

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Pembakaran

Pengertian Pembakaran secara umum yaitu terjadinya oksidasi cepat dari bahan bakar disertai dengan produksi panas, dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi jika ada pasokan oksigen yang cukup. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah karbon, hydrogen dan sulfur. Tujuan dari pembakaran yang sempurna adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar.

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 CO₂, sedangkan pembakaran habis adalah proses pembakaran yang terjadi jika bahan bakar terbakar habis adalah proses pembakaran yang tidak semuanya menjadi CO₂. (Abdullah et,al.,1998 dalam Arif Budiman, 2001)

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 NOx. 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.

2.1.1 Kebutuhan Udara-Bahan Bakar

Jumlah udara yang dibutuhkan dapat didekati melalui perbandingan kebutuhan udara dan bahan bakar dalam reaksi pembakaran dan melalui pendekatan kandungan karbon dan hydrogen dalam bahan bakar. Untuk pembakaran tuntas dengan jumlah udara teoritis, produk yang dihasilkan terdiri dari karbon dioksida, udara, sulfur dioksida, nitrogen yang menyertai oksigen di dalam udara, dan setiap nitrogen yang terkandung di dalam bahan bakar. Oksigen bebas tidak akan muncul sebagai salah satu produk pembakaran. Jumlah udara actual yang disuplai biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase udara teoritis (Moran, Michael J.,1988).

Proporsi oksigen dan nitrogen dapat diatur dalam udara baik dalam satuan volume maupun dalam satuan berat. Dalam bentuk persentase, proporsinya adalah:

Berdasarkan berat : Oksigen = 23,2% ; Nitrogen = 76,8%

Berdasarkan volume : Oksigen = 21% ; Nitrogen = 79%

2.1.2 Teknologi Pembakaran Batubara

Proses pembakaran batubara akan berlangsung dengan baik jika tersedia udara dalam jumlah yang cukup. Proses pembakaran dimulai dari terjadinya oksidasi pada fase uap dan penyalaan volatile matter (zat terbang) yang terlepas

dari batubara yang selanjutnya menyebabkan menyalanya residu bahan padat (residual char). Tahap penyalan volatile matter menyebabkan kestabilan flame (nyala) dan temperatur sehingga residu padat bisa menyalanya, sementara pada penyalan residu padat terjadi mekanisme reaksi-reaksi yang kompleks yang selanjutnya menghasilkan panas pembakaran.

Batubara dapat dibakar dengan tiga cara yaitu :

1. Pembakaran unggun tetap (fixed bed)
2. Pembakaran unggun terfluidisasi (fluidized bed)
3. Entrained bed

a. Pembakaran Unggun Tetap

Ada tiga pola dasar pengumpanan batubara dan udara yang telah dikembangkan:

1. Overfeed

Pada pola pengumpanan overfeed, aliran batubara dan udara saling berlawanan (countercurrent). Bahan bakar diumpankan dari atas unggun (bed) dan mengalir ke bawah sambil dikonsumsi, sementara udara mengalir dari atas melewati lapisan abu, kokas dan batubara baru. Batubara baru yang telah diumpankan dipanaskan lewat kontak dengan batubara yang sudah terbakar yang ada dibawahnya dan juga oleh gas-gas pembakaran yang mengalir berlawanan arah. Produk-produk sisa pembakaran yang dihasilkan selanjutnya turun ke bawah sampai berbatasan dengan grate dan secara periodik produk sisa pembakaran ini dikeluarkan dengan cara dumping, shaking dan vibrating dari grate atau pada beberapa stoker dengan cara grate berjalan secara kontinyu.

2. Underfeed

Pada pola pengumpanan underfeed, aliran batubara dan udara terjadi secara paralel dan biasanya mengalir ke atas. Volatile matter, air, dan udara pembakaran mengalir melalui lapisan bahan bakar yang terbakar. Tipe ini menghasilkan lebih sedikit asap selama pengumpanan dan pengoperasian beban yang rendah.

