan kapasitas yang konstan, dan diletakkan tepat di atas pasir-pasir tersebut. Udara untuk proses pembakaran di berikan dari *blower* yang melewati distributor. Bagian *fluidized bed incinerator* yang letaknya terdapat di bawah ruang bakar disebut juga dengan ruang plenum, sehingga aliran udara yang akan masuk ke dalam ruang bakar akan bergerak secara seragam menuju timbunan pasir yang ada di atasnya. Kemudian ruang kosong yang ada di ruang bakar, dan tepat di atas hampan pasir, disebut juga dengan *freeboard* atau juga *riser*. Pada bagian inilah terjadi perubahan partikel padat menjadi gas. Gas-gas yang dihasilkan akan terbang ke lingkungan setelah melewati alat kontrol polusi udara.

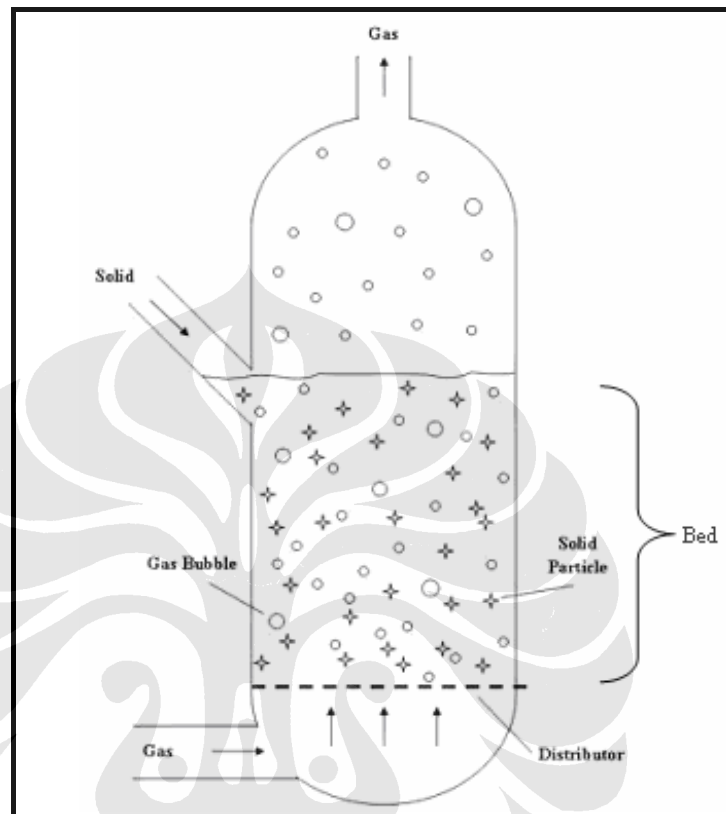


Gambar 2.3. Skematis *fluidized bed incinerator*

Suatu pandangan potongan *fluidized bed incinerator* diilustrasikan seperti pada gambar 2.3. Terlihat pada gambar tersebut bahwa *fluidized bed incinerator* memiliki satu ruangan di mana kedua-duanya pengeringan dan pembakaran terjadi di hampan pasir terfluidisasi. Waktu kontak di dalam daerah pembakaran hanyalah beberapa detik pada temperatur 750 sampai 900 °C. Abu terbawa keluar dari puncak ruang bakar dan dibersihkan dengan alat kontrol polusi udara. Pasir yang terbawa dengan abu harus diganti. Pasir yang terbuang pada umumnya 5 persen dari volume hampan untuk setiap 300 jam operasi. Pengumpanan (*feed*) pada ruang bakar itu dimasukkan baik dari atas atau secara langsung ke dalam hampan.

Pencampuran dalam *fluidized bed* terdistribusi secara cepat dan seragam antara bahan bakar dan udara atau gas seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.4, sehingga mengakibatkan perpindahan kalor dan pembakaran yang baik. Hampan pasir itu sendiri memiliki kapasitas panas yang besar, yang membantu mengurangi terjadinya fluktuasi temperatur sesaat yang dapat diakibatkan oleh nilai kalor

bahan bakar (sampah) yang bervariasi. Kapasitas penyimpanan panas ini juga memungkinkan untuk proses startup yang lebih cepat, jika waktu *shutdown* sebelumnya belum terlalu lama.



Gambar 2.4. *Mixing* yang terjadi saat fluidisasi pada *fluidized bed incinerator*

Proses pembakaran dengan teknologi ini telah berkembang relatif cepat sejak tahun 1960-an, dan sampai saat ini metode ini masih terus dikembangkan lebih lanjut di kawasan Eropa, Amerika, Jepang, Australia, dan negara-negara maju lainnya.

2.3.1 Jenis-Jenis *Fluidized Bed Incinerator*

Fluidized bed incinerator dapat beroperasi dalam dua jenis sistem, yaitu *bubbling* dan *circulating*, tergantung pada kecepatan udara yang masuk ke dalam ruang bakar. *Fluidized bed incinerator* dengan sistem *bubbling* biasa disebut dengan insinerator *Bubling Fluidized Bed* (BFB) sedangkan jenis lainnya adalah insinerator *Circulating Fluidized Bed* (CFB), yang mana kecepatan udara yang lebih tinggi menyebabkan laju perpindahan partikel yang tinggi.

