

APLIKASI *CIRCULATING FLUIDISED BED* (CFB) UNTUK PENINGKATAN EFISIENSI PEMBAKARAN

R. Herry Supriyanto

Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstract

Currently, the circulating fluidized bed combustion (CFBC) technology for coal combustion remains developed for its advantages such as flexibility against coal quality, high combustion efficiency and relatively lower SO₂ and NO_x emission. This article discusses the results of a study upon the influence of operational parameter toward combustion efficiency and SO₂ and NO_x emission on a 100kW CFBC unit. Operational parameters examined include temperature, air excess, secondary air and speed of superficial gas. Results obtained shows that the tested operational parameters were effectively affects the combustion efficiency and SO₂ and NO_x emission.

Kata kunci: *gasifier, circulating, katalis*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dunia, khususnya di negara-negara yang sedang berkembang meningkat dengan cepat sebagai konsekuensi logis dari pertumbuhan tingkat perekonomian dan jumlah penduduk. Di masa yang akan datang diproyeksikan bahwa laju kebutuhan energi tersebut akan terus meningkat sejalan dengan berhasilnya industrialisasi di banyak negara yang sedang berkembang.

Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut dan belajar dari krisis energi tahun 1973, baik negara maju maupun negara yang sedang berkembang telah mengambil kebijaksanaan penganeekaragaman sumber energi untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi. Jaminan terhadap penyediaan energi dan pertimbangan ekonomi telah mendorong lahirnya kebijaksanaan national untuk menekankan pentingnya pendayagunaan sumber energi domestik yang dimiliki masing-masing negara.

Di beberapa negara yang sedang berkembang seperti Cina, India dan Indonesia produksi dan konsumsi energi diproyeksikan akan terus meningkat untuk mempertahankan lanjut pertumbuhan ekonomi pada tingkat yang tinggi. Untuk negara-negara ini kebutuhan energi diproyeksikan akan dipenuhi dan cadangan batubara domestik yang jumlahnya sangat besar. Peningkatan pemakaian batu bara di lain pihak akan melahirkan tantangan yang bersifat teknis dan global, antara lain pengendalian tingkat emisi polutan dan unit pembakaran batu bara, peningkatan efisiensi dan pemanfaatan panas sisa untuk berbagai proses industri.

Kesadaran akan tantangan tersebut telah mendorong penelitian dan pengembangan teknologi pembakaran batu bara dengan kriteria, efisiensi pembakaran yang tinggi, fleksibel terhadap kualitas batu bara, dan tingkat emisi polutan yang relatif rendah. Salah satu teknologi pembakaran yang terus mendapatkan perhatian yang besar adalah teknologi pembakaran batu bara dalam *Fluidised Bed Combustor* (FBC). Berbeda dengan teknologi pembakaran terdahulu *Pulverised Fuel Combustion* (PFC), FBC beroperasi pada temperatur yang relatif rendah yaitu dibawah 1000 °C, dengan demikian munculnya polutan seperti NO_x dapat ditekan secara efektif. Pencampuran *limestone* yang dapat dilakukan secara langsung ke dalam padatan yang ada di dalam ruang bakar, secara efektif dapat pula mengurangi emisi SO₂.

Keberhasilan pemanfaatan FBC telah mendorong pengembangan lebih lanjut yang ditandai dengan lahirnya generasi kedua dan teknologi ini yang dikenal sebagai *Circulating Fluidised Bed Combustion* (CFBC). Pada CFBC partikel batubara yang belum terbakar (*unburned coal*) disirkulasikan kembali ke dalam ruang bakar sehingga memungkinkan tercapainya efisiensi pembakaran yang lebih tinggi. Dewasa ini proporsi CFBC dalam total kapasitas terpasang FBC terus meningkat [Hupa et.al., 1991] yang didorong oleh beberapa keunggulan antara lain : fleksibilitas bahan bakar pada temperatur pembakaran yang rendah (800- 900°C), efisiensi pembakaran yang lebih tinggi dan tingkat emisi SO₂ dan NO_x yang relatif rendah (Edmonds, J and D.Wuebbles, 1991).

