

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembakaran

2.1.1 Proses Pembakaran

Pembakaran dapat didefinisikan sebagai proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar (*fuel*) dan oksidator dengan menimbulkan nyala dan panas. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar.

Fenomena-fenomena yang terjadi pada pembakaran antara lain interaksi proses-proses kimia dan fisika, pelepasan panas yang berasal dari energi ikatan-ikatan kimia, proses perpindahan panas, proses perpindahan massa, dan gerakan fluida. Sehingga kajian pembakaran membutuhkan saling keterkaitan antara ilmu dasar dan turunannya yakni Termodinamika, Mekanika Fluida, Perpindahan Kalor dan Massa, Material, Statistika dan Probabilitas.

Pembakaran menghasilkan panas sehingga disebut sebagai proses oksidasi eksotermis. Jika oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran diperoleh dari udara kering, di mana udara kering terdiri dari 21% oksigen dan 78% nitrogen.

Pada temperatur yang sangat tinggi gas-gas pecah atau terdisosiasi menjadi gas-gas yang tak sederhana, dan molekul-molekul dari gas dasar akan terpecah menjadi atom-atom yang membutuhkan panas dan menyebabkan kenaikan temperatur. Reaksi akan bersifat endotermik dan disosiasi tergantung pada temperatur dan waktu kontak.

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

- a. Pencampuran udara dan bahan dengan baik
- b. Kebutuhan udara untuk proses pembakaran
- c. Suhu pembakaran

- d. Lamanya waktu pembakaran yang berhubungan dengan laju pembakaran
- e. 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 energi dalam pembakaran dan meningkatnya emisi NO_x.

Tingkat kesempurnaan pembakaran di pengaruhi oleh beberapa variable berikut :

a. Temperatur

Temperatur yang digunakan untuk pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia

b. Turbulensi

Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik antara bahan bakar dan pengoksidasi

c. *Time*

Waktu harus cukup agar *input* panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia.

2.1.2 Klasifikasi Nyala

Nyala api sebagai hasil pembakaran dapat diklasifikasikan berdasarkan aspek yang berbeda. Berdasarkan kondisi oksidator dan bahan bakar mencapai daerah reaksi nyala maka nyala dapat diklasifikasikan menjadi nyala *non premix*, *partially premix* dan *fully premix*. Berdasarkan kondisi daerah reaksi, nyala dapat diklasifikasikan menjadi *well stirred reactor* (WSR) dan *plug flow reactor*. Sedangkan berdasarkan karakteristik aliran reaktan yang masuk, dapat diklasifikasikan menjadi nyala laminar dan nyala turbulen

Dalam suatu pembakaran premix perbandingan campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang penting dalam menentukan hasil proses pembakaran.

Rasio campuran bahan bakar dan udara dapat dinyatakan dalam beberapa parameter yang lazim antara lain *AFR* (*Air Fuel Ratio*), *FAR* (*Fuel Air Ratio*), dan Rasio Ekivalen (ϕ).

1. Rasio Udara-Bahan Bakar (*Air Fuel Ratio/AFR*)

Rasio ini merupakan parameter yang paling sering digunakan dalam mendefinisikan campuran dan merupakan perbandingan antara massa dari udara dengan bahan bakar pada suatu titik tinjau.

Jika nilai aktual lebih besar dari nilai *AFR*, maka terdapat udara yang jumlahnya lebih banyak daripada yang dibutuhkan sistem dalam proses pembakaran dan dikatakan miskin bahan bakar dan jika nilai aktual lebih kecil dari *AFR* stoikiometrik maka tidak cukup terdapat udara pada sistem dan dikatakan kaya bahan bakar.

2. Rasio Bahan Bakar-Udara (*Fuel Air Ratio/FAR*)

AFR dan *FAR* dapat juga dinyatakan dalam perbandingan volume. Untuk bahan bakar gas perbandingan volume lebih sering dipergunakan karena sebanding dengan perbandingan jumlah mol.