Insinerator BFB beroperasi ketika kecepatan aliran udara tidak cukup tinggi untuk membawa partikel hamparan yaitu pasir untuk keluar dari *riser* menuju siklon. Sistem *bubbling* pada *fluidized bed incinerator* terjadi pada kecepatan udara yang relatif rendah antara 0,1 – 3 m/s, bergantung pada ukuran dari partikel pasir yang digunakan dan luas penampang reaktornya. Pada kondisi ini, hamparan harus dibersihkan dari partikel abu secara manual. Sedangkan pada insinerator CFB memiliki kecepatan gas atau udara yang lebih tinggi, biasanya 4 - 6 m/s. Ketinggian *freeboard* untuk *combustion zone* pun lebih tinggi dibandingkan dengan insinerator BFB. Material yang berpindah terbawa keluar sistem diperoleh kembali dengan mensirkulasikan partikel tersebut ke dalam sistem.

Selanjutnya udara pembakaran pada insinerator CFB disuplai dalam dua tahap yaitu udara primer (fluidisasi) dan udara sekunder, dan sehingga beban daya dari blower dapat dikurangi. Pembakaran dua tahap ini juga dilakukan untuk mengurangi efek buruk terhadap lingkungan seperti polutan yang dihasilkan. Insinerator BFB memiliki kekurangan pada proses *agitation* (pergolakan); dan pencampuran dalam ruang bakar terganggu jika ukuran ruang bakar diperbesar. Sebaliknya, insinerator CFB berukuran besar pun dapat menjaga pembakaran dengan baik sekali karena terjadinya proses *agitation* yang cukup dan pencampuran dipengaruhi oleh fluidisasi berkecepatan tinggi. Dalam pembakaran CFB, bagian dari material *bed* dan *unburned char* yang terbawa keluar dari atas *riser* ditangkap oleh siklon dan disirkulasikan kembali ke dalam sistem, dan terbakar dengan sempurna.

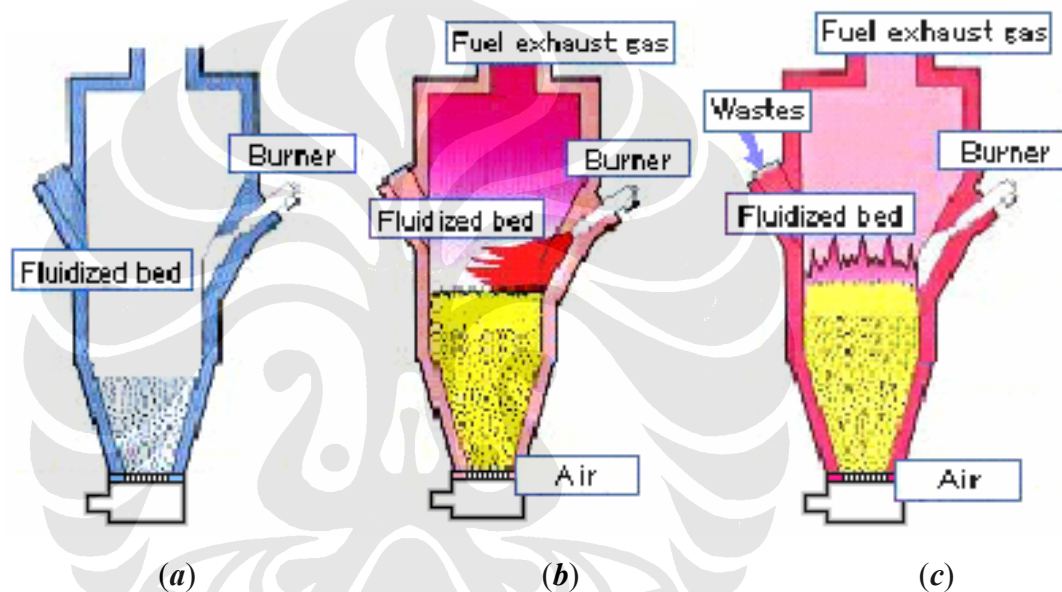
2.3.2 Pinsip Kerja *Fluidized Bed Incinerator*

Teknologi pembakaran dengan menggunakan metode *fluidized bed* telah memperkenalkan beberapa konsep penting dalam pembakaran sampah atau bahan padat, yaitu:

- Turbulensi partikel padatan, dengan meningkatkan kontak fisik antara partikel padat (pasir) dengan bahan bakar (sampah), yang menghasilkan panas dan perpindahan panas yang lebih baik, dan juga mendistribusikan panas yang seragam pada hamparan pasir, dan juga di sekitar ruang bakar secara umumnya.

- Temperatur sebagai kontrol variabel yang independen dapat meningkatkan kontrol polusi yang dapat dihasilkan oleh penempatan bahan bakar dan sistem distribusi udara, serta penempatan tabung *heat recovery* dalam reaktor.
- Penggunaan pasir sebagai *inert material* dapat mengurangi dampak sisa hasil pembakaran dengan menggunakan bahan bakar yang basah atau kotor.