3. Crossfeed

Pola pengumpanan crossfeed merupakan pola pengumpanan udara dan bahan bakar yang banyak diterapkan. Dalam hal ini batubara sebagai bahan bakar bergerak secara horizontal, sementara udara bergerak dari bawah ke atas dengan sudut yang tepat. Pola pembakaran ini terdiri dari stoker yang dilengkapi dengan hopper untuk tempat pengumpanan, chain grate, travelling grate dan vibrating, reciprocating atau oscillating grate.

b. Pulverized Coal Combustion

Secara praktis, batubara diumpukan bersama sebagian udara pembakaran. Udara yang dimasukkan di bagi dua yaitu udara primer dan udara sekunder. Udara primer dimasukkan bersama-sama dengan batubara sementara udara sekunder dimasukkan secara terpisah dari udara primer melewati dua pipa konsentrik ke dalam boiler atau tanur. Pada umumnya udara primer bersama batubara dimasukkan lewat pipa ditengah, sementara udara sekunder dimasukkan lewat annulus.

Metode pembakaran pulverized coal hampir tidak tergantung pada karakteristik batubara. Secara umum hampir semua batubara dapat digunakan dengan sistem ini dengan sistem yang tepat.

2.1.3 Beban Pembakaran (*Burning Load*)

Beban pembakaran adalah perbandingan antara laju aliran gas yang dikalikan nilai kalornya dengan luas penampang tabung pembakar (*barrel*):

$$\text{Burning Load (BL)} = \frac{Q_f \times \rho_f \times LHV}{A_b} \quad (1.1)$$

Dimana	Q_f	= kapasitas aliran gas (m^3/s)
	ρ_f	= densitas bahan bakar (kg/m^3)
	LHV	= <i>lower heating value</i> bahan bakar (MJ/kg)
	A_b	= luas penampang barrel (m^2)

a. Pembakaran Premix

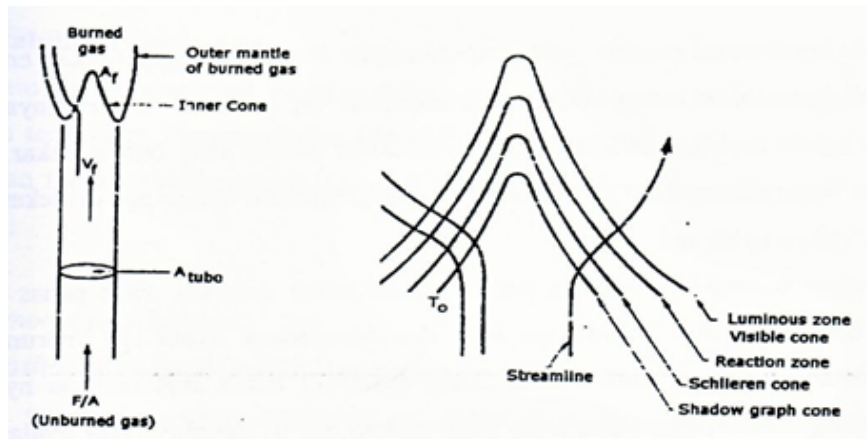
Pembakaran dapat dilakukan secara premix maupun secara difusi. Pembakaran secara premix adalah pembakaran dimana bahan bakar (*fuel*) bercampur secara sempurna di dalam *burner* sebelum dialirkan ke mulut *burner* dan mulai dibakar sedangkan proses pembakaran sistem difusi merupakan proses pembakaran yang terjadi dimana bahan bakar yang dialirkan melalui *burner* belum tercampur dengan udara, namun pencampuran tersebut terjadi pada saat di ujung *burner* dan menyala di tempat yang sama. Dalam hal ini pembakaran premix lah yang menjadi topik.

b. Nyala Api Premix (*Premix Flame*)

Pada daerah yang berbentuk kerucut atau segitiga biasa disebut juga *luminous flame* terjadi reaksi dan pelepasan energi panas sebagai entalpi reaksi gas yang terbakar, sedangkan di bawahnya terdapat daerah gelap (*dark zone*), yaitu tempat di mana molekul gas yang belum terbakar berubah alirannya dari arah sejajar sumbu tabung pembakar ke arah luar tegak lurus permukaan batas daerah gelap. Selanjutnya gas yang belum terbakar mendapatkan energi panas sepanjang tebal daerah *Preheating Zone* (η_0) sampai temperatur nyala (*Ignition Temperature* : T_i) tercapai dan kemudian bereaksi secara berulang dengan cepat sepanjang tebal daerah *Reaction Zone* (η_R), diiringi dengan pelepasan energi panas yang lebih besar lagi hingga mencapai temperatur nyala api (*Flame Temperature* : T_f). Warna dari daerah *luminous* biasanya berubah menurut rasio udara-bahan bakar yaitu jika rasio campuran kurus (*lean mixture*) maka warna permukaan kerucut nyala *luminous* adalah ungu, yang menandakan banyaknya dihasilkan CH radikal. Dan jika rasio campuran kaya bahan bakar (*rich mixture*), maka permukaan kerucut nyala *luminous* akan berwarna hijau mendekati kebiruan, yang menandakan banyaknya konsentrasi molekul C_2 .

