

Formasi Gas Buang Pada Pembakaran Fluidized Bed Sekam Padi

I Nyoman Suprpta Winaya, I Nyoman Gede Sujana dan I G N P Tenaya

*Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran Bali-80361*

Abstraksi

Teknologi pembakaran *fluidized bed* adalah salah satu teknologi terbaik untuk mengkonversi berbagai jenis bahan bakar baik sampah, limbah, biomasa ataupun bahan bakar fosil berkalori rendah. Biomasa sekam padi mempunyai potensi untuk dijadikan bahan bakar karena sangat mudah didapat di Indonesia yang merupakan negara agraris di daerah tropis yang mempunyai sekitar puluhan ribu mesin penggiling padi tersebar di seluruh daerah dengan produksi sekam padi belasan juta ton per tahun. Untuk mengkaji kelayakan sekam padi sebagai bahan bakar, maka perlu dianalisa gas buang yang. Pengujian dilakukan pada sebuah unit pembakaran *fluidized bed* skala laboratorium dengan memvariasikan kecepatan fluidisasi dan temperatur operasi pembakaran. Dari penelitian diperoleh hasil yaitu pada temperatur 600 °C gas emisi karbon monoksida dan NOx ditemukan lebih rendah dibandingkan dengan temperatur 500 °C pada kecepatan udara yang sama yaitu 0,05 m/dt.

Kata kunci : biomasa sekam padi, gas buang, kecepatan fluidisasi pembakaran *fluidized bed*.

Abstract

Fluidized Bed Combustion is the best technology for energy conversion of various fuel types such as biomass and wastes with low caloric content fuel. Biomass like rice husk has a great potentiality to develop as a fuel since the availability in Indonesia is abundant. This research aims to analyse gas emission from rice husk using fluidized bed combustion. Investigation was conducted in a laboratory scale fluidized bed unit by varying operation temperature and gas fluidization. The results show that emission gas of carbon monoxide and NOx at higher temperature of 600 °C was found lower compared to 500 °C at similar air velocity of 0.05 m/s.

Keyword : rice husk, emission gas, fluidization velocity, *fluidized bed combustion*.

1. PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan isu hangat yang banyak dibicarakan akhir-akhir ini yang berdampak kepada peningkatan suhu bumi sehingga menyebabkan meningkatnya temperatur pada kutub utara dan kutub selatan. Salah satu penyebabnya ialah emisi gas buang baik yang berasal dari kendaraan bermotor maupun dari emisi gas pembuangan pabrik-pabrik atau industri. Hal ini diikuti pula dengan harga bahan bakar minyak dan gas yang semakin mahal dan fluktuatif seiring dengan makin menipisnya cadangan minyak bumi.

Indonesia merupakan negara agraris di daerah tropis yang mempunyai sekitar puluhan ribu mesin penggiling padi yang tersebar di seluruh daerah dengan produksi sekam padi belasan juta ton per tahun, dimana sekam padi merupakan salah satu sumber energi biomasa yang dipandang penting untuk menanggulangi krisis energi belakangan ini.

Teknologi *fluidized bed combustion* (FBC) adalah salah satu teknologi terbaik untuk mengkonversi sekam padi menjadi energi karena mempunyai keunggulan mengkonversi berbagai jenis bahan bakar

baik sampah, limbah, biomasa ataupun bahan bakar fosil berkalori rendah. Teknologi ini telah diperkenalkan sejak abad kedupuluh dan telah diaplikasikan dalam banyak sektor industri dan pada tahun-tahun belakangan ini telah diaplikasikan untuk mengkonversi biomasa menjadi energi.

Biomasa sekam padi mempunyai kandungan zat volatil yang tinggi (*high-volatile matter, VM*) yaitu tingginya zat yang mudah terbakar, maka apabila bahan bakar sekam padi dimasukkan pada ruang pembakaran FBC, evolusi zat volatil akan terjadi sangat cepat. Ini dikarenakan oleh tingginya laju perpindahan panas oleh material hamparan (*bed material*) di dalam ruang bakar sehingga zat volatil hanya berevolusi disekitar tempat pemasukan bahan bakar (*fuel feed point*)[1,2].

