

## Pengaruh *Excess Air* terhadap Karakteristik Pembakaran dalam *Bubbling Fluidized Bed Combustor*

Fransisko Pandiangan<sup>\*</sup>, Tri Agung Rohmat, Purnomo

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2, Yogyakarta, 55281, Telp. dan Fax. (+62) 274 521 673

Telp. +62 856 4045 1057<sup>\*</sup>

E-mail: siskopandiangan@gmail.com<sup>\*</sup>

### Abstract

Fluidized bed combustion is the combustion technology which has some advantages, such as high combustion efficiency, ability to burn high heating value to low heating value solid fuel, can use for co-firing and also low emission of  $\text{NO}_x$ . One of the fluidized bed type combustor is bubbling fluidized bed combustor.

This research studied the effects of excess air on combustion characteristics in the bubbling fluidized bed combustor. The combustion characteristic was evaluated from the radial temperature distributions and axial temperature profiles. The combustion chamber with diameter of 63 cm had two parts: a cylindrical shape with height of 180 cm and conical shape with height of 60 cm and smaller diameter of 12.5 cm. The fuel was the coal from South Kalimantan within range of the 2 ~ 6 mm in diameter. Bed material was silica sand of 0.3 ~ 0.6 mm diameter size and the bed height was 25 cm. Excess air was made by varying the air mass flow rate or the fuel mass flow rate. The excess air are 9.16%, 29.60%, 58.56% with a constant mass flow rate of 5 kg/h fuel; and 9.65%, 29.60%, 59.22% excess air with a constant mass flow rate of 57,30 kg/h air.

The result showed that radial temperature distributions are relative uniform in the combustor with variation both the air mass flow rate variation and fuel mass flow rate variations. The temperatures decrease near the wall of the combustor because of the heat losses to surrounding. On the other hand the axial temperatures increase as the excess air increases from 9.16% to 29.60%, but they decrease when the excess air is 58.56%. The maximum temperature was observed at excess air 33% with the air mass flow rate variation. While the fuel mass flow rate is varied, the axial temperatures increase when the excess air increased from 9,65% to 29,60% but the temperatures decrease significantly at excess air 59.22%. The maximum temperature was observed at excess air 30% with the fuel mass flow rate variations. The higher excess air causes the better mixing of fuel and air however too much excess air dilutes the combustion gas which results in cooling effect.

**Key words:** Bubbling fluidized bed, excess air, combustor

### Pendahuluan

Salah satu teknologi sistem pembakaran bahan bakar padat yang memiliki efisiensi tinggi adalah *Fluidized Bed Combustor* (FBC). Beberapa keuntungan FBC ini adalah selain memiliki efisiensi tinggi juga bisa digunakan untuk pembakaran berbagai jenis bahan bakar padat dari yang bernilai kalor tinggi sampai bernilai kalor rendah. Keuntungan lain adalah pembentukan emisi gas  $\text{NO}_x$  yang relatif kecil karena temperatur pembakarannya hanya berkisar  $800^\circ\text{C}$  ~  $900^\circ\text{C}$ .

Bahan bakar biomassa merupakan sumber energi yang sangat potensial di Indonesia karena ketersediaannya yang berlimpah. Namun pemanfaatan bahan bakar biomassa masih belum optimal. Alasannya adalah ketersediaan bahan

bakar biomassa yang tergantung dari musim sehingga ketersediaannya tidak bisa kontinu dan juga kendala lain adalah biaya transportasi pengangkutan biomassa karena *energy density* bahan bakar biomassa yang relatif kecil.