3. Rasio Ekivalen (*Equivalent Ratio, ϕ*)

Rasio ini termasuk juga rasio yang umum digunakan. Rasio ekivalen didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara-bahan bakar (*AFR*) stoikiometrik dengan rasio udara-bahan bakar (*AFR*) aktual atau juga sebagai perbandingan antara rasio bahan bakar-udara (*FAR*) aktual dengan rasio bahan bakar-udara (*FAR*) stoikiometrik.

4. Rasio Campuran (*Mixture Ratio, f*)

Rasio campuran adalah perbandingan antara fraksi massa bahan bakar yang terbakar dengan fraksi massa bahan bakar awal. Rasio campuran berbeda dengan fraksi massa bahan bakar maupun rasio bahan bakar dan udara. Istilah ini mulai dipergunakan seiring dengan perkembangan penyelesaian masalah pembakaran dengan metode numerik. Rasio campuran memudahkan penyelesaian persamaan differensial maupun integral dari sisi kondisi batas yakni pada daerah bahan bakar maka fraksi massa oksigen adalah 0 sebaliknya fraksi bahan bakar pada kondisi masukan adalah 1.

2.1.3 Panjang Nyala Api

Sebagian besar penelitian tentang panjang nyala api adalah untuk mengidentifikasi bilangan tanpa dimensi yang paling berpengaruh terhadap panjang nyala api. Bilangan Froude, bilangan Richardson, perbandingan momentum, perbandingan temperatur adalah kelompok bilangan tanpa dimensi yang digunakan pada penentuan panjang nyala api difusi.

Perbedaan persamaan panjang nyala api yang diperoleh sebagian besar disebabkan oleh perbedaan metode pengukurannya. Kalghatgi menggunakan kamera dengan kecepatan 1/30 detik dan tiga kali pengambilan gambar untuk menghitung panjang nyala rata-ratanya. Sugawa dan Sakai mengukur panjang nyala api menggunakan kamera video dan rata-rata panjang nyala dari sembilan pengambilan gambar. Faktor lain yang mempengaruhi perbedaan hasil pengukuran adalah faktor ketahanan retina mata pengamat. Salah satu metode untuk mengatasi hal ini adalah metode yang ditawarkan oleh Hawthorne dkk adalah konsep panjang nyala api kimiawi. Panjang nyala api kimiawi adalah jarak sampai ujung api dimana fraksi mol bahan bakar mencapai 0,0005 pada sumbu nyala api.

Persamaan panjang nyala api difusi ini diperoleh dari hasil penelitian pembakaran propana dan juga pembakaran metana dengan panjang nyala api yang mencapai hampir 8 meter.

2.2 Burner

2.2.1 Jenis-jenis *burner*

Berdasarkan dari jenis bahan bakar yang digunakan, burner diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

1. Burner untuk bahan- bakar cair

Burner dengan berbahan bakar cair mempunyai permasalahan khusus yaitu proses mixing antara bahan-bakar cair dan udara. Untuk memperbaiki pencampuran bahan-bakar udara, proses pengkabutan harus menjamin terjadi atomisasi yang bagus dari bahan-bakar sehingga udara dapat berdifusi dengan mudah masuk ke bahan bakar. Dari proses tersebut akan tercapai campuran

yang lebih homogen. Proses pembakaran akan berlangsung menjadi lebih sempurna.

2. Burner dengan bahan bakar gas

Proses pembakaran bahan bakar gas tidak memerlukan proses pengkabutan atau atomisasi, bahan bakar langsung berdifusi dengan udara.