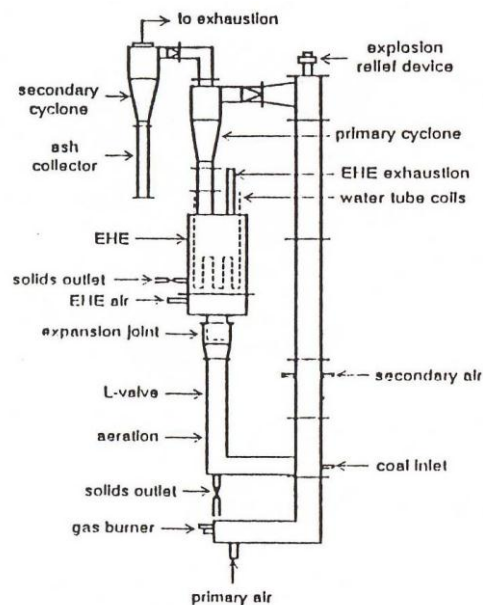
Dalam tulisan ini akan dibahas prinsip dasar CFBC untuk pembakaran batubara serta pengaruh parameter operasi terhadap efisiensi pembakaran dan emisi NO_x dan N_2O . Parameter operasi menjadi faktor yang penting di dalam pengoperasian suatu unit pembakaran karena dapat secara langsung mempengaruhi unjuk kerja dan unit tersebut. Parameter operasi yang akan dibahas dalam tulisan ini meliputi temperatur pembakaran, kelebihan udara (*excess air*), udara sekunder (*secondary air*) dan kecepatan superficial gas (*superficial gas velocity*) (Nugroho, Y.S., 1995)

2. PRINSIP DASAR CFBC

Sebuah unit pembakar CFB pada dasarnya terdiri dan ruang bakar tegak (*riser*), pemisah padatan (*cyclones*) dan saluran pensirkulasi ulang (*returning leg*). Udara pembakaran disuplai melalui distributor udara yang terletak dibagian bawah riser. Distributor udara dipergunakan untuk meratakan suplai udara dalam ruang bakar yang pada umumnya disuplai dengan kecepatan fluidisasi 6 s.d 10 m/s. Dengan kecepatan ini padatan yang ada di bagian bawah riser (a.l. pasir pensirkulasi, partikel batu bara dsb) akan terfluidisasi dan memenuhi ruang bakar. Gas panas hasil pembakaran selanjutnya akan membawa sebagian partikel keluar dan bagian atas riser untuk kemudian dipisahkan dan gas buang di dalam cyclones. Padatan yang berhasil dipisahkan, umumnya masih mengandung partikel batu bara yang belum terbakar, selanjutnya disirkulasikan kembali ke dalam ruang bakar melalui saluran pensirkulasi ulang (Kullendorff, A, and S. Andersson, 1986).

Panas hasil proses pembakaran dalam CFBC dapat diekstraksikan dan dinding ruang bakar, cyclone dan alat pemindah panas eksternal (*external heat exchanger*). Sedangkan panas yang terkandung dalam gas buang dapat diekstraksikan melalui unit superheater, air heater dan reheater, sebelum selanjutnya dilepaskan ke udara bebas melalui cerobong asap pada temperatur yang relatif rendah.

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium *circulating fluidised bed combustion* (CFBC) yang terdapat di Pusppitek Serpong Secara garis besar fasilitas penelitian terdiri dan empat komponen utama yang terbuat dan stainless steel, yaitu ruang bakar tegak (*riser*) berdiameter 161 mm dengan tinggi 6.2 m, dua buah *cyclone*, pemindah kalor eksternal, dan saluran pensirkulasi ulang (L-valve), seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Pada riser terdapat beberapa titik pengambilan data (*ports*) yang memungkinkan pengukuran profil.