Dalam penelitian ini dilakukan sebuah perancangan *Fluidized Bed Combustion* yang didesain pada temperatur 500°C dan 600°C. Gas buang diukur seketika pada saat bahan bakar tersebut dimasukkan ke ruang bakar

2. DASAR TEORI

2.1. Bahan Bakar Biomassa

Biomasa ialah suatu material organik yang berasal dari makhluk hidup yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau bahan baku di industri untuk diolah menjadi bentuk lain yang bermanfaat untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Bahan dasar biomasa terdiri dari struktur atom karbon yang dapat berikatan dengan atom lain seperti oksigen, hidrogen, nitrogen, dan beberapa jenis logam. Biomasa dapat dikategorikan menjadi dua yaitu bahan yang berasal dari tumbuhan dan bahan yang bukan berasal dari tumbuhan. Bahan yang berasal dari tumbuhan misalnya : hasil dari hutan, perkebunan, pertanian, dan sebagainya. Bahan yang bukan berasal dari tumbuhan misalnya : kotoran hewan dan limbah organik dari industri makanan dan tekstil.

Biomasa merupakan bagian dari daur karbon. Atom karbon dalam CO₂ dari atmosfer diserap oleh tumbuhan untuk kemudian digunakan dalam proses fotosintesis dengan bantuan sinar matahari. Tumbuhan yang dikonsumsi oleh hewan akan dikembalikan siklus karbonnya menjadi biomasa dari hewan yang berbentuk kotoran hewan. Atom karbon pada tumbuhan yang dibakar akan kembali ke atmosfer dalam bentuk karbondioksida (CO₂) atau metana (CH₄).

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. Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%, dedak antara 8- 12% dan beras giling antara 50-63,5% data bobot awal gabah.

2.2. Energi potensial sekam padi

Sekam padi adalah salah satu energi alternatif yang dapat digunakan untuk menanggulangi krisis energi yang terjadi saat ini khususnya di daerah pedesaan. Energi sekam padi tidak hanya jumlahnya berlimpah tetapi juga merupakan energi terbarukan, tidak seperti sumber bahan bakar fosil yang jumlahnya terbatas dan bukan merupakan energi terbarukan. Ketersediaan sekam padi di hampir 75 negara di dunia diperkirakan sekitar 100 juta ton dengan energi potensial berkisar 1,2 x 10⁹ GJ/tahun dan mempunyai nilai kalor rata-rata 15 MJ/kg [3]. Indonesia sebagai negara agraris mempunyai sekitar 60.000 mesin penggiling padi yang tersebar di seluruh daerah dengan kisaran produksi sekam padi 15 juta ton per tahun. Untuk kapasitas besar, beberapa mesin penggiling padi

mampu memproduksi 10-20 ton sekam padi per hari [4].

Dibandingkan bahan bakar fosil, sifat dan karakteristik bahan bakar biomasa lebih kompleks serta memerlukan persiapan dan pemrosesan yang lebih khusus. Sifat dan karakteristik meliputi berat jenis yang kecil sekitar 122 kg/m³, jumlah abu hasil pembakaran yang tinggi dengan temperatur titik lebur abu yang rendah. Abu hasil pembakaran berkisar antara 16-23% dengan kandungan silika sebesar 95% [4]. Titik lebur yang rendah disebabkan oleh kandungan alkali dan alkalin yang relatif tinggi. Kandungan uap air (*moisture*) pada biomasa umumnya lebih tinggi dibandingkan bahan bakar fosil, akan tetapi kandungan uap air pada sekam padi relatif sedikit karena sekam padi merupakan kulit padi yang kering sisa proses penggilingan. Sekam padi mempunyai panjang sekitar 8-10 mm dengan lebar 2-3 mm dan tebal 0,2 mm.

Karakteristik lain yang dimiliki oleh bahan bakar sekam padi adalah kandungan zat volatil yang tinggi (*high-volatile matter*) yaitu zat yang mudah menguap. Kandungan zat volatilnya berkisar antara 50-80% dimana bahan bakar fosil hanya mempunyai 20-30% untuk jenis batu bara medium. Energi konversi yang dihasilkan lebih banyak berasal dari zat volatil ini dibandingkan dengan bara api (*solid residue*) biomasa [5].