3. Burner untuk bakar padat

Bahan bakar padat merupakan bahan bakar yang sangat belimpah di alam. Bahan bakar ini harus melalui proses yang lebih rumit daripada jenis bahan-bakar lainnya untuk terbakar. Bahan bakar padat mengandung air, zat terbang, arang karbon dan abu. Air dan gas terbang yang mudah terbakar harus diuapkan dulu melalui proses pemanasan, sebelum arang karbon terbakar. Bahan bakar padat banyak dipakai sebagai sumber energi pada mesin tenaga uap. Bahan-bakar tersebut dibakar di furnace dengan stoker atau dengan burner

Ada empat jenis pembakar yang digunakan untuk pembakaran bahan bakar bubuk:

a. Panjang-api atau U-api atau Streaming burner berjajar

Panjang-api atau api-U atau Streaming berjajar burner susunan api panjang. Burner ditempatkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan panjang api berbentuk U. Burner menyuntikkan campuran udara primer dan bahan bakar secara vertikal ke bawah tanpa turbulensi dan menghasilkan api yang panjang. Udara panas sekunder diberikan pada sudut kanan api yang menyediakan turbulensi yang diperlukan dan pencampuran untuk pembakaran yang tepat dan cepat. Udara tersier disuplai sekitar burner untuk pencampuran yang lebih baik dari bahan bakar dengan udara. Dalam burner ini karena perjalanan panjang api, batubara dengan volatile yang tinggi dapat dibakar dengan mudah. Kecepatan dari campuran bahan baku-udara pada ujung burner sekitar 25 m/s.

b. Api pendek atau Turbulen Burner

Pembakar ini biasanya dibangun ke dinding tungku, sehingga api diproyeksikan horizontal ke dalam tungku. Udara primer dan campuran bahan bakar dikombinasikan dengan udara sekunder di pinggiran burner, sebelum

masuk ke dalam tungku. burner ini memberikan sebuah campuran turbulen yang membakar dengan cepat dan pembakaran selesai dalam jarak pendek. Oleh karena itu, tingkat pembakaran yang tinggi. Kecepatan campuran pada ujung burner adalah 50 m/s. Dalam pembakar tersebut, batubara bituminous dapat dibakar dengan mudah.

c. Burners tangensial

Pembakar ini dibangun ke dalam dinding tungku di sudut-sudut. Burner ini menyuntikkan campuran udara-bahan bakar tangensial ke lingkaran imajiner di pusat tungku. Sebagai api mencegat, itu mengarah ke tindakan berputar-putar. Ini menghasilkan turbulensi yang cukup di perapian untuk pembakaran sempurna. Oleh karena itu dalam pembakar tersebut, tidak ada kebutuhan untuk menghasilkan turbulensi yang tinggi dalam pembakar. pembakar tangensial memberikan tarif rilis cepat panas dan tinggi.

d. Topan Burner

Burner ini membakar partikel batubara di suspensi, sehingga menghindari masalah fly-ash, yang umum di jenis-jenis pembakar. Burner ini yang umum di jenis-jenis pembakar. Burner ini menggunakan batubara hancur (tentang 5 sampai 6 mm) bukan batubara bubuk. Burner ini dengan mudah dapat membakar batubara kelas rendah dengan abu yang tinggi dan kadar air. Juga, burner ini dapat membakar biofuel seperti sekam padi.

Siklon burner terdiri dari silinder horizontal sekitar diameter 3 m dan sekitar 4 m panjang. Dinding silinder air didinginkan, sedangkan permukaan dalam dilapisi dengan bijih krom. Sumbu horizontal burner sedikit cenderung ke arah boiler. Batubara yang digunakan dalam siklon burner dihancurkan sekitar 6 ukuran mm. Batubara dan udara utama (sekitar 25% dari pembakaran atau udara sekunder) yang tangensial ke dalam silinder sehingga menghasilkan gerakan sentrifugal yang kuat dan turbulensi pada partikel batubara. Campuran udara dan bahan bakar utama mengalir sentrifugal sepanjang dinding silinder menuju tungku. Dari atas kompor, udara sekunder juga tangensial, dengan kecepatan tinggi (sekitar 100 m/s). Kecepatan tinggi udara sekunder menyebabkan peningkatan lebih lanjut dalam gerak sentrifugal, yang mengarah ke gerakan

berputar yang sangat bergolak campuran udara batubara. udara tersier (sekitar 5 sampai 10% dari udara sekunder) diakui, aksial di pusat seperti yang ditunjukkan pada gambar, sehingga untuk memindahkan campuran udara batubara turbulen terhadap tungku. batubara dibakar benar-benar dalam burner dan hanya gas panas masuk tungku. pembakar seperti memproduksi panas tinggi dan suhu (sekitar 1000 ° C). Karena pembakaran suhu tinggi, abu mencair dalam bentuk terak, dan dikeringkan secara periodik di bagian bawah.