Gambar 1. Diagram pada CFBC

Udara pembakar primer dan sekunder disuplai oleh fan sentrifugal. Udara primer disuplai dan bagian bawah riser melalui distributor udara, sedangkan udara sekunder dapat diinjeksikan pada ketinggian 1.32 m atau 1.83 m di atas distributor udara. Partikel batu bara (Tabel 1) berdiameter $< 1,7$ mm disuplai ke dalam ruang bakar melalui sistem pengumpan pneumatik yang dilengkapi dengan hopper bertekanan dan sistem pengukuran laju umpan. Sebelum partikel batubara mulai diumpan ke dalam ruang bakar, terlebih dahulu pembakar gas berbahan bakar propane dioperasikan untuk memanaskan sistem sampai temperatur sekitar 600°C .

Fasilitas penelitian dilengkapi dengan *on-line analyser* yang memungkinkan pengukuran konsentrasi O_2 , NO_x , CO dan CO_2 . Sampel gas buang juga diambil menggunakan kantung Teflon untuk pengukuran konsentrasi N_2O dengan gas chromatograph.

3. HASIL PEMBAHASAN

3.1. Efisiensi Pembakaran

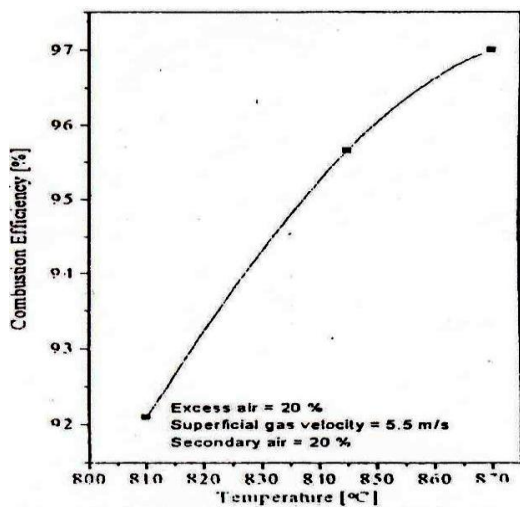
Pembakaran adalah sebuah fenomena yang kompleks yang dipengaruhi berbagai proses yang saling berhubungan seperti dinamika fluida, perpindahan panas dan massa, kinetika kimia, termodinamika dan turbulensi. Secara singkat suatu reaksi pembakaran memerlukan 3 T yaitu *Time*, *Temperature* dan *Turbulence*. Sifat pembakaran batu bara di dalam *circulating fluidised bed* seperti pencampuran padatan

(solids) yang sangat baik dan merata, besarnya ruang untuk reaksi pembakaran dan disirkulasikannya kembali partikel batu bara yang belum terbakar memberikan pengaruh yang sangat baik untuk tercapainya efisiensi pembakaran yang tinggi.

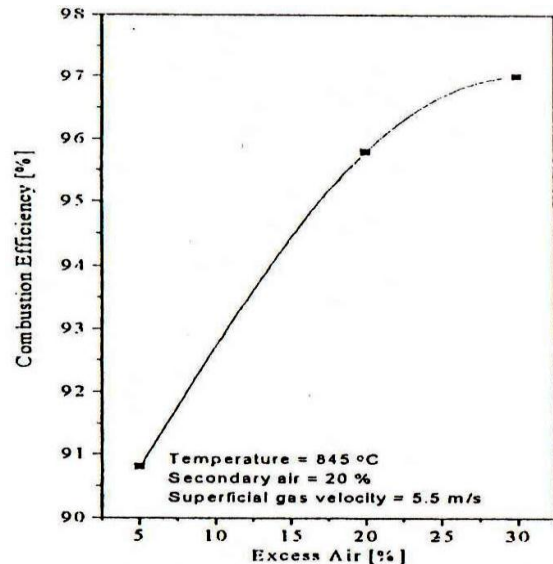
Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi O_2 pada gas buang, efisiensi pembakaran pada penelitian ini diketahui pada jangkauan efisiensi 90,8 % s.d 97,0%. Secara singkat pengaruh parameter operasi pada efisiensi pembakaran dibahas pada bagian berikut.