Uap air adalah komponen zat volatil pertama yang muncul sesaat setelah temperatur mencapai 100°C untuk rentang temperatur operasi sampai 900°C. Selanjutnya, komponen H₂, CO, dan CO₂ akan terbentuk bersamaan dengan formasi hidrokarbon dalam jumlah yang banyak seperti CH₄ sampai tar. Biasanya, jelaga (*soot*) akan terbentuk selama proses divolitisasi dimana elemen N dan S akan muncul dalam bentuk NH₃, HCn, CH₃CN, H₂S, COS dan CS₂. Kalau terjadi ketidaksempurnaan pembakaran sebagai akibat cepatnya evolusi zat volatil akan mengakibatkan deposisi tar, formasi dioxin di *backpass* dan atmosfer seperti NO_x, CO, SO₂ dan N₂O [6].



Gambar 1. Sampel Bahan Bakar Sekam Padi

Tabel 1. Karakteristik sekam padi

Proximate analysis	
Moisture	6 %
Ash	16,92 %
Volatile	51,98 %
Fixed carbon	25,1 %
Ultimate analysis	
Carbon	37,6 %
Hydrogen	4,888 %
Shulfur	0,094 %
Nitrogen	1,888 %
Oxygen	32,61 %
Ash	16,92 %
Gross calorific value	13,4 – 15 MJ/kg
Physical Properties	
Diameter range	0 – 10 mm
Equivalent mean deameter	1,60 mm
Natural packing density	122 kg/m ³
Real density	500 kg/m ³

Sumber : Fang, et. al. 2004 halaman 1274 [3]

2.3 Fluidisasi

Fluidisasi dapat didefinisikan sebagai suatu operasi dimana hamparan zat padat diperlakukan seperti fluida yang ada dalam keadaan berhubungan dengan gas atau cairan [7]. Di dalam kondisi terfluidisasi, gaya gravitasi pada butiran – butiran zat padat diimbangi oleh gaya seret dari fluida yang bekerja padanya.

Bila zat cair atau gas dilewatkan melalui lapisan hamparan partikel pada kecepatan rendah, partikel itu tidak bergerak. Jika kecepatan fluida berangsur – angsur naik, partikel itu akhirnya akan mulai bergerak dan melayang di dalam fluida, serta berperilaku seakan-akan seperti fluida rapat.

Pada proses pengkonversian energi dengan teknologi FBC, Awalnya ruang bakar dipanasi secara eksternal sampai mendekati temperatrur operasi. Material hamparan (*bed material*) fluidisasi yang lumrah dipakai untuk mengabsorbsi panas adalah pasir silika. Pasir silika dan bara api bahan bakar bercampur dan mengalami turbulensi di dalam ruang bakar sehingga keseragaman temperatur sistem menjadi terjaga. Kondisi ini mampu memberikan garansi konversi energi yang baik. Selanjutnya, dengan bidang kontak panas yang luas disertai turbulensi partikel fluidisasi yang cepat menyebabkan FBC teknologi bisa diaplikasikan untuk mengkonversi segala jenis bahan bakar bahkan dengan ukuran yang tidak seragam seperti bahan bakar sekam padi.

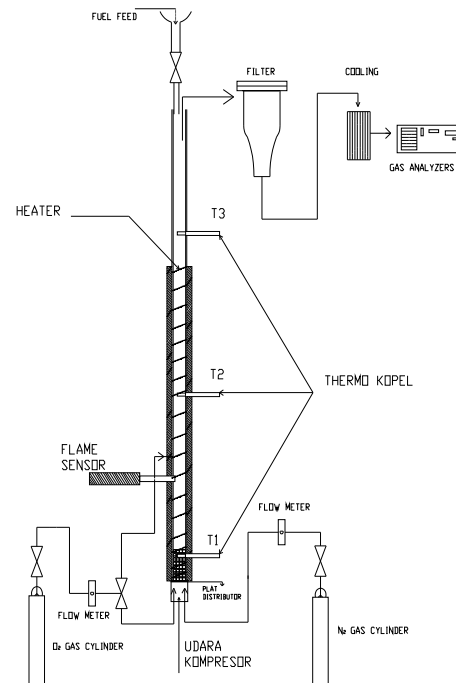
Kualitas fluidisasi adalah faktor paling utama yang mempengaruhi efisiensi sistem FBC. Umumnya, sekam padi sangat sulit difluidisasi mengingat