2.3 Pulverizer Coal Burner

Pada *Pulverizer Coal Burner*, bahan bakar padat akan dihancurkan lebih dahulu dengan alat *pulvizer* atau *cruser* sampai ukuran tertentu sebelum dicampur dengan udara. Selanjutnya campuran serbuk batubara dan udara diberi tekanan kemudian didorong menggunakan blower. Proses pembakaran dibantu dengan penyalaan dengan bahan bakar gas atau cair untuk menguapkan air dan zat terbang. Udara tambahan diperlukan untuk membantu proses pembakaran sehingga lebih efisien.

1. Coal Pulverizer (Mill).

Coal pulveizer berfungsi untuk menggerus batu bara yang di suplai dari coal feeder dengan kehalusan 200 mesh (yang akan di saring oleh clasifier di dalam mill) dan selanjutnya serbuk batu bara tersebut di transportasikan dengan bantuan udara primer. Untuk material batu bara yang kehalusanya kurang dari 200 mesh atau tidak dapat tergerus dan material berupa batu, besi kayu, akan dibuang melalui reject hopper yang akan di bersihkan oleh scrapper. Di dalam mill sendiri terdapat grinding roll untuk menggerus batu bara yang sudah terumpan dalam sebuah bowl berputar yang di gerakkan oleh motor listrik dengan daya 600kW.

2. Coal Pipe.

Pulverizer (bubuk batubara) hasil penggilingan di dalam Mill dihembuskan dengan udara panas dari primary air sistem melalui coal pipe ini. Didalam sepanjang coal pipe ini juga dilapisi semacam keramik, hal ini bertujuan mengurangi faktor gesekan antara dinding pipa dan serbuk batu bara secara

langsung sehingga sangat berpotensi menimbulkan kebakaran dalam line coal pipe tersebut selain itu pemasangan keramik di dalam coal pipe juga untuk memperlancar aliran batu bara karna koefisien gesekan semakin kecil.

3. Coal Nozzle.

Fungsi dari coal nozzle adalah mencampur udara sekunder dengan batubara dan udara primer yang kemudian akan dilakukan pembakaran di dalam ruang bakar. Arah coal nozzle bisa digerakkan 30^0 ke bawah dan 30^0 ke atas oleh tilting untuk pengaturan temperature serta pressure main steam agar tercapai sesuai set poin. Bila coal nozzle ini mengalami kerusakan maka proses pencampuran ini akan kurang sempurna sehingga pembakaran kurang bagus.

Keunggulan *Pulverize Coal Burner (PCB)* diantaranya adalah :

1. Mudah dalam pengoperasian

Unit ini dilengkapi dengan main kontroller sehingga proses pembakaran yang terjadi disesuaikan dengan keperluan. Masuknya batu bara ke dalam unit *Combustion Chamber* diatur oleh main kontroller.

2. Pembakaran sempurna

Ukuran batu bara yang masuk dalam ruang bakar 0 – 0.08 mm memungkinkan batu bara untuk langsung terbakar saat melalui temperatur yang tinggi di dalam combustion chamber ($\pm 600^{\circ}\text{C}$).

3. Tidak ada batubara yang terbuang

Karena proses pembakaran yang sempurna dalam *combustion chamber*, maka semua batubara akan habis terbakar.

4. Pemeliharaan mudah

5. Limbah ramah lingkungan

Abu batubara dari sisa pembakaran yang keluar melalui unit *dryer* akan ditangkap oleh *dust collector*.

6. Pemanasan awal yang singkat

Di dalam combustion chamber bata tahan api akan menyimpan panas yang cukup tinggi, sehingga bila pengoperasian unit dryer mengalami jeda waktu < 5 jam maka untuk pemanasan awal hanya $< \frac{1}{2}$ jam, bila berhenti produksi waktu yang diperlukan < 2 jam.