3.2. Pengaruh Temperatur pada Efisiensi Pembakaran.

Untuk mengetahui pengaruh temperatur pada efisiensi pembakaran, baik kelebihan udara dan udara sekunder diatur pada tingkat 20%. Seperti tampak pada Gambar.2, efisiensi pembakaran meningkat sebesar 5 % dan 92,1 % menjadi 97,0% dengan peningkatan temperatur dan 810°C menjadi 870°C. Temperatur yang lebih tinggi menyebabkan meningkatnya laju reaksi pembakaran yang berpengaruh pada pembakaran char yang menjadi lebih baik (Gibbs, B.M. and E. Hampartsoumian, 1984).



Gambar. 2. Efisiensi Pembakaran Pengaruh Kelebihan Udara pada Efisiensi Pembakaran



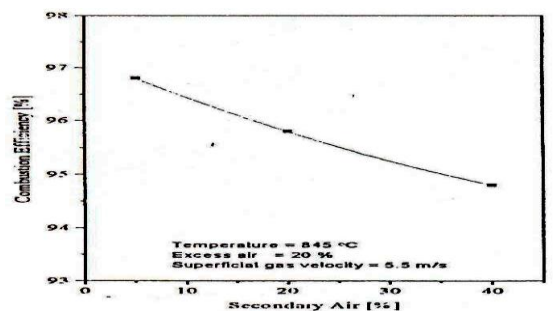
Gambar. 3. Kelebihan Udara dapat Meningkatkan Efisiensi Pembakaran

Untuk memperlihatkan bahwa kelebihan udara dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dari 90,8% menjadi 97,0% dengan mengatur suplai kelebihan udara dan 5% menjadi 30%. Dengan meningkatnya kelebihan udara, maka konsentrasi oksigen di sepanjang riser menjadi lebih tinggi. Kondisi ini tentunya dapat memperbaiki laju pembakaran batu bara.

Kedua faktor diatas yaitu temperatur dan kelebihan udara memberikan pengaruh yang sangat berarti untuk memperoleh efisiensi pembakaran yang tinggi.

Pengaruh Udara Sekunder pada Efisiensi Pembakaran (Moritomi, H., Y. Suzuki, 1991).

Udara sekunder diinjeksikan pada ketinggian 1,83 m di atas distributor udara dengan laju diatur mulai 5% sd. 40%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi pembakaran menurun dari 96,8% menjadi 94,8% dengan meningkatnya tingkat udara sekunder dan 5% menjadi 40%

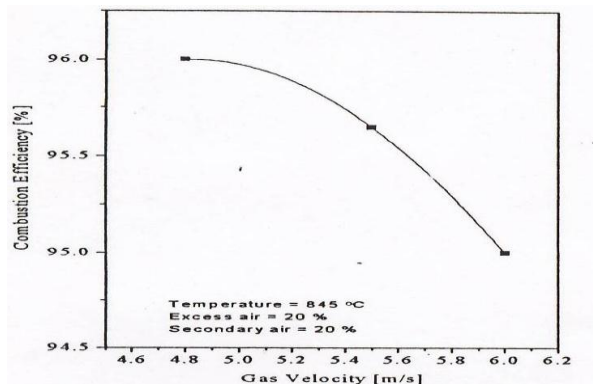


Gambar. 4 Meningkatkan Udara Sekunder, secara Langsung akan Mengurangi Proporsi Udara Pembakaran.

Peningkatan udara sekunder secara langsung mengurangi proporsi udara pembakar dan konsentrasi oksigen di daerah yang berada di bawah titik penginjeksian udara sekunder. Keadaan ini mempengaruhi turunnya efisiensi pembakaran pada daerah tersebut.

3.3. Pengaruh Kecepatan Superficial pada Efisiensi Pembakaran

Tinggi riser pada suatu sistem CFBC adalah konstan, dengan demikian waktu tinggal (*residence time*) untuk proses pembakaran dipengaruhi oleh kecepatan superficial gas di dalam riser. Kecepatan gas yang terlalu tinggi dapat pula berakibat terbawanya partikel batubara keluar dan riser sebelum proses pembakaran berlangsung dengan sempurna. Hasil penelitian seperti tampak pada Gambar. 5 memperlihatkan bahwa peningkatan kecepatan gas dari 4,8 m menjadi 6,0 m/s menurunkan efisiensi pembakaran (Johnsson, J.E., 1989).