Diversifikasi bahan bakar adalah cara terbaik dalam optimalisasi pemanfaatan bahan bakar biomassa. Dengan sistem *co-firing* dalam FBC, bahan bakar biomassa dapat dikombinasikan dengan bahan bakar lain seperti batubara dan dimanfaatkan sebagai bahan bakar tambahan. *Fluidized bed* sudah dibuktikan sebagai sebuah teknologi serbaguna yang dapat digunakan untuk pembakaran bahan bakar kombinasi apapun dengan emisi yang rendah (Anthony, 1995). Teknologi *fluidized bed* banyak digunakan untuk *co-combustion* batubara dan biomassa baik dalam *Bubbling Fluidized Bed Combustor* (BFBC) maupun *Circulating Fluidized Bed Combustor* (CFBC). Teknologi FBC ini semakin tahun semakin berkembang dan semakin banyak dimanfaatkan

untuk boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sebanyak 10000 boiler BFBC sudah dipasang untuk menggantikan boiler konvensional di seluruh negara dunia (Basu, 2006).

Studi mengenai pembakaran batubara dalam *cylindrical fluidized bed* mempelajari profil temperatur dalam ruang bakar, efisiensi pembakaran karbon dan *fluidisation number* dilakukan oleh Patumsawad (2000). Kuprianov et al. (2004) melakukan penelitian tentang pembakaran biomassa ampas tebu *pre-dried* dalam *conical fluidized bed combustor* dengan mempelajari efek udara lebih terhadap profil temperatur aksial dan profil emisi gas buang. Adapun penelitian *co-combustion* batubara dengan sekam padi dalam CFB dengan mempelajari tentang efek rasio campuran bahan bakar, laju massa udara primer dan sekunder terhadap profil temperatur dan konsentrasi gas buang dilakukan oleh Prompubess et al. (2006).

Pada penelitian ini, sebagai inisiasi pemanfaatan biomassa dengan teknologi *co-firing* dalam FBC maka dilakukan *single-firing* batubara dalam FBC. Adapun penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *excess air* terhadap karakteristik pembakaran batubara dalam *conical fluidized bed combustor* sebagai tahap awal dalam penelitian tentang *co-firing* batubara dan biomassa dalam *bubbling fluidized bed combustor*.

### Metodologi Penelitian

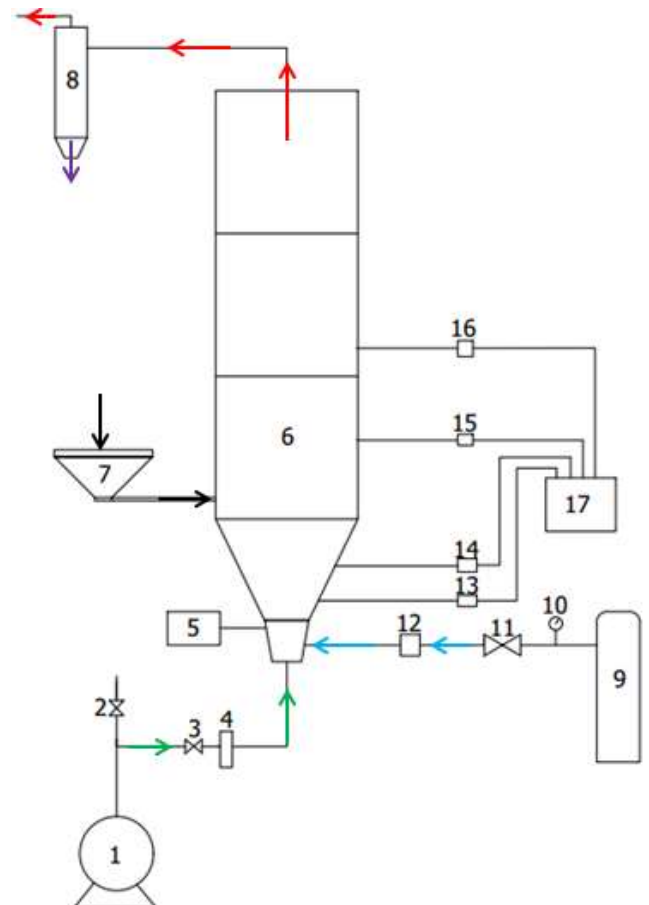
Peralatan penelitian ini terdiri dari beberapa komponen yaitu ruang bakar, siklon, blower, *screw feeder*, sistem pengapain LPG dan sistem pengukuran dan *data logger* temperatur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Ruang bakar terdiri dari dua bagian yaitu *conical* dan *cylindrical*. *Conical combustor* memiliki diameter besar 63 cm dan diameter kecil 12,5 cm dengan tinggi 60 cm sementara *cylindrical combustor* memiliki diameter 63 cm dan tinggi 1,8 m. Siklon digunakan untuk menangkap *fly ash* yang terbawa bersama gas buang hasil pembakaran batubara.