7. Hemat bahan bakar

Harga bahan bakar batu bara yang relatif murah dan cenderung stabil dibandingkan dengan penggunaan BBM maka unit ini memberikan keuntungan materi yang sangat tinggi.

2.4 Batubara

2.4.1 Sebagai bahan bakar

Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hydrogen dan oksigen. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti $C_{137}H_{97}O_9NS$ untuk bituminus dan $C_{240}H_{90}O_4NS$ untuk antrasit.

2.4.2 Kelas dan Jenis-jenis Batubara

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batubara umumnya dibagi dalam lima kelas: antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut.

- a. Antrasit adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur Karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
- b. Bituminous mengandung 68 - 86% unsur Karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Indonesia, tersebar di pulau sumatera, kalimantan dan sulawesi.
- c. Sub-bituminus mengandung sedikit Karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
- d. Lignit atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
- e. Gambut, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

2.4.3 Kualitas Batubara

Batubara yang diperoleh dari penambangan pasti mengandung pengotor (impurities). Penambangan dalam jumlah besar selalu menggunakan alat-alat berat seperti bulldozer, backhoe, tractor, dan lainnya.

Adapun impurities terbagi menjadi dua jenis yaitu :

1. Inherent Impurities

Merupakan pengotor bawaan yang terdapat pada batubara. Batubara yang sudah dicuci (washing) yang di kecilkan ukuran butirannya (crushing) kemudian dibakar dan menyisakan abu. Pengotor ini merupakan pengotor bawaan pada saat pembentukan batubara, pengotor tersebut dapat berupa gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrit (CaSO_4), pirit (FeS_2), silika (SiO_2) dapat pula berbentuk tulang-tulang binatang (diketahui dari senyawa-senyawa fosfor dari analisis abu). Pengotor bawaan ini tidak mungkin dihilangkan sama sekali, tetapi dapat dikurangi dengan cara pembersihan. Proses ini dikenal dengan teknologi batubara bersih.

2. External impurities

Merupakan pengotor yang berasal dari luar, timbul pada saat proses penambangan. Dalam menentukan mutu atau kualitas batubara perlu diperhatikan beberapa hal :

a. Calorific Value / Nilai kalor

Dinyatakan dengan kkal/Kg, banyaknya jumlah kalori yang dihasilkan batubara tiap satuan berat (dalam kilogram).

b. Moisture Content (kandungan lengas / air)

Batubara dengan jumlah lengas tinggi akan memerlukan lebih banyak udara primer untuk mengeringkan batubara tersebut agar suhu batubara pada saat keluar dari gilingan tetap, sehingga hasilnya memiliki kualitas yang terjamin. Jenis air sulit untuk dilepaskan tetapi dapat dikurangi, dengan cara memperkecil ukuran butir batubara (Wahyudiono, 2006).

c. Ash Content (Kandungan abu)

Komposisi batubara bersifat heterogen, apabila batubara dibakar maka senyawa organik yang ada akan di ubah menjadi senyawa oksida yang

berukuran butiran dalam bentuk abu. Abu dari sisa pembakaran inilah yang dikenal sebagai ash content. Abu ini merupakan kumpulan dari bahan – bahan pembentuk batubara yang tidak dapat terbakar, atau yang di oksidasi oleh oksigen . Bahan sisa dalam bentuk padatan ini antara lain senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Mn_3O_4 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , SO_3 dan oksida unsur lainnya.

d. Sulfur Content (kandungan belerang)

Belerang yang terdapat pada batubara dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, dalam senyawa anorganik dapat dijumpai dalam bentuk mineral pirit (FeS_2 bentuk kristal kubus) , markasit (FeS_2 bentuk kristal orthorombik) atau dalam bentuk sulfat. Sedangkan belerang organik terbentuk selama terjadinya proses coalification .

e. Volatile matter (bahan mudah menguap)