Gambar. 5 Kecepatan Gas akan menurun kan efisiensi Pembakaran dari 96,0 % menjadi 95,0%.

Hal ini disebabkan oleh berkurangnya waktu untuk reaksi pembakaran disamping meningkatnya jumlah partikel batubara yang terbawa keluar riser

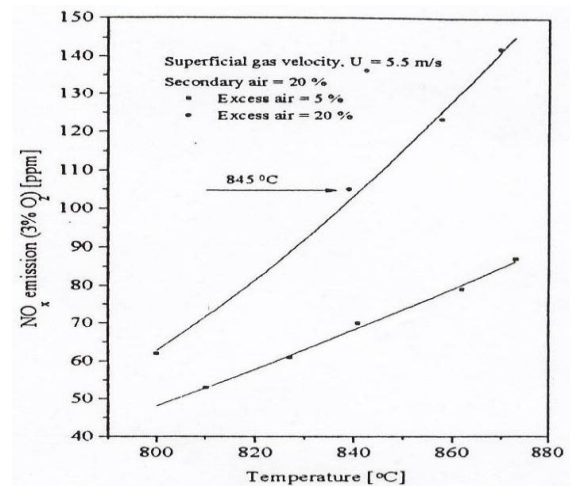
4. EMISI NITROGEN OKSIDA (NO_x)

Nitrogen Oksida dapat terbentuk selama pembakaran batu bara melalui dua mekanisme. Mekanisme pertama adalah reaksi antara oksigen dengan nitrogen dan udara pembakar yang berlangsung pada temperatur tinggi (*thermal NO_x*). Mekanisme yang kedua adalah reaksi antara oksigen yang berada di atmosfer dengan nitrogen yang terkandung dalam partikel batu bara (*prompt NOR*).

Pada CFBC dengan temperatur pembakaran relatif rendah, maka pembentukan NO_x sebagian besar disebabkan oleh oksidasi nitrogen-batubara. Namun demikian konversi nitrogen-

batubara hanya berkisar antara 5-40 % dan total nitrogen yang terkandung dalam batubara. Hal ini memberikan indikasi bahwa emisi NO_x lebih dipengaruhi oleh beberapa parameter operasi seperti tingkat kelebihan udara dan temperatur dari pada kandungan nitrogen sesungguhnya pengaruh temperatur pada emisi NO_x

Temperatur memberikan pengaruh yang berarti terhadap emisi NO_x seperti ditunjukkan pada Gambar. 6.



Gambar 6. Meningkatnya Temperatur Berpengaruh pada Emisi NO_x

Kenaikan temperatur dan 800°C menjadi 870°C menyebabkan peningkatan emisi NO dan 62 ppm menjadi 142 ppm. Kecenderungan ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Moritomi (1991) dan Akthar (1995). Lebih lanjut juga tampak dalam gambar bahwa pengaruh temperatur cenderung meningkat dengan meningkatnya kelebihan udara (Amand, L.E. And B. Leckner, 1992).

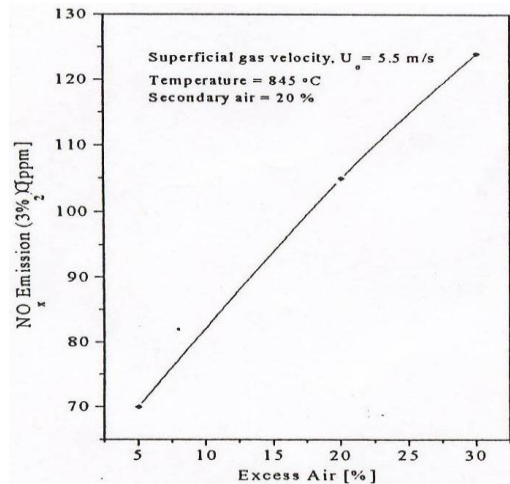
Pengoperasian CFBC pada temperatur yang lebih tinggi menyebabkan emisi NO_x yang lebih tinggi sebagai hasil dan cepatnya devolatilisasi batu bara. Di samping itu meningkatnya temperatur juga mengurangi konsentrasi char

dan emisi CO yang dipertimbangkan sebagai senyawa kimia yang berfungsi mengurangi emisi NO_x.