bentuknya yang silindris, berupa butiran dan berlapis. Pembakaran dengan *fluidized bed* (FBC) muncul sebagai alternatif yang memungkinkan dan memiliki kelebihan yang cukup berarti dibanding sistim pembakaran yang konvensional dan memberikan banyak keuntungan, rancangan yang kompak, fleksibel terhadap bahan bakar, efisiensi pembakaran yang tinggi dan berkurangnya emisi polutan yang merugikan seperti SOx dan NOx.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Deskripsi Alat

Penelitian dilakukan pada unit *combustor* skala kecil yang didesain untuk keperluan laboratorium. Diagram skematik unit FBC yang didesain serta alat ukur yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Skematik Unit FBC

3.2 Pelaksanaan Pengujian

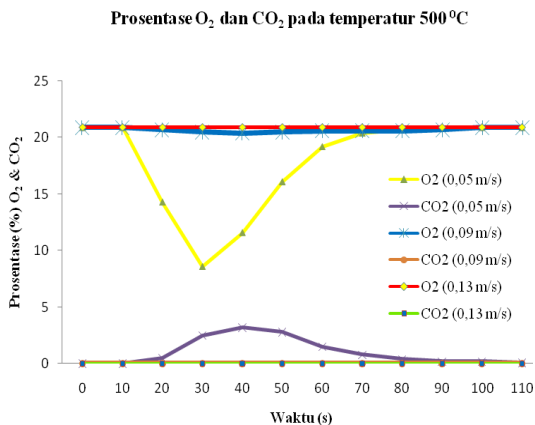
Langkah – Langkah yang dilakukan dalam pengujian ini yaitu :

- Siapkan semua peralatan bantu pengujian dan pastikan tempat melakukan penelitian bersih dan udara sekitar tempat penelitian bebas dari asap yang bukan dari unit FBC serta sirkulasi udara dalam keadaan baik.
- Masukkan bahan material hamparan pasir silika ke dalam hamparan.
- Hembuskan gas nitrogen (N₂) untuk menetralsir keadaan di dalam reaktor,

- kemudian panaskan ruang bakar dengan heater sampai temperatur 500⁰C sampai 600⁰C.
- Setelah temperatur operasi tercapai, hembuskan udara dari kompresor, dan atur kecepatan fluidisasi dengan menyeting angka yang ada pada alat *flow meter* sesuai dengan kecepatan yang diinginkan, yaitu 0,05 m/s, 0,09m/s, dan 0,13 m/s.
 - Masukkan bahan bakar sekam padi, kemudian masukan probe gas analyzer ke ujung pipa pembuangan dimana gas analyzer tersebut yang sudah dilengkapi dengan *Filter* dan *Cooling System*.
 - Catat hasil emisi gas buang yang dihasilkan, kemudian olah data dan tunjukan dalam tabel dan grafik hubungan antara kecepatan fluidisasi/superficial dengan emisi gas buang CO, O₂, NO_x dan CO₂.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencatatan data dilakukan pada saat bahan bakar dimasukan ke dalam ruang bakar dengan interval waktu 10 detik untuk setiap kali pencatatan. Pemasukan bahan bakar dilakukan dengan cara menjatuhkan bahan bakar dari *fuel feed* yang terletak diatas *Bed*. Pengambilan data ini menggunakan *Gas Analyzer* (IMR 1400 IR) yang bisa mendeteksi kadar atau prosentase dari CO, O₂, CO₂, dan NO_x, dan dari pengambilan data tersebut dapat dilihat seperti grafik dibawah ini:

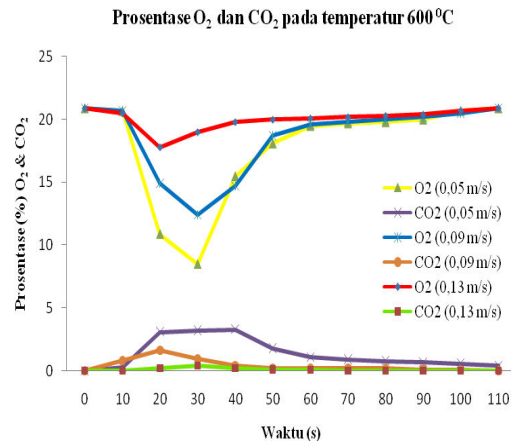


Gambar 3. Grafik prosentase O₂ dan CO₂ pada pembakaran sekam padi dengan temperatur 500⁰C

Gambar 3 diatas menunjukkan prosentase O₂ dan CO₂ pada temperatur 500⁰C. Dengan memvariasikan kecepatan superficial pada kecepatan superficial 0,05 m/s terjadi pembakaran yang lebih bagus dari kecepatan 0,09 m/s dan 0,13 m/s. Hal tersebut ditunjukkan ketika prosentase O₂ mengalami penurunan prosentase CO₂ mengalami peningkatan, terlihat bahwa

O₂ bereaksi dalam pembakaran dan menghasilkan CO₂ (C + O₂ = CO₂). Prosentase O₂ dan CO₂ merupakan parameter yang membuktikan bahwa terjadi pembakaran yang baik; yaitu pada kecepatan superficial 0,05 m/s, sedangkan pada kecepatan superficial 0,09 m/s dan 0,13 m/s terjadi pembakaran tapi pembakarannya sangat sedikit.

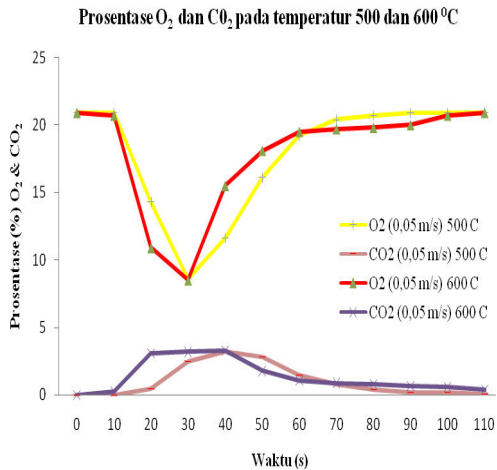
Gambar 3 diatas menunjukkan prosentase O₂ dan CO₂ pada temperatur 500⁰C. Dengan memvariasikan kecepatan superficial pada kecepatan superficial 0,05 m/s terjadi pembakaran yang lebih bagus dari kecepatan 0,09 m/s dan 0,13 m/s. Hal tersebut ditunjukkan ketika prosentase O₂ mengalami penurunan prosentase CO₂ mengalami peningkatan, terlihat bahwa O₂ bereaksi dalam pembakaran dan menghasilkan CO₂ (C + O₂ = CO₂). Prosentase O₂ dan CO₂ merupakan parameter yang membuktikan bahwa terjadi pembakaran yang baik; yaitu pada kecepatan superficial 0,05 m/s, sedangkan pada kecepatan superficial 0,09 m/s dan 0,13 m/s terjadi pembakaran tapi pembakarannya sangat sedikit.



Gambar 4. Grafik prosentase O₂ dan CO₂ pada pembakaran sekam padi dengan temperatur 600⁰C

Gambar 4 menunjukkan pembakaran pada temperatur 600⁰C terjadi di setiap kecepatan superficial (0,05 m/s, 0,09 m/s, dan 0,13 m/s). Pembakaran yang paling banyak prosentase oksigen turun terjadi pada kecepatan superficial 0,05 m/s, yaitu prosentase oksigen (O₂) sebesar 8,5 %, sedangkan pada peningkatan prosentase karbondioksida (CO₂) yang paling tinggi juga terjadi pada kecepatan superficial 0,05 m/s yaitu sebesar 3,28 %. Pada kecepatan superficial 0,09 m/s dan 0,13 m/s baik pada prosentase oksigen (O₂) dan karbondioksida (CO₂), lebih sedikit terjadi peningkatan karena bahan bakar yang terbakar dalam kecepatan tersebut lebih sedikit akibat dari ringannya berat jenis bahan bakar sekam padi sehingga

bahan bakar tersebut melayang diatas ruang pembakaran.