Sebuah blower dengan daya 20 Hp digunakan untuk menyuplai udara ke dalam ruang bakar dengan melewati sebuah distributor udara. Distributor udara yang digunakan adalah *plate - type distributor* dengan diameter plat distributor 4 inchi dan diameter lubang udara 2 mm dan jarak antar lubang sebesar 2 mm.

Sistem pengapain LPG terdiri rangkaian elektronik

busi dan *burner* LPG.. Sistem pengapain LPG digunakan untuk memanaskan material *bed* sampai pembakaran batubara stabil. Batubara disuplai dengan *over bed screw feeder* pada ketinggian 70 cm di atas distributor udara.

Material *bed* yang dipakai adalah pasir silika dengan ukuran 0,3 ~ 0,6 mm dan ketinggian bed adalah 25 cm. Bahan bakar yang digunakan adalah batubara Kalimantan Selatan dengan ukuran 2 ~ 6 mm. Nilai *proximate* dan *ultimate analysis* batubara ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Skema insatalasi FBC

Keterangan:

- |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. Blower                | 10. Pressure gage     |
| 2. Ball valve udara      | 11. Valve LPG         |
| 3. Globe valve udara     | 12. Rotameter LPG     |
| 4. Manometer udara       | 13. Termokopel 1 (T1) |
| 5. Sistem pengapain busi | 14. Termokopel 2 (T2) |
| 6. Ruang bakar           | 15. Termokopel 3 (T3) |
| 7. Screw feeder          | 16. Termokopel 4 (T4) |
| 8. Siklon                | 17. Data logger       |
| 9. LPG                   |                       |
- Aliran udara  
→ Aliran LPG  
→ Aliran gas exhaust  
→ Aliran abu  
→ Aliran batubara

Kondisi operasi dalam penelitian ini menjadi 2 bagian.

Kondisi pertama yaitu kondisi *excess air* dengan variasi laju massa udara pada laju massa bahan bakar yang konstan. Kondisi kedua yaitu kondisi *excess air* dengan variasi laju massa bahan bakar pada laju massa udara yang konstan. Kondisi operasi penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 1.** Nilai *proximate* dan *ultimate analysis* batubara Kalimantan Selatan

Proximate analysis (%wt)	
Moisture	18%
Fixed carbon (FC)	39%
Volatile Matter (VM)	38%
Ash	5%
LHV	4850 kal/g
Ultimate analysis (%wt)	
C	63,5%
H <sub>2</sub>	4,70%
N <sub>2</sub>	1,16%
O <sub>2</sub>	5,65%
S	2%

**Tabel 2.** Kondisi operasi penelitian

Kasus	Excess air (%)	Laju massa bahan bakar (kg/h)	Laju massa udara (kg/h)
A	9,16	5	48,26
B	29,60		57,30
C	58,56		70,10
D	9,65	5,91	57,30
E	59,22	4,07	