4.1 Pengaruh Kelebihan Udara pada Emisi NO_x

Kelebihan udara juga memberikan pengaruh yang serupa dengan temperatur, dimana emisi NO_x meningkat dan 70 ppm menjadi 124 ppm sebagai hasil meningkatnya kelebihan udara dan 5% menjadi 30% (Gambar. 7). Tingkat kelebihan udara yang lebih tinggi menyebabkan

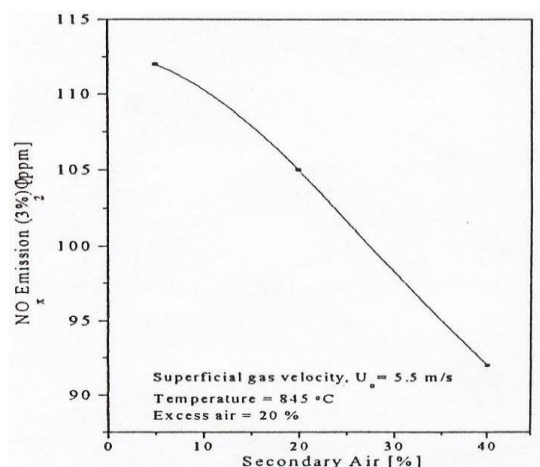
berkurangnya konsentrasi senyawa seperti CO, H₂ dan permukaan katalis char yang berperan untuk mengurangi emisi NO_x. (Johnsson, J.E., 1994)



Gambar. 7 Emisi NO_x Meningkat

4.2 Pengaruh Udara Sekunder pada Emisi NO_x

Salah satu metode yang dipergunakan untuk menekan emisi NO_x adalah dengan melakukan pembakaran bertingkat (*staged combustion*). Metode ini diterapkan pada CFBC dengan cara membagi udara pembakaran menjadi udara primer yang disuplai di bagian bawah riser dan udara sekunder yang diinjeksikan pada suatu ketinggian tertentu di atas distributor udara. Udara primer disuplai dengan jumlah yang tidak mencukupi untuk pembakaran sempurna sehingga pembentukan NO_x akibat oksidasi nitrogen-batubara dapat dikurangi. Pembakaran selanjutnya disempurnakan dengan mensuplai udara sekunder.



Gambar 8. Pengukuran Emisi NO_x

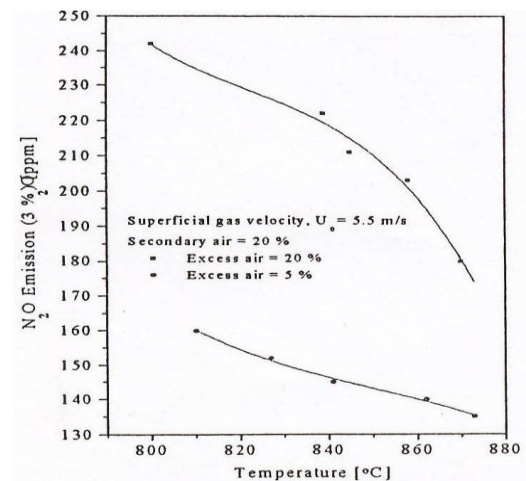
Hasil pengukuran emisi NO_x seperti terlihat pada Gambar. 8 menunjukkan bahwa metode pembakaran bertingkat dengan udara sekunder sebesar 5% menjadi 40% dapat menekan emisi NO_x dan 112 ppm menjadi 92 ppm. Hal ini mengindikasikan bahwa pengurangan emisi NO_x menjadi lebih efektif pada rasio udara sekunder/udara total yang lebih tinggi (Akhtar, N.A., 1994).