Secara umum tahapan-tahapan proses kerja dari *fluidized bed incinerator* dapat dilihat pada ilustrasi gambar di bawah ini.



Gambar 2.5. Tahapan proses kerja *fluidized bed incinerator*; (a) Tahapan pada kondisi awal; (b) Tahapan proses pemanasan; (c) Tahapan pada kondisi operasi.

Proses kerja *fluidized bed incinerator* terutama terdiri dari tiga tahapan. Dari kondisi awal, pemanasan dan kondisi operasi seperti berikut ini:

1. Kondisi awal

Pada kondisi awal, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.5a, ruang bakar masih pada temperatur ruang. Pasir sebagai media pengaduk sekaligus media pertukaran kalor diletakkan dalam ruang bakar.

2. Proses pemanasan

Pada tahapan proses pemanasan, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.5b, pasir tersebut mulai dipanaskan. Udara bertekanan mulai dialirkan dari

blower ke dalam ruang bakar dari bagian bawah reaktor untuk menfluidisasi pasir. Pada kondisi ini sudah terjadi fluidisasi pada kondisi fluidisasi minimum. Proses pemanasan dilakukan dengan alat bantu berupa burner. Burner memanaskan pasir sampai temperatur operasi (750 – 900 °C). Untuk lebih mempercepat proses pemanasan dapat juga ditambahkan bahan bakar lain ke dalam reaktor seperti kayu, cangkang kelapa atau pun batu bara.

3. Kondisi operasi

Pada kondisi operasi, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.5c, temperatur ruang bakar pada hamparan sudah mencapai temperatur operasi. Pada kondisi ini alat bantu burner tidak dipakai lagi sehingga saat ini burner dimatikan. Temperatur ruang bakar harus terjaga konstan dengan mengatur laju pengumpanan sampah yang konstan. Kecepatan udara dari blower dinaikkan sampai pada kondisi *complete fluidization*. Sampah akan terbakar sendiri pada kondisi ini karena panas yang diberikan oleh pasir sudah melewati temperatur nyala dari sampah tersebut. *Resident time* sampah pada ruang bakar berkisar dari satu sampai dua detik sampai sampah tersebut berubah menjadi abu.

2.3.3 Bagian-Bagian *Fluidized Bed Incinerator*

Fluidized bed incinerator memiliki banyak bagian-bagian penting yang harus diperhatikan dalam pengoperasiannya. Bagian-bagian penting tersebut di antaranya terdiri dari ruang bakar sebagai tempat terjadinya fluidisasi pasir dan proses pembakaran, pasir sebagai media penransfer, distributor sebagai penyebar aliran udara dari blower secara seragam pada keseluruhan penampang, blower sebagai penyuplai udara untuk fluidisasi, burner sebagai alat pemanas awal, dan *cyclone separator* sebagai alat pemisah partikel padat dan abu dengan gas.

2.3.3.1 *Ruang bakar*

Ruang bakar ini merupakan ruang tempat meletakkan pasir dan umpan sampah yang akan dibakar, sehingga proses pembakaran terjadi di sini. Pasir terfluidisasi di ruang bakar ini dengan suplai udara dari blower. Ruang bakar dalam *fluidized bed incinerator* juga harus dapat menjaga temperatur pasir yang dapat mencapai 900 °C.



Gambar 2.6. Ruang bakar utama *fluidized bed incinerator* UI

Ketika sistem bekerja dalam fluidisasi dengan kecepatan tinggi, bahan bakar akan terbakar setelah fase *bubbling*. Di dalam ruang bakar akan terjadi urutan-urutan reaksi, yaitu: pengeringan (*drying*), pemanasan (*heating*), pirolisa partikel solid, dan oksidasi. Ruang bakar utama ini merupakan area yang paling penting dalam proses pembakaran, selain sebagai tempat terjadinya proses pembakaran, area ini juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan panas yang terjadi. Volume yang besar dari ruang bakar ini membantu dalam proses pirolisa terhadap bahan bakar padat, dan juga dapat membantu peningkatan stabilitas temperatur di dalam ruang bakar.

2.3.3.2 Pasir sebagai media penransfer

Pasir ini digunakan sebagai media penransfer panas dari bahan bakar sampah yang akan dibakar. Salah satu persyaratan yang harus dimiliki oleh pasir adalah nilai konduktifitas termal yang baik dan kalor jenis yang rendah. Fungsi partikel dalam *fluidized bed incinerator* ialah untuk membantu pembakaran di dalam ruang bakar dan membantu mempertahankan temperatur ruang bakar. Partikel-partikel tersebut harus mampu menjadi penahan *thermal shock* (lonjakan suhu). Partikel yang umumnya digunakan adalah pasir silika atau pasir kuarsa, dengan ukuran partikel 20 *mesh* sampai 50 *mesh*.

Pasir yang digunakan harus memenuhi persyaratan teknik di antaranya yaitu memiliki konduktivitas termal yang tinggi, kalor jenis yang rendah, titik lebur yang tinggi, serta tahan terhadap panas pada temperatur tinggi dalam waktu yang lama.