Nyala api *premix* (*premixed flame*) terdiri atas daerah terang, menunjukkan tempat terjadinya reaksi dan energi panas dilepaskan daerah reaksi (*reaction*

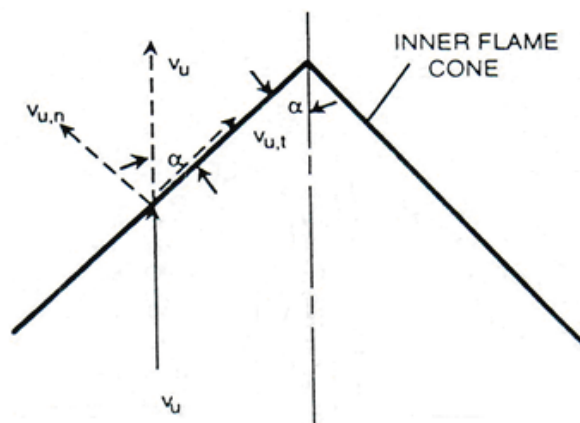
zone) yang mempunyai ketebalan ± 1 mm. Warna terang ini dapat berubah-ubah tergantung rasio udara dan bahan bakar. Daerah Schlieren (*Schlieren zone*) dan daerah gelap (*Dark zone*), merupakan daerah transisi terjadinya perubahan molekul gas menjadi gas yang siap bereaksi pada jarak daerah pemanasan awal (*Preheating zone*).



Gambar 1 Struktur Nyala Api *Premix*

(Sumber : Kenneth K. Kuo, *Principle of Combustion*, Canada)

Gambar diatas menunjukkan secara skematik suatu struktur nyala api yang dihasilkan oleh suatu *Bunsen burner*. Nyala api khas hasil *Bunsen burner* adalah nyala rangkap, yaitu inti nyala *premix* yang kaya akan bahan bakardikelilingi dengan nyala difusi. Bentuk nyala api sangat ditentukan oleh kombinasi pengaruh profil kecepatan perambatan nyala api (*Flame Propagation*) dan pengaruh hilangnya panas ke dinding tabung (*Flame Quenching*).



Gambar 2. Vektor Diagram Kecepatan Nyala Laminar

(Sumber: Stephen R. Turns. *An Introduction to Combustion Concepts and Applications*, Pennsylvania)

c. Laju Nyala Api Laminar

Proses reaksi pembakaran dalam suatu nyala api adalah gabungan dari reaksi kimia, perpindahan panas (konduksi, konveksi, dan radiasi), perpindahan massa dan momentum dengan difusi dan pola aliran sehingga bentuk dan ukuran nyala sangat dipengaruhi oleh tahapan proses yang terjadi, sehingga bentuk nyala api dimensi satu dibagi menjadi empat daerah tahapan proses yaitu:

1. Daerah gas yang belum terbakar (*Unburned gas zone*)
2. Daerah pemanasan awal (*Preheating zone*)
3. Daerah reaksi (*Reaction zone*)
4. Daerah gas terbakar (*Burned gas*)

Gas *premix* yang akan berubah menjadi nyala *premix* memiliki kesamaan pada kecepatan, temperatur, dan konsentrasi dengan bentuk fisik yang tetap dalam daerah gas yang belum terbakar (*unburned gas zone*). Dalam daerah *preheating* temperatur naik akibat konduksi energi panas dan pada daerah ini gas *premix* menerima energi panas lebih besar dibandingkan daerah lain.