5. EMISI NITROUS OKSIDA (N₂O)

Emisi nitrous oksida (N₂O) dalam beberapa tahun terakhir mulai mendapatkan perhatian karena konsentrasinya di atmosfer secara bertahap mengalami peningkatan. Meskipun N₂O bukanlah komponen dan hujan asam (*acid rain*) tetapi terdapat indikasi N₂O mempunyai pengaruh dalam penipisan lapisan ozon dan efek rumah kaca. Secara tradisional N₂O bersumber dari aktivitas bio-geochemical dalam tanah dan proses pembakaran (Edmonds dan Wuebbles, 1991). Mekanisme pembentukan dan penghancuran N₂O dalam suatu proses pembakaran, khususnya di dalam CFBC sampai saat ini belumlah diketahui secara pasti. Berbagai pengukuran yang dilakukan dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh parameter operasi terhadap emisi N₂O seperti dibahas pada bagian berikut.

5.1. Pengaruh Temperatur pada Emisi N₂O

Peningkatan temperatur terbukti secara efektif dapat menurunkan konsentrasi N₂O. Emisi N₂O menurun dari 242 ppm menjadi 180 ppm dengan meningkatnya temperatur dari 800°C menjadi 870°C. Lebih lanjut seperti yang tampak pada Gambar.9,



Gambar 9. Pengaruh temperatur pada Emisi N₂O

Meningkatnya Temperatur disertai dengan tingkat kelebihan udara yang rendah peningkatan temperatur disertai dengan tingkat kelebihan udara yang lebih rendah, yaitu 5 % dapat menekan emisi N₂O menjadi 135 ppm.

Rendahnya emisi N_2O pada temperatur yang lebih tinggi dapat dijelaskan dengan mekanisme penghancuran N_2O seperti yang diusulkan (Kramlich, J.C., 1989).

- Penghancuran N_2O secara homogen dengan kehadiran radikal.

$$N_2O + H \rightarrow N_2 + OH$$

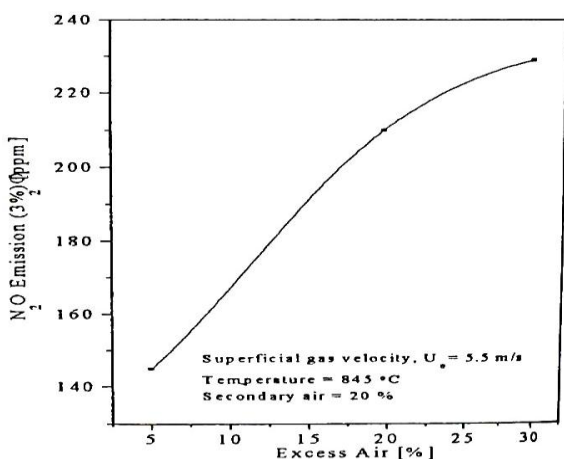
$$N_2O + OH \rightarrow N_2 + HO_2$$
- Dekomposisi termal tanpa hadirnya radikal

$$N_2O + M \rightarrow N_2 + O + M$$
 dengan antara lain seperti N_2 , CO_2 and O_2 .
- Pengurangan N secara heterogen pada partikel char.

Berdasarkan mekanisme di atas keseimbangan konsentrasi N_2O dapat dicapai dengan tersedianya waktu tinggal (*residence time*) yang mencukupi. Karena pada umumnya waktu tinggal adalah konstan, maka temperatur menjadi variabel penting yang mengontrol kecepatan reaksi dan dekomposisi N_2O dalam ruang bakar (Wojowicz, 1994). Penghancuran N_2O secara homogen dengan hadirnya radikal ($N_2O + H \rightarrow N_2 + OH$) dilaporkan sangat sensitif terhadap perubahan temperatur (Amand, L.E. and B. Leckner, 1992).

5.2. Pengaruh Kelebihan Udara pada Emisi N_2O

Seperti tampak pada Gambar. 10, emisi N_2O meningkat dan 145 ppm menjadi 229 ppm sebagai akibat dan peningkatan kelebihan udara dan 5% menjadi 30%. Berdasarkan pembahasan sebelumnya, radikal seperti H dan OH mempengaruhi penghancuran N_2O . Dengan meningkatnya kelebihan udara maka konsentrasi radikal secara progresif menurun. Berkurangnya radikal menyebabkan meningkatnya emisi N_2O . (Amand, L.E. and B. Leckner, 1994).