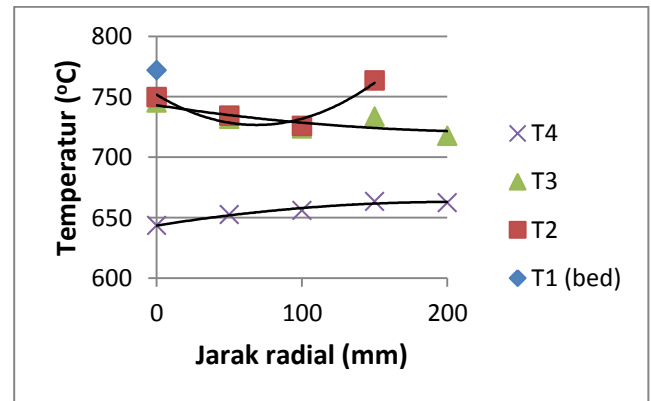
Pengoperasian alat dilakukan dengan cara memanaskan material *bed* dengan sistem pengapian LPG, sampai temperatur 450 °C kemudian batubara dimasukkan dan pada saat pembakaran batubara sudah stabil (sekitar 550 °C) maka LPG dimatikan dan pencatatan temperatur dilakukan pada saat temperatur sudah *steady*. Pencatatan data temperatur dilakukan dengan *sampling rate* 100 ms menggunakan *portable data logger* OMRON ZR-RX45.

Karakteristik pembakaran dievaluasi dari distribusi temperatur radial ruang bakar dan profil temperatur aksial. Temperatur diukur dengan 4 termokopel tipe K dengan masing – masing ketinggian 15 cm, 30 cm, 65 cm dan 125 cm diukur dari distributor udara. Temperatur radial diukur untuk setiap 50 mm jarak radial sampai jarak radial 200 mm dari tengah menuju dinding *combustor*. Temperatur aksial dihitung dengan metode *area-weighted-average*.

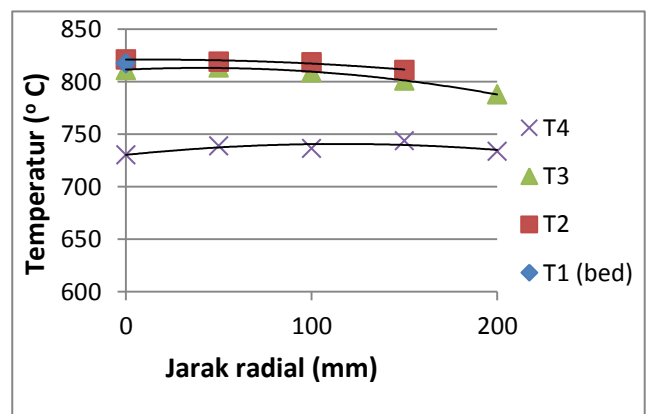
## Hasil Dan Pembahasan

### Pengaruh *excess air* terhadap distribusi temperatur radial

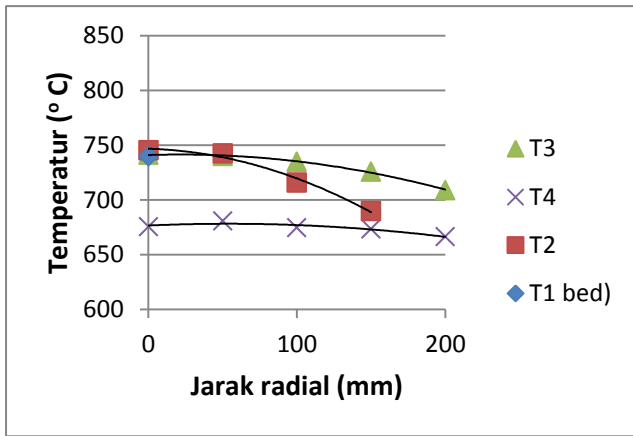
Distribusi temperatur radial pada kasus A, B, dan C ditunjukkan pada Gambar 2, 3, dan 4. Grafik menunjukkan bahwa distribusi temperatur radial dari tengah *combustor* menuju ke dinding (jarak radial 0 ~ 200 mm) relatif *uniform* untuk semua termokopel untuk kasus A, B dan C. Penurunan temperatur yang relatif kecil terjadi di daerah dekat dinding *combustor* karena *heat losses* ke lingkungan. Pada kasus A, kenaikan temperatur T2 pada jarak radial 150 mm seperti yang ditunjukkan Gambar 2 terjadi karena efek fluidisasi. *Bed* terfluidisasi di bagian dinding *combustor* sehingga menyebabkan temperatur di sekitar dinding mengalami kenaikan. Namun temperatur T1, T3, dan T4 tidak mengalami kenaikan di dekat dinding (jarak radial 200 mm) karena *excess air* yang cukup rendah sehingga efek fluidisasi hanya terjadi pada ketinggian sekitar 30 cm.