Partikel pasir yang digunakan, diklasifikasikan dalam beberapa kelompok menurut Geldart [3]. Kelompok-kelompok pasir tersebut yaitu:

- *Group A*

Material pasir dikategorikan ke dalam kelompok ini memiliki diameter partikel (d_p) berkisar antara $20 \mu m$ sampai $100 \mu m$ dan kerapatan partikel kurang dari $1400 kg/m^3$. Material ini paling mudah terfluidisasi dibandingkan kelompok yang lain.

- *Group B*

Material kelompok ini cenderung memiliki ukuran rata-rata diameter partikel berkisar antara $40 \mu m$ sampai $500 \mu m$ dan kerapatan partikelnya berkisar antara 1400 sampai $4000 kg/m^3$.

- *Group C*

Kelompok ini memiliki ukuran rata-rata diameter partikel yang lebih kecil ($<30 \mu m$) dengan kerapatan partikel yang kecil. Partikelnya sangat halus seperti tepung. Fluidisasi sangat sulit terjadi karena gaya interstitial antara partikel mempunyai efek yang lebih besar dibandingkan gaya gravitasi.

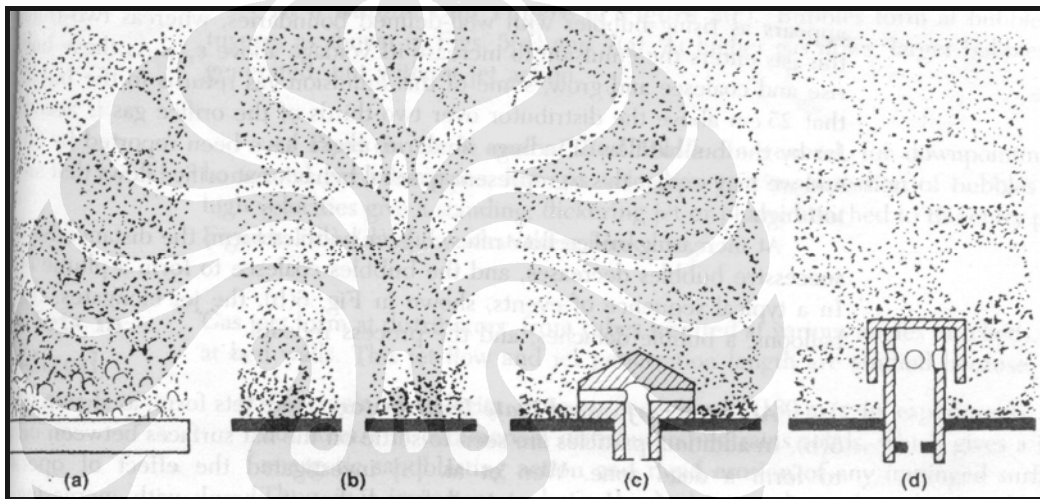
- *Group D*

Material kelompok ini biasanya memiliki ukuran rata-rata diameter partikel lebih besar dari $600 \mu m$ dan paling besar di antara kelompok lainnya. Kelompok ini membutuhkan kecepatan fluidisasi yang besar sehingga sangat sulit untuk pencampuran yang baik dibandingkan kelompok A dan B.

Untuk tujuan fluidisasi yang baik, sebaiknya menggunakan pasir silika atau pasir kuarsa dengan ukuran partikel berkisar antara $300 - 500 \mu m$. Pasir jenis ini diklasifikasikan pada grup B. Pasir kuarsa dan pasir silika tidak jauh berbeda kandungannya, keduanya sama-sama memiliki kandungan SiO_2 . Kedua pasir tersebut berasal dari batuan yang sangat keras sehingga sangat cocok digunakan untuk penggunaan pada temperatur tinggi dan sebagai media pentransfer panas.

2.3.3.3 Distributor

Distributor digunakan untuk untuk mendistribusikan aliran udara dari blower secara seragam pada keseluruhan penampang reaktor sehingga hamparan pasir yang ditopang oleh distributor tersebut terjadi fluidisasi. Distributor ini juga memiliki pengaruh terhadap ukuran dan jumlah gelembung yang dihasilkan. Terdapat beberapa jenis distributor yang sering digunakan, yaitu *porous plate*, *perforated plate*, *nozzle-type tuyere*, dan *bubble cap tuyere*. Masing-masing jenis distributor tersebut dapat menghasilkan perilaku gelembung yang berbeda-beda seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.8.



Gambar 2.7. Perilaku gelembung setiap jenis distributor; (a) *Porous plate*; (b) *Perforated plate*; (c) *nozzle-type tuyere*; (d) *bubble cap tuyere*.