Gambar 10. Kelebihan udara pada Emisi N_2O

6. KESIMPULAN

CBFC terbukti dapat dipergunakan untuk membakar batubara secara efisien dengan efisiensi pembakaran dapat mencapai 90,8 % s.d 97,0%. Efisiensi pembakaran meningkat dengan meningkatnya kelebihan udara dan temperatur. Sebaliknya peningkatan udara sekunder dan kecepatan superficial gas dapat menurunkan efisiensi pembakaran.

Temperatur, kelebihan udara dan udara sekunder mempengaruhi emisi NO_x . Pengoperasian CFBC pada temperatur dan tingkat kelebihan udara yang lebih tinggi meningkatkan emisi NO_x . Emisi NO_x dapat ditekan dengan rasio udara sekunder/total yang lebih tinggi.

Temperatur memberikan pengaruh yang berlawanan pada emisi NO_x dan N_2O . Pengurangan tingkat kelebihan udara dapat mengurangi emisi NO_x dan N_2O .

DAFTAR PUSTAKA

- Akhtar, N.A., X.S. Wang, B. Bayat and B.M. Gibbs [1994] NO_x Emissions Control from a Circulating Fluidised Bed Combustor Burning Coal, In *International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion '94*, Bali.
- Amand, L.E. and B. Leckner [1992], Influence of Fuel on i Emission of Nitrogen Oxides (NO and N_2O) from an 8 MW Fluidised Bed Boiler, *Combustion and Flame*, 84, pp. 18 1-196.
- Amand, L.E. and B. Leckner [1992], Influence of Air Supply on the Emission of NO and N from a Circulating Fluidised Bed Boiler, *Twenty-Forth Symposium (International on Combustion*, pp. 1407-1414, The Combustion Institute.
- Amand, L.E. and B. Leckner [1994] Reduction of N_2O in a Circulating Fluidised Bed Combustor, *Fuel*, Vol. 73, No. 9, pp. 1389-1397.
- Edmonds, J. and D. Wuebbles [1991], Greenhouse Gases: Sources and Emissions, In *Coal in the Environment*, pp. 63-73, World Coal Institute, London.
- Gibbs, B.M. and E. Hampartsoumian [1984], Limiting Air Pollution from Atmospheric Fluidised Bed Boilers, In *Fluidised Bed Boiler: Design and Application* (Edited by P. Basu), pp. 13 1-154, Pergamon Press, Toronto.

- Hupa, M. and S. Bostrom [1991], Fluidised Bed Combustion; Prospects and Role, In *Coal in the Environment*, pp. 133-140, World Coal Institute, London.
- Johnsson, J.E. [1989], A Kinetic Model for NO Formation in Fluidised Bed Combustion, In *Tenth International Conference on Fluidised Bed Combustion* (Edited by AM. Manaker), pp. 1111-1118, ASME, New York
- Johnsson, J.E. [1994], Formation and Reduction of Nitrogen Oxides in Fluidised Bed Combustion, *Fuel*, Vol. 73, No. 9, pp. 1398 - 1415.
- Kramlich, J.C., Cole, J.A., McCarthy, J.M., Lanier, W.S. and McSorley, J.A. [1989] *Combustion and Flame*, 77, pp. 375.
- Kullendorff, A. and S. Andersson [1986] A General Review on Combustion in Circulating Fluidised Beds, In *Circulating Fluidised Bed Technology* (Edited by P. Basu), pp. 83-96, Pergamon Press, Toronto.
- Moritomi, H., Y. Suzuki, N. Kido and Y. Ogisu [1991], NO_x Emission and Reduction from a Circulating Fluidised Bed Combustor, In *Circulating Fluidised Bed Technology III* (Edited by P. Basu, M. Horio and M. Hasatani), pp. 399-404, Pergamon Press, Oxford.
- Nugroho, Y.S., L.F de Diego, C.A.Londono and B.M. Gibbs, Effects of Operating Parameters on Combustion Performance and NO_x / N₂O emissions from a CFB Coal Combustor, *Paper presented in The 1995 Regional Symposium on Chemical Engineering - Bangkok 9-11 October 1995.*