Kandungan Volatile matter mempengaruhi kesempurnaan pembakaran dan intensitas nyala api.

f. Fixed Carbon

Didefinisikan sebagai material yang tersisa , setelah berkurangnya moisture , volatile matter dan ash. Hubungan ketiganya sebagai berikut:

$$\text{Fixed Carbon (\%)} = 100\% - \text{Moisture Content} - \text{Ash Content}$$

$$\text{Fixed Carbon} = 100 - \text{Volatile Matter (\%)}$$

g. Hardgrove Grindability Index (HGI)

Suatu bilangan yang menunjukkan mudah atau sukarnya batubara di giling atau di gerus menjadi bentuk serbuk. Butiran paling halus < 3 mm sedangkan yang paling kasar sampai 50 mm.

h. Ash Fusion Character of coal

Kualitas batubara adalah sifat fisika dan kimia dari batubara yang mempengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara ditentukan oleh maseral dan mineral matter penyusunnya, serta oleh derajat coalification (rank).

Tabel 1. Nilai kalor dari kelas-kelas batubara

No.	Jenis Batubara	Nilai Kalor kcal/kg
1	Lignite	2012-5230
2	Bituminus Coal	5671
3	Antracite	7183-7600

(Sumber : Hendra Yudi Saputra, 2015)

2.4.4 Emisi pembakaran batubara

Polutan-polutan penting yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara antara lain adalah SO_2 , NO_x , CO, dan material partikulat. Selain itu ada bahan polutan lain yang disebut udara beracun. Udara beracun adalah polutan yang sangat berbahaya meskipun jumlahnya hanya sedikit dihasilkan oleh pembakaran batubara.

1. Sulfur Dioksida (SO_2)

Batubara memiliki kandungan sulfur yang dapat mencapai 10% dalam fraksi berat. Namun rata-rata kandungan sulfur di dalam batubara berada di kisaran 1-4% tergantung dari jenis batubara tersebut. Proses pembakaran batubara menyebabkan sulfur tersebut terbakar dan menghasilkan gas sulfur dioksida (SO_2) dan sebagian kecil menjadi sulfur trioksida (SO_3).

Secara langsung, sulfur oksida dapat menyebabkan iritasi pada alat pernapasan manusia, mengurangi jarak pandang kita, sekresi mukus berlebihan, sesak napas, dan lebih lanjut dapat menyebabkan kematian. Reaksi sulfur oksida dengan kelembaban ataupun hujan, dapat menimbulkan hujan asam yang sangat berbahaya bagi tanaman, hewan terutama hewan air, serta sifatnya yang korosif dapat merusak infrastruktur-infrastruktur yang ada.

2. Sulfur Trioksida (SO_3)

Sebagian kecil sulfur dioksida yang terbentuk pada pembakaran batubara, terkonversi menjadi sulfur trioksida (SO_3). Rata-rata SO_3 terbentuk sebanyak 1% dari total gas buang pembakaran. Satu sistem pada boiler yang berfungsi untuk mengontrol gas buang NO_x , memiliki efek samping meningkatkan pembentukan SO_3 dari 0,5% sampai 2%. SO_3 sangat mudah bereaksi dengan

air untuk membentuk asam sulfat (H_2SO_4) pada temperatur gas buang di bawah $260^\circ C$. Seperti yang Anda ketahui bahwa asam sulfat bersifat amat sangat korosif dan berbahaya.

SO_3 memiliki sifat higroskopis yang sangat agresif. Higroskopis adalah sebuah sifat untuk menyerap kelembaban dari lingkungan sekitarnya. Sebagai gambaran untuk Anda, SO_3 yang mengenai kayu ataupun bahan katun dapat menyebabkan api seketika itu juga. Kasus ini terjadi karena SO_3 mendehidrasikan karbohidrat yang ada pada benda-benda tersebut. Polutan ini juga sangat jelas berbahaya bagi manusia, karena apabila terkena kulit, kulit tersebut akan seketika mengalami luka bakar yang serius. Atas dasar inilah polutan SO_3 harus ditangani dengan sangat serius agar tidak mencemari lingkungan sekitar.