Gambar 2.8. Distributor yang sebelumnya digunakan pada *fluidized bed incinerator* UI

2.3.3.4 Blower

Blower merupakan salah satu komponen vital yang digunakan untuk aplikasi teknologi *fluidized bed*. Blower digunakan sebagai alat untuk mensuplai udara yang dibutuhkan agar terjadi proses fluidisasi dan reaksi pembakaran secara terus menerus selama pengoperasian alat berlangsung. Blower tersebut berfungsi untuk mengalirkan udara ke reaktor dengan debit tertentu sehingga pasir silika yang ditopang dengan plat distributor tersebut mengalami fluidisasi. Blower harus dapat memberikan aliran udara dengan kecepatan aliran yang mencukupi sehingga terjadi fluidisasi, dan sebagai tolok ukurnya dapat dilihat dari kecepatan fluidisasi minimum. Selain harus dapat mengalirkan aliran udara dengan kecepatan udara setidaknya sebesar kecepatan fluidisasi minimumnya, blower harus juga dapat memberikan cukup tekanan yang lebih besar dari pada nilai *pressure drop* (penurunan tekanan) yang melewati hamparan pasir. Pada saat proses pemilihan blower yang akan digunakan pada *fluidized bed incinerator* UI, parameter-parameter yang digunakan dalam pemilihan tersebut adalah besar debit aliran maksimum blower, besar tekanan maksimum blower, dan besar daya yang dibutuhkan blower.



Gambar 2.9. Blower sentrifugal yang sebelumnya digunakan pada *fluidized bed incinerator* UI; spesifikasi: daya 5,5 pk , putaran maks 2890 rpm

2.3.3.5 Burner

Burner merupakan komponen penting pada *fluidized bed incinerator*. Burner digunakan sebagai alat untuk proses pemanasan awal. Burner berfungsi untuk memanaskan pasir sampai pasir tersebut mencapai temperatur 750-800 °C.

Dalam pengoperasiannya, burner hanyalah digunakan untuk sementara. Burner tidak digunakan selamanya selama pengoperasian alat berlangsung seperti halnya blower, namun burner hanya digunakan pada proses awal saat proses pemanasan pasir dilakukan sampai temperatur operasi. Ketika hamparan pasir sudah mencapai temperatur yang diinginkan, maka burner ini akan berhenti bekerja.

Burner yang digunakan pada alat *fluidized bed incinerator* UI merupakan burner gas dengan bahan bakar gas LPG. Burner yang digunakan tersebut diharapkan dapat memanaskan pasir secepat mungkin. Hal ini berhubungan dengan nilai efisiensi dan efektifitas pengoperasian alat *fluidized bed incinerator* UI secara keseluruhan. Parameter yang digunakan dalam penggunaan burner adalah besar kapasitas kalor yang dapat dihasilkan burner setiap satu waktu. Semakin besar nilai kapasitas kalor yang dimiliki burner maka semakin baik dan efektiflah burner tersebut. Namun ada beberapa faktor lain yang dipertimbangkan dalam penggunaan burner seperti keamanan dalam penggunaan (*safety*), dan ketahanan burner (*endurance*) dalam penggunaannya.



Gambar 2.10. Burner yang sebelumnya digunakan pada *fluidized bed incinerator* UI

2.3.3.6 Cyclone separator

Cyclone separator merupakan salah satu komponen penting sebagai *gas cleaning system* dari hasil proses pembakaran yang terjadi. *Cyclone separator* berfungsi sebagai alat pemisah partikel padat dengan gas. Pada komponen ini, yang dipisahkan adalah partikel-partikel hasil dari proses pembakaran. Akibat

yang dihasilkan dari proses pembakaran yang terjadi, terutama pembakaran dengan *fluidized bed incinerator*, akan menghasilkan partikel-partikel padat besar dan partikel-partikel padat kecil beserta dengan partikel gas.

Partikel yang memiliki nilai kerapatan lebih besar, dalam hal ini adalah partikel padat, akan jatuh turun ke bawah dan kemudian ditampung. Biasanya, partikel tersebut adalah abu-abu hasil sisa pembakaran. Begitu juga sebaliknya, partikel-partikel yang memiliki kerapatan lebih kecil, akan terbang terangkat ke atas. Biasanya, partikel-partikel tersebut adalah gas-gas hasil pembakaran, seperti CO_2 , CO , SO_x , NO_x dan lain-lain. *Cyclone separator* ini sendiri belum memadai sebagai *gas cleaning system*, seharusnya terdapat komponen lainnya seperti *scrubber*, *precipitator* dan sebagainya.

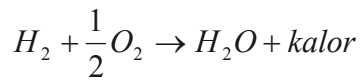


Gambar 2.11. *Cyclone separator fluidized bed incinerator UI*

2.4 SISTEM REAKSI PEMBAKARAN

Pembakaran adalah proses/reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar dan oksidator dengan menimbulkan panas atau nyala dan panas. Oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi oksidasi biasanya berasal dari udara bebas dengan komposisi 21 % oksigen dan 79 % nitrogen (persentase volum). Komponen utama yang terkandung dalam bahan bakar fosil adalah karbon, hidrogen, dan sulfur.

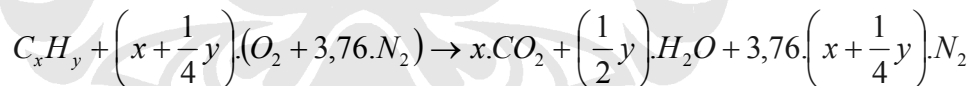
Reaksi dasar proses pembakaran karbon, hidrogen, dan sulfur.