Daerah reaksi dibagi menjadi dua daerah yaitu:

- a. Daerah reaksi primer, di mana sebagian besar hidrokarbon bereaksi, akibatnya laju reaksi dan temperatur naik secara cepat.

b. Daerah setelah pembakaran (*after-burning region*), di mana terjadi perubahan bentuk produk pertengahan seperti CO dan H₂ menjadi CO₂ dan H₂O dengan laju reaksi lebih lambat dan kenaikan temperatur yang rendah.

2.1.4 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.

Sedangkan penelitian tentang panjang nyala api premix masih agak jarang, salah satunya adalah yang dilakukan oleh Rokke. Penelitian oleh Rokke menggunakan propana dengan fraksi massa propana antara 0,15 sampai 1,0. Persamaan ini berlaku pada bilangan Froude, $Fr \leq 10^4$. Khusus tentang metode pengukuran panjang nyala yang terbaru yakni pengukur panjang nyala dengan analisa pencitraan struktur nyala berbasis CFD telah dilakukan dengan mengambil contoh penerapan pada pembakaran difusi dari propana.

Dari hal tersebut menunjukkan bahwa faktor stabilitas internal dari pembakaran mempunyai pengaruh yang dominan terhadap panjang nyala api. Selain itu diffusivitas thermal yang berhubungan dengan laju reaksi juga berperan terhadap panjang nyala api dan kecepatan nyala.

2.1.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Nyala

Faktor dan kimia diketahui dapat mempengaruhi karakteristik nyala, variabel-variabel fisik diantaranya adalah temperatur dan tekanan, sedangkan variabel kimia diantaranya adalah rasio campuran, penambahan *inert* dan struktur hidrokarbon.

Pengaruh komposisi campuran sangat penting bagi kecepatan pembakaran, nyala hanya akan merambat pada konsentrasi campuran tertentu. Konsentrasi bahan bakar minimum dalam campuran yang sudah dapat menyala dinamakan batas nyala terbawah, dan biasanya konsentrasi bahan bakar dan udara dikondisikan pada keadaan standar yaitu campuran stoikiometri. Dengan penambahan konsentrasi bahan bakar pada campuran, maka campuran akan kaya dan oksigen berkurang, kecepatan pembakaran turun dan api akan padam, hal ini jugaberkaitan dengan batas nyala yang dinamakan batas nyala atas.

2.2 Batubara 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.

2.2.1 Materi Pembentuk Batubara

Hampir seluruh pembentuk batu bara berasal dari tumbuhan. Jenis-jenis tumbuhan pembentuk batu bara dan umurnya menurut Diessel (1981) adalah sebagai berikut:

- a. Alga, dari Zaman Pre-kambrium hingga Ordovisium dan bersel tunggal. Sangat sedikit endapan batu bara dari perioda ini.
- b. Silofita, dari Zaman Silur hingga Devon Tengah, merupakan turunan dari alga. Sedikit endapan batu bara dari perioda ini.

- c. Pteridofita, umur Devon Atas hingga Karbon Atas. Materi utama pembentuk batu bara berumur Karbon di Eropa dan Amerika utara. Tetumbuhan tanpa bunga dan biji, berkembang biak dengan spora dan tumbuh di iklim hangat.
- d. Gimnospermae, kurun waktu mulai dari Zaman Permian hingga Kapur Tengah. Tumbuhan heteroseksual, biji terbungkus dalam buah, semisal pinus, mengandung kadar getah (resin) tinggi. Jenis Pteridospermae seperti gangamopteris dan glossopteris adalah penyusun utama batu bara Permian seperti di Australia, India dan Afrika.
- e. Angiospermae, dari Zaman Kapur Atas hingga kini. Jenis tumbuhan modern, buah yang menutupi biji, jantan dan betina dalam satu bunga, kurang bergetah dibanding gimnospermae sehingga, secara umum, kurang dapat terawetkan. (Wahyudiono,2003)

2.2.2 Kelas dan Jenis-jenis Batubara

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara 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.

2.2.3 Kualitas Batubara

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

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 ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), 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 ini yang

dikenal sebagai ash content. Abu ini merupakan kumpulan dari bahan – bahan pembentuk batubara yang tidak dapat terbakar, atau yang dioksidasi 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 .(Krevelen, 1993).

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).