3. Nitrogen Oksida (NO_x)

Nitrogen Oksida yang dihasilkan oleh pembakaran batubara biasa disebut dengan NO_x . NO_x meliputi semua jenis senyawa yang tersusun atas atom nitrogen dan oksigen. Nitrat oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2) menjadi penyusun utama dari polutan ini. NO , yang paling banyak jumlahnya, terbentuk pada pembakaran bertemperatur tinggi hingga dapat mereaksikan nitrogen yang terkandung pada bahan bakar dan/atau udara, dengan oksigen. Jumlah dari NO_x yang terbentuk tergantung atas jumlah dari nitrogen dan oksigen yang tersedia, temperatur pembakaran, intensitas pencampuran, serta waktu reaksinya.

Bahaya polutan NO_x yang paling besar berasal dari NO_2 , yang terbentuk dari reaksi NO dengan oksigen. Gas NO_2 dapat menyerap spektrum cahaya sehingga dapat mengurangi jarak pandang manusia. Selain itu NO_x dapat mengakibatkan hujan asam, gangguan pernapasan manusia, korosi pada material, pembentukan *smog* dan kerusakan tumbuhan.

4. Karbon Monoksida (CO)

Gas yang tidak berwarna dan juga tidak berbau ini terbentuk dari proses pembakaran yang tidak sempurna. Karbon monoksida (CO) dihasilkan dari proses pembakaran batubara di boiler dalam jumlah yang relatif sangat kecil.

Bahaya paling besar yang diakibatkan oleh CO adalah pada kesehatan manusia dan juga hewan. Jika gas CO terhirup, ia akan lebih mudah terikat oleh hemoglobin darah daripada oksigen. Hal ini menyebabkan tubuh akan kekurangan gas O₂, dan jika jumlah CO terlalu banyak akan dapat menyebabkan penurunan kemampuan motorik tubuh, kondisi psikologis menjadi stress, dan paling parah adalah kematian.

5. Abu (*Fly Ash*)

Hasil pembakaran batubara di boiler juga menghasilkan partikel-partikel abu dengan ukuran antara 1 hingga 100 µm. Abu tersebut mudah terlihat oleh mata kita, bahkan dapat mengganggu jarak pandang jika tersebar di udara bebas. Selain itu *fly ash* sangat berbahaya jika sampai terhirup oleh manusia, karena ia dapat melukai bagian-bagian penting sistem pernapasan.

Fly ash tersusun atas beberapa senyawa padat, diantaranya adalah SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, dan CaO. Di samping itu, *fly ash* juga mengandung logam-logam berat dan partikel-partikel lain yang sangat beracun bagi manusia jika berada dalam jumlah yang cukup. Racun-racun tersebut berasal dari batubara, diantaranya adalah arsenik, berilium, cadmium, barium, chromium, tembaga, timbal, mercury, molybdenum, nikel, radium, selenium, thorium, uranium, vanadium, dan seng.

Komposisi antara abu terbang dan abu dasar tergantung sistem pembakarannya. Dalam tungku pulverized coal sistem basah antara 45-55 %, dan tungku underfeed stoker 30-80 % dari total abu batubara. Abu terbang ditangkap dengan Electric Precipitator sebelum dibuang ke udara melalui cerobong.

6. Karbon dioksida (CO₂)

Dalam pembakaran bahan bakar fosil seperti batubara, tujuan utamanya adalah semaksimal mungkin mengkonversikan unsur utama dalam batubara yakni C (karbon) menjadi CO₂ sehingga dihasilkan energi yang tinggi. Dikarenakan batubara mengandung kadar karbon paling tinggi dibanding bahan bakar fosil lainnya seperti minyak dan gas, maka pembakaran batubara dianggap merupakan sumber emisi CO₂ terbesar. (Onny, 2015)

2.4.6 Penanganan polutan

Terdapat 3 metode untuk mengendalikan pencemaran udara yang terdiri dari :

1. Input atau preventive control (pengendalian di input)

Mencegah atau mengurangi terbentuknya polutan, contoh metode yang digunakan:

- a. Mengurangi atau mencegah terbentuknya polutan yang masuk ke dalam atmosfer. Contohnya adalah dengan melakukan konservasi tanah.
- b. Pemilihan bahan baku sehingga mengurangi polutan, contohnya adalah penggunaan gas alam.
- c. Mengganti polutan sebelum masuk ke proses produksi, contohnya adalah mengganti sulfur yang berasal dari batu bara dengan minyak.