CO_2 , H_2O dan SO_2 yang dihasilkan dari reaksi pembakaran di atas merupakan produk pembakaran dan secara bersamaan reaksi pembakaran tersebut juga menghasilkan energi berupa kalor.

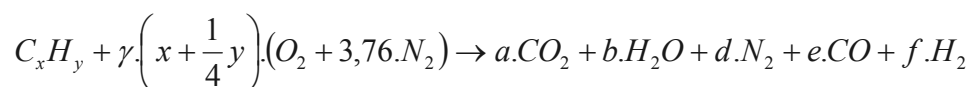
Pembakaran sempurna adalah reaksi pembakaran dengan proporsi udara pembakaran sebesar udara teoritis atau udara stoikiometrinya. Reaksi pembakaran dengan udara pembakaran aktual lebih sedikit dari udara stoikiometrinya sehingga terdapat kelebihan bahan bakar, campuran udara-bahan bakarnya disebut dengan campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*). Begitu juga sebaliknya jika udara pembakaran aktual lebih sedikit dari udara stoikiometrinya sehingga terdapat kekurangan bahan bakar, campuran udara-bahan bakarnya disebut dengan campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*).

Namun, kandungan dari udara bebas sepenuhnya bukan mengandung oksigen, karena bercampur dengan nitrogen (N_2). Sehingga reaksi stoikiometrinya juga sedikit berbeda dari dasar reaksi pembakaran sempurna.



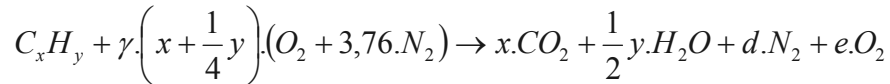
Namun, ada kalanya juga proses pembakaran tidak terjadi pada komposisi ideal antara bahan bakar dengan udara. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, proses yang tidak pada kondisi ideal ini bisa terbagi menjadi dua, yaitu pembakaran kaya dan pembakaran miskin.

- Proses pembakaran-kaya



Dari reaksi di atas dapat dilihat bahwa proses pembakaran kaya menghasilkan senyawa lain yaitu karbonmonoksida (CO) dan hidrogen (H_2). Untuk reaksi pembakaran kaya, memiliki satu kriteria, yaitu nilai $\gamma < 1$.

- Proses pembakaran-miskin



Gas yang dihasilkan dari pembakaran kaya berbeda dari gas yang dihasilkan dari pembakaran miskin. Pada pembakaran miskin hanya menghasilkan gas oksigen (O_2). Untuk pembakaran miskin juga memiliki satu kriteria, yaitu nilai $\gamma < 1$.

2.4.1 Hal-Hal Yang Harus Diperhatikan Dalam Proses Pembakaran

Sebelumnya telah dibahas reaksi kimia pembakaran secara teoritis. Namun pada kenyataannya, proses pembakaran ini akan menghasilkan gas-gas atau sisa-sisa hasil pembakaran lainnya yang tidak disebutkan pada reaksi tersebut. Untuk memperoleh hasil pembakaran yang baik, maka proses pembakaran harus memperhatikan parameter-parameter seperti *mixing* (pencampuran), udara, temperatur, waktu, dan kerapatan. Berikut ini merupakan hal-hal yang harus diperhatikan dalam proses pembakaran, yaitu :

1. Mixing

Agar pembakaran dapat berlangsung dengan baik, maka diperlukan proses pencampuran antara bahan bakar yang digunakan dengan udara pembakaran. Pencampuran yang baik dapat mengkondisikan proses pembakaran berlangsung dengan sempurna.

2. Udara

Dalam proses pembakaran, udara pembakaran harus diperhatikan, karena dapat menentukan apakah pembakaran tersebut berlangsung dengan sempurna atau tidak sempurna. Pemberian udara yang cukup akan dapat mencegah pembakaran yang tidak sempurna, sehingga CO dapat bereaksi lagi dengan O_2 untuk membentuk CO_2 .

3. Temperatur

Bila temperatur tidak mencapai atau tidak bisa dipertahankan pada temperatur nyala dari bahan bakar, maka pembakaran tidak akan berlangsung atau berhenti.

4. Waktu

Sebelum terbakar, bahan bakar akan mengeluarkan *volatile meter* agar dapat terbakar. Waktu pada saat bahan bakar melepas *volatile meter* itulah yang dinamakan sebagai waktu pembakaran, atau *time delay*.

5. Kerapatan

Kerapatan yang cukup (untuk pembuatan api) diperlukan guna menjaga kelangsungan pembakaran.

2.4.2 Komponen-Komponen Utama Reaksi Pembakaran

Suatu reaksi pembakaran memiliki 3 komponen utama, yaitu :

1. Zat yang dibakar

Unsur-unsur kimia pada bahan bakar yang berpotensi memberikan energi kalor adalah karbon, oksigen, hidrogen, dan sulfur. Setiap bahan bakar memiliki kandungan energi kalor yang dinyatakan dalam jumlah karbon. Jenis bahan bakar dibedakan menjadi tiga bentuk, seperti pada tabel 2.1.