Gambar 5. Grafik prosentase O₂ dan CO₂ pada kecepatan superficial 0,05 m/s pada temperatur 500 dan 600 °C.

Gambar 5. merupakan perbandingan reaksi pada kecepatan superficial 0,05 m/s pada temperatur 500 dan 600 °C, dan dapat terlihat pada temperatur 600 °C pembakaran yang terjadi lebih cepat dari pada temperatur 500 °C, yaitu detik 20 pada temperatur 600 °C dan detik 30 pada temperatur 500 °C, hal ini disebabkan oleh lebih tingginya temperatur operasi (*Bed*) dan tingginya zat volatil yang terkandung dalam bahan bakar sekam padi. Grafik diatas juga menunjukkan keterkaitan antara O₂ dan CO₂, yaitu ketika prosentase O₂ turun maka prosentase dari CO₂ secara bersamaan mengalami peningkatan.



Gambar 6. Pembakaran pada kecepatan superficial 0,05 m/s (500 °C sebelah kiri, 600°C sebelah kanan)

Adanya pembakaran yang lebih baik pada kecepatan superficial 0,05 m/s, temperatur 600 °C seperti pada Gambar 4, dapat juga dibuktikan dengan Gambar 6. Gambar 6 diatas merupakan contoh pembakaran nyala api pada kecepatan superficial 0,05 m/s dengan temperatur 500 °C (kiri) dan 600 °C

(kanan). Dalam gambar terlihat pada temperatur 600 °C nyala api yang terjadi lebih besar dari pada temperatur 500 °C, disebabkan temperatur yang tinggi dan ditambah dengan zat volatil pada bahan bakar sehingga pada temperatur 600 °C terjadi pembakaran yang lebih bagus.

5. KESIMPULAN

Formasi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran *Fluidized Bed* berbahan bakar biomasa sekam padi dengan variasi kecepatan fluidisasi dan temperatur operasi yang dilakukan, prosentase oksigen (O₂) lebih banyak turun pada kecepatan superficial 0,05 m/s baik pada temperatur 500 °C dan 600 °C, begitu juga pada peningkatan prosentase CO₂ yang lebih tinggi terjadi pada temperatur 600 °C dengan kecepatan superficial 0,05 m/s. Pada kecepatan superficial yang lebih tinggi, bahan bakar lebih sedikit terbakar di ruang bakar akibat ringannya berat jenis bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shimizu T., Franke H.J., Hori S., Yasuo T., Yamagiwa K., Tanaka M., 2003, "In-situ hydrocarbon capture and reduction of emissions of dioxins by porous bed material under fluidized bed incineration conditions. In: Pitsupati S, editor. 17th International Conference on FBC, Jacksonville FL, USA: ASME;FBC2003-031.
- [2] Winaya I. N. S., Shimizu T., 2007, "Reduction of the Volatile Matter Evolution Rate from a Plastic Pellet during Bubbling Fluidized Bed Pyrolysis by Using Porous Bed Material" Chemical Engineering & Technology Volume 30, Issue 8, Pages: 1003-1009
- [3] Fang, et. al., 2003. *Experimental study on rice husk combustion in a CFB*. Fuel Processing Technology 85;2004:1273-82.
- [4] Natarajan, at. al., 1997. *Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors*. Biomass and Bioenergy 1998;14(5-6):533-546.
- [5] Ogada T., Werther J., *Combustion Characteristics of Wet Sludge in a Fluidized Bed*. release and combustion of the volatiles. Fuel 1996;75:617-626
- [6] Fujiwara N., Yamamoto M., Oku T., Fujiwara K., Ishii S., 1995, "CO reduction by mild fluidization for municipal waste incinerator", In: Proc. of 1st SCEJ Symposium on Fluidization. Tokyo, Japan: SCEJ; pp.51-5.
- [7]. Basu Prabir and Fraser Scott A.,1991, *Circulating Fluidized Bed Boilers : Design and Operations*, Hainemann, USA