Untuk menentukan jenis batubara, digunakan klasifikasi American Society for Testing and Material (ASTM, 1981, op cit Wood et al., 1983)(Tabel 5.2).Klasifikasi ini dibuat berdasarkan jumlah karbon padat dan nilai kalori dalam

basis dry, mineral matter free (dmmf). Untuk mengubah basis air dried (adb) menjadi dry, mineral matter free (dmmf) maka digunakan Parr Formulas (ASTM, 1981, op cit Wood et al., 1983) : dimana : FC = % karbon padat (adb) VM = % zat terbang (adb) M = % air total (adb) A = % Abu (adb) S = % sulfur (adb) Btu = british thermal unit = 1,8185*CV adb

2.3 Biomassa Sebagai Bahan Bakar

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah sekam padi, serbuk gergaji, cangkang kelapa sawit, jambu mete, dll. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya.

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*). Di Indonesia, biomassa merupakan sumber daya alam yang sangat penting dengan berbagai produk primer sebagai serat, kayu, minyak, bahan pangan dan lain-lain yang selain digunakan untuk memenuhi kebutuhan domestik juga diekspor dan menjadi tulang punggung penghasil devisa negara (*Asian Biomass Handbook*, 2008).

2.3.1 Sekam Padi

Sekam adalah bagian dari bulir padi-padian berupa lembaran yang kering, bersisik, dan tidak dapat dimakan, yang melindungi bagian dalam. Sekam dapat dijumpai pada hampir semua anggota rumput-rumputan, meskipun pada beberapa jenis budidaya ditemukan pula variasi bulir tanpa sekam.

Sekam diperlukan untuk keperluan penanaman ulang tanaman ini. Bulir tanpa sekam tidak dapat digunakan lagi sebagai bahan tanam. Proses pemisahan sekam dari isinya dulu dilakukan dengan penumbukan gabah memakai alat tumbuk, namun sekarang orang memakai mesin giling dan prosesnya disebut

penggilingan. Penggilingan atau penumbukan akan menghasilkan beras yang masih tercampur dengan sisa-sisa atau pengotor lainnya.

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi *kariopsis* yang terdiri dari dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar. Sekam memiliki kerapatan jenis (bulk densil) 125 kg/m³, dengan nilai kalori 1 kg sekam sebesar 3300 k. kalori (Houston, 1972). Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%, dedak antara 8-12% dan beras giling antara 50-63,5% (Mekka, 2011).

Sekam padi mempunyai *bulk density* 96 sampai 160 kg/m³. Penggilingan sekam padi dapat meningkatkan bulk density dari 192 menjadi 384 kg/m³. Dengan pembakaran pada kondisi tertentu dapat menghasilkan abu sekam padi yang lebih mudah dihaluskan (Hsu dan Luh, 1980).

2.3.2 Komposisi Sekam Padi dan Abu Sekam Padi

Sekam padi adalah kulit yang membungkus butiran beras, dimana kulit padi akan terpisah dan menjadi limbah atau buangan. Jika sekam padi dibakar akan menghasilkan abu sekam padi. Secara tradisional, abu sekam padi digunakan sebagai bahan pencuci alat-alat dapur dan bahan bakar dalam pembuatan batu bata. Penggilingan padi selalu menghasilkan kulit gabah / sekam padi yang cukup banyak yang akan menjadi material sisa. Ketika bulir padi digiling, 78% dari beratnya akan menjadi beras dan akan menghasilkan 22% berat kulit sekam. Kulit sekam ini dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam proses produksi. Kulit sekam terdiri 75% bahan mudah terbakar dan 25% berat akan berubah menjadi abu. Abu ini dikenal sebagai *Rice Husk Ash (RHA)* yang memiliki kandungan silika reaktif sekitar 85%- 90%. Dalam setiap 1000 kg padi yang digiling akan dihasilkan 220 kg (22%) kulit sekam.

Jika kulit sekam itu dibakar pada tungku pembakar, akan dihasilkan sekitar 55 kg (25%) *RHA*. Sekitar 20% dari berat padi adalah sekam padi, dan bervariasi

dari 13 sampai 29% dari komposisi sekam adalah abu sekam yang selalu dihasilkan setiap kali sekam dibakar. Nilai paling umum kandungan silika (SiO_2) dalam abu sekam padi adalah 94 – 96% dan apabila nilainya mendekati atau dibawah 90 % kemungkinan disebabkan oleh sampel sekam yang telah terkontaminasi oleh zat lain yang kandungan silikanya rendah. Abu sekam padi apabila dibakar secara terkontrol pada suhu tinggi sekitar (500 – 600 oC) akan menghasilkan abu silika yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai proses kimia (Prasetyoko, 2001).

Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50% selulosa, 25–30% lignin, dan 15–20% silica (Ismail and Waliuddin, 1996). Pembakaran sekam padi dengan menggunakan metode konvensional seperti *fluidised bed combustors* menghasilkan emisi CO antara 200 – 2000 mg/Nm³ dan emisi NO_x antara 200 – 300mg/Nm³ (Armestoetal, 2002).

Metode pembakaran sekam padi yang dikembangkan oleh COGEN-AIT mampu mengurangi potensi emisi CO₂ sebesar 14.762 ton, CH₄ sebesar 74 ton, dan NO₂ sebesar 0,16 ton pertahun dari pembakaran sekam padi sebesar 34.919 ton pertahun (Mathias, 2000).

Pada proses pembakaran akibat panas yang terjadi akan menghasilkan perubahan struktur silika yang berpengaruh pada dua hal yaitu tingkat aktivitas *pozolan* dan kehalusan butiran abu. Pada tahap awal pembakaran, abu sekam padi menjadi kehilangan berat pada suhu 100 oC, pada saat itulah hilangnya sejumlah zat dari sekam padi tersebut. Pada suhu 300oC, zat-zat yang mudah menguap mulai terbakar dan memperbesar kehilangan berat.

2.4 Burner

Sumber energi kalor atau panas bisa diperoleh dari proses pembakaran. Proses pembakaran pada mesin tenaga uap terjadi pada furnace.

Berbagai macam teknologi telah dikembangkan untuk menaikkan efisiensi proses pembakaran. Efisiensi yang tinggi akan menaikkan efisiensi total dari

furnace dan jumlah panas yang ditransfer ke boiler jadi semakin besar. Untuk itu, diperlukan furnace dengan burner yang berkualitas baik.

2.4.1 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.

4. 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.

2.5 *Pulverizer Coal Burner*

Bahan bakar padat akan dihancurkan lebih dahulu dengan alat pulvizer sampai ukuran tertentu sebelum dicampur dengan udara. Selanjutnya campuran serbuk batubara dan udara diberi tekanan kemudian disemprotkan menggunakan difuser. 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.

a. Coal Pulverizer (Mill).

Coal pulverizer berfungsi untuk menggerus batu bara yang di suplai dari coal feeder dengan kehalusan 200 mesh (yang akan di saring oleh classifier di dalam mill) dan selanjutnya serbuk batu bara tersebut di transportasikan dengan bantuan udara primer. Untuk material batu bara yang kehalusannya kurang dari 200 mesh atau tidak dapat tergerus dan material berupa batu, besi kayu, dll 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.

b. 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.

c. 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° ke bawah dan 30° 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 controller sehingga proses pembakaran yang terjadi disesuaikan dengan keperluan. Masuknya batu bara ke dalam unit Combustion Chamber diatur oleh main controller.

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.

2.6 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 *exhouter*. Di industry – industri kimia alat ini biasanya digunakan untuk

mensirkulasikan gas-gas tertentu didalam tahap proses-proses secara kimiawi dikenal dengan namabooster atau *circulator*.

2.6.1 Jenis – jenis Blower

1. Blower Sentrifugal

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 pe ngangkutan bahan yang tergantung pada volume udara yang mantap. Oleh karena itu, alat inisering digunakan untuk penerapan sistim yang cenderung tidak terjadi penyumbatan.

2. Blower jenis Positive – Displacement

Blower jenis positive displacement memiliki rotor, yang "menjebak" udara dan mendorongnya melalui rumah blower. Blower ini menyediakan volumudara yang konstan bahkan jika tekanan sistimnya bervariasi. Cocok digunakan untuk sistim yang cenderung terjadi penyumbatan, karena dapat menghasilkan tekanan yang cukup (biasanya sampai mencapai 1,25 kg/cm²) untuk menghembus bahan – bahan yang menyumbat sampaiterbebas. Mereka berputar lebih pelan daripada blower sentrifugal (3.600 rpm) dan seringkali digerakkan dengan belt untuk memfasilitasi perubahan kecepatan.