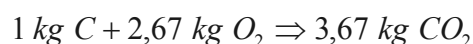
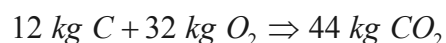
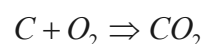
Tabel 2.1. Jenis-Jenis Bahan Bakar

Padat	Cair	Gas
Kayu	Solar	LNG
Ampas Tebu	Minyak Tanah	LPG
Cangkang + Sabut Kelapa	Bensin, dll.	dll.
Batu bara, dll.		

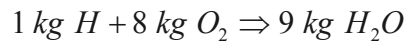
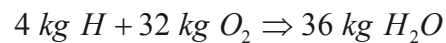
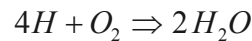
2. Zat yang membakar

Jika komposisi bahan bakar diketahui, maka dapat dihitung pula jumlah kebutuhan udara yang proporsional dengan jumlah bahan bakar, agar dapat mencapai pembakaran yang sempurna.

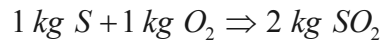
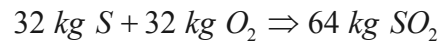
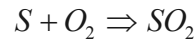
- Karbon terbakar sempurna akan membentuk CO_2 menurut persamaan :



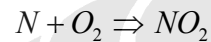
- Hidrogen terbakar sempurna akan membentuk H_2O menurut persamaan :



- Belerang terbakar akan membentuk SO_2 menurut persamaan :



- Nitrogen terbakar membentuk NO_2 menurut persamaan :



Sedangkan, 1 kg udara mengandung 0,23 kg O_2 , sehingga kebutuhan udara teoritisnya (A_o) adalah :

$$A_o = \frac{2,67C + 8H - O + S + 2,29N}{0,23} \text{ kg udara} / \text{kg bahan bakar} \dots\dots\dots (2.1)$$

Kebutuhan udara dalam proses pembakaran dapat diklasifikasikan menjadi sebagai berikut :

- Udara primer
Udara yang bercampur dengan bahan bakar dalam ruang bakar.
- Udara sekunder
Udara yang masuk dari sekeliling ruang bakar.
- Udara tersier
Udara yang menembus celah pada ruang bakar.

Kebutuhan udara yang sebenarnya dalam proses pembakaran harus melebihi kebutuhan udara teoritisnya. Hal ini diperlukan untuk mengantisipasi proses pembakaran yang tidak sempurna. Selisih antara jumlah udara aktual dan udara teoritis ini disebut juga sebagai *excess air*. Nilai *excess air* ini selalu merupakan persentase antara selisih jumlah udara aktual dengan udara teoritis, yang berbanding dengan jumlah udara aktual.

Nilai *excess air* ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$\bar{m} = \frac{A - A_o}{A} \cdot 100 \% \dots\dots\dots (2.2)$$

keterangan : \bar{m} = *excess air*

A_o = massa udara teoritis

A = massa udara aktual

3. Zat yang dihasilkan dari pembakaran

Berat gas asap yang terbentuk dari hasil pembakaran 1 kg air bahan bakar adalah sama dengan jumlah berat udara yang dibutuhkan, ditambah dengan berat bahan bakar yang berubah menjadi gas asap kecuali abunya.

$$m_{gb} = m_{bb} + A - m_{abu} \dots\dots\dots (2.3)$$

Gas asap terbentuk dari hasil pembakaran antara gas-gas sisa pembakaran. Pada pembakaran yang sempurna, gas asap terdiri dari komponen-komponen seperti CO_2 , H_2O , SO_2 , N_2 , dan O_2 . Komponen-komponen tersebut disebut juga sebagai hasil pembakaran (*combustion product*), atau biasa disebut juga sebagai gas buang.

2.5 KARAKTERISTIK SAMPAH

Sampah ini digunakan sebagai bahan bakar dalam pembakaran dalam *fluidized bed incinerator* untuk diolah. Seperti diketahui bahwa sampah menjadi topik pembicaraan setiap harinya. Ini disebabkan karena jumlahnya yang semakin banyak sementara lahan untuk penampungan untuk sampah-sampah tersebut semakin berkurang, apalagi lahan-lahan yang ada di perkotaan. Untuk lebih jelasnya mengenai sampah-sampah yang dihasilkan dari beberapa kota besar di Indonesia khususnya di Jakarta, dapat dilihat dari tabel 2.2.

Proses daur ulang sampah dilakukan untuk sampah-sampah yang berjenis anorganik. Untuk proses pengkomposan sampah, dilakukan terhadap sampah-sampah yang bersifat organik. Dan yang terakhir adalah proses pembakaran sampah. Proses pembakaran sampah dilakukan terhadap sampah-sampah yang bersifat *combustible*. Namun, terkadang ada beberapa sampah organik yang

pengolahannya lebih baik dilakukan dengan cara pembakaran daripada pengkomposan. Alasannya adalah waktu yang dibutuhkan dalam proses pengolahan sampah organik tersebut lebih cepat menggunakan sistem pembakaran dari pada menggunakan sistem pengkomposan. Hal ini dibutuhkan untuk mengefisienkan lahan yang digunakan sebagai tempat pembuangan sampah.