2. Throughput control (pengendalian proses)

Mengurang sebagian kecil polutan dalam proses produksi dengan cara mengubah proses produksi, contoh metode yang digunakan:

- a. Menurunkan jumlah produksi dan pemakainnya.
- b. Merubah atau mengganti proses sehingga mengurangi polutan.
- c. Membuat proses yang lebih efisien sehingga energi dan polutan yang dikeluarkan berkurang.

3. Output Control (Pengendalian pada output)

Memisahkan polutan setelah produksi pada waktu polutan sebelum atau sesudah masuk ke dalam atmosfer, metode yang digunakan adalah:

- a. Memisahkan atau mendilusi polutan pada emisi, contoh dengan menggunakan pipa pembuangan, cerobong asap, saluran pembuangan limbah.
- b. Mengubah polutan menjadi bentuk yang lebih aman (mengubah methyl mercury menjadi bentuk mercury)
- c. Memilih tempat dan waktu untuk membuang polutan sehingga meminimalkan kerusakan, contohnya: penggunaan cerobong asap yang tinggi, karena pada ketinggian tertentu polutan yang terdispersi akan lebih efektif).

2.4.7 Pengendalian Polutan

1. Pengendalian SO_x

Sumber bergerak

- a. Merawat mesin kendaraan bermotor agar tetap berfungsi baik
- b. Melakukan pengujian emisi dan KIR kendaraan secara berkala
- c. Memasang filter pada knalpot

Sumber tidak bergerak

- a. Memasang scrubber pada cerobong asap.
- b. Merawat mesin industri agar tetap baik dan lakukan pengujian secara berkala.
- c. Menggunakan bahan bakar minyak atau batu bara dengan kadar Sulfur rendah.

2. Pengendalian NO_x

Sumber bergerak

- a. Merawat mesin kendaraan bermotor agar tetap baik.
- b. Melakukan pengujian emisi dan KIR kendaraan secara berkala.
- c. Memasang filter pada knalpot.

Sumber tidak bergerak

- a. Mengganti peralatan yang rusak.
- b. Memasang scrubber pada cerobong asap.
- c. Memodifikasi pada proses pembakaran.
- d. Exhaust Gas Recirculation (EGR)

Merupakan suatu teknik untuk mengatur konsentrasi NO dalam gas buang kendaraan bermotor dengan cara menurunkan konsentrasi NO atau dengan menurunkan temperatur siklus puncaknya.

2.5 Blower

Pengertian Blower adalah mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan tertentu juga sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu. Bila untuk keperluan khusus, blower kadang – kadang diberi nama lain

misalnya untuk keperluan gas dari dalam oven kokas disebut dengan nama *exhoute*.

Blower sentrifugal terlihat lebih seperti pompa sentrifugal daripada fan. Impelernya digerakan oleh gir dan berputar 15.000 rpm. Pada blower multi – tahap, udara dipercepat setiap melewati impeler. Pada blower tahap tunggal, udara tidak mengalami banyak belokan, sehingga lebih efisien. Blower sentrifugal beroperasi melawan tekanan 0,35 sampai 0,70 kg/cm², namun dapat mencapai tekanan yang lebih tinggi. Satu karakteristiknya adalah bahwa aliran udara cenderung turun secara drastis begitu tekanan sistim meningkat, yang dapat merupakan kerugian pada sistim pengangkutan bahan yang tergantung pada volume udara yang mantap. Oleh karena itu, alat inisering digunakan untuk penerapan sistim yang cenderung tidak terjadi penyumbatan.