Tabel 2.2. Komposisi Sampah DKI Jakarta

Komponen	%	Massa Basah (kg)	Massa kering (kg)	Kandungan Unsur					
				Karbon	Hidrogen	Oksigen	Nitrogen	Sulfur	Abu (kg)
Organik	73.9	385.65	154.26	74.05 kg 6.17 kmol	9.87 kg 9.87 kmol	58.00 kg 3.63 kmol	4.01 kg 0.29 kmol	0.62 kg 0.02 kmol	7.71
Kertas	8.28	43.21	17.28	7.52 kg 0.63 kmol	1.04 kg 1.03 kmol	7.60 kg 0.48 kmol	0.05 kg 0.004 kmol	0.03 kg 0.001 kmol	1.04
Plastik	5.44	28.39	11.36	7.84 kg 0.65 kmol	0.98 kg 0.98 kmol	1.29 kg 0.08 kmol	0.11 kg 0.008 kmol	0.00 kg 0.00 kmol	1.14
Kayu	3.77	19.67	7.89	3.89 kg 0.32 kmol	0.47 kg 0.00 kmol	3.36 kg 0.21 kmol	0.02 kg 0.001 kmol	0.01 kg 0.0004 kmol	0.12
Tekstil	1.16	6.05	2.42	1.39 kg 0.12 kmol	0.17 kg 0.17 kmol	0.52 kg 0.03 kmol	0.18 kg 0.001 kmol	0.01 kg 0.0002 kmol	0.15
Lain-lain	3.6	18.79	7.51	1.98 kg 0.16 kmol	0.23 kg 0.23 kmol	0.15 kg 0.009 kmol	0.04 kg 0.003 kmol	0.02 kg 0.0006 kmol	5.11
Total	96.15	501.77	200.71	8.06 kmol	12.76 kmol	4.43 kmol	0.31 kmol	0.02 kmol	15.27

Sumber: Dinas Kebersihan DKI Jakarta. 2002

Sampah-sampah organik juga menjadi satu topik permasalahan yang ada di lingkungan Universitas Indonesia. Sampah-sampah tersebut terdiri dari daun-daun kering dan ranting-ranting dari pohon-pohon, sisa makanan dari kantin-kantin yang berjenis organik, serta sampah-sampah organik lainnya. Persentase jumlah dari sampah-sampah yang dihasilkan juga tidak jauh beda dengan komposisi sampah yang di Jakarta, dimana persentase terbesar berasal sampah organik dan sampah-sampah kertas. Namun, yang dijadikan objek awal untuk pengujian adalah sampah-sampah organik yang berasal dari pohon-pohon. Komposisi sampah di lingkungan kampus Universitas Indonesia dapat dilihat dari tabel 2.3.

Kandungan komposisi sampah tersebut dapat diamati berdasarkan *ultimate analysis* dan *proximate analysis*, yang dapat dilihat pada tabel-tabel di bawah ini.

Tabel 2.3. Komposisi Sampah Universitas Indonesia

Jenis Sampah	Persentase
Organik	62.21 %
Plastik	16.94 %
Kertas	10.85 %
Kaleng	4.52 %
Botol	2.28 %
Lain-lain	3.20 %

Sumber: Bagian Rumah Tangga Rektorat Universitas Indonesia. 2003

Tabel 2.4. *Ultimate Analysis* Sampah yang Dibakar

<i>Solid Waste</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>S</i>	<i>Non Comb.</i>
Daun	52.25	6.11	30.34	6.99	0.16	4.25
Ranting kayu	50.46	5.97	42.37	0.15	0.05	1
Sisa makanan sayur	49.06	6.62	37.55	1.68	0.2	4.89
Sisa makanan daging	59.59	9.47	24.65	1.02	0.19	5.08
Kertas	43.41	5.82	44.32	0.25	0.20	6.00

Sumber: Walter R. Niessen. 1994

Tabel 2.5. *Proximate Analysis* Sampah yang Dibakar

<i>Solid Waste</i>	<i>Moisture</i>	<i>Volatile</i>	<i>Fixed Carbon</i>	<i>Non Comb.</i>
Daun	9.97	66.92	19.29	3.82
Ranting kayu	20	67.89	11.31	0.8
Sisa makanan sayur	78.29	17.1	3.55	1.06
Sisa makanan daging	38.74	56.34	1.81	3.11
Kertas	10.24	75.94	8.44	5.38

Sumber: Walter R. Niessen. 1994

Tabel 2.6. Nilai *HHV* (*kcal/kg*) Sampah yang Dibakar

<i>Solid Waste</i>	<i>As received</i>	<i>Dry</i>	<i>Moisture & Ash</i>
Daun	4436	4927	5150
Ranting kayu	3833	4785	4833
Sisa makanan sayur	997	4594	4833
Sisa makanan daging	4235	6913	7293
Kertas	3778	4207	4475

Sumber: Walter R. Niessen, 1994