**Gambar 2.** Distribusi temperatur radial pada kasus A

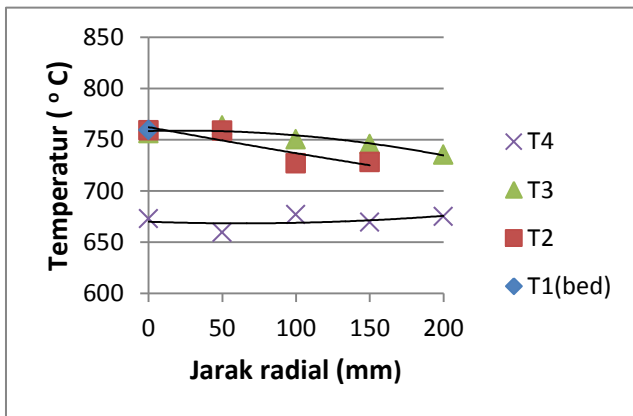


**Gambar 3.** Distribusi temperatur radial pada kasus B

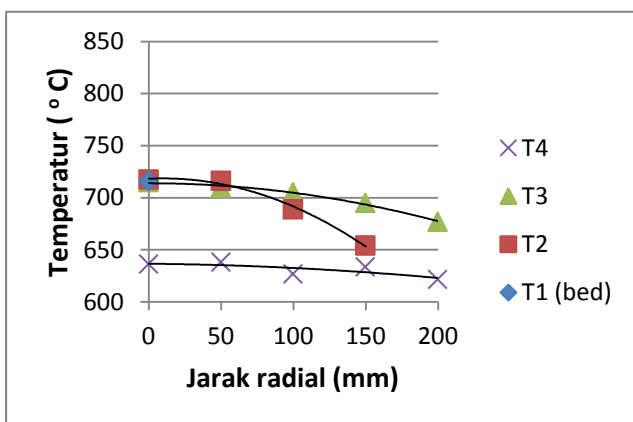


Gambar 4. Distribusi temperatur radial pada kasus C

Pada kasus B dan C distribusi temperatur radial T1, T2, T3, dan T4 cukup uniform dari tengah *combustor* menuju ke dinding (jarak radial 0 ~ 200 mm). Penurunan temperatur yang terjadi relatif kecil di daerah dinding *combustor* dan hal ini disebabkan oleh *heat losses* ke lingkungan.



Gambar 5. Distribusi temperatur radial pada kasus D



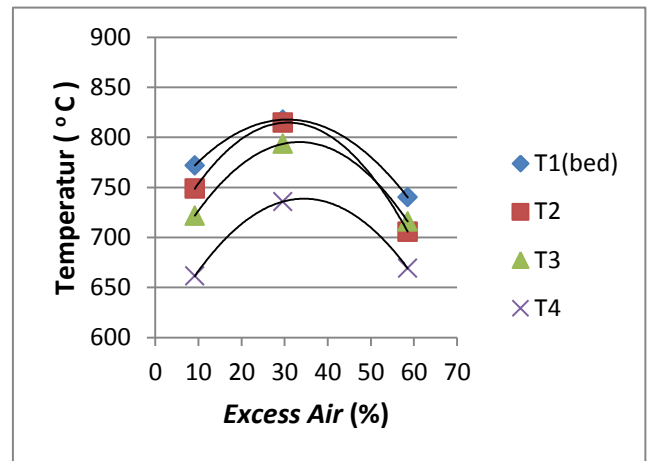
Gambar 6. Distribusi temperatur radial pada kasus E

Pada kasus D dan E distribusi temperatur radial T1, T2, T3, dan T4 relatif *uniform* dari tengah *combustor* menuju ke dinding (jarak radial 0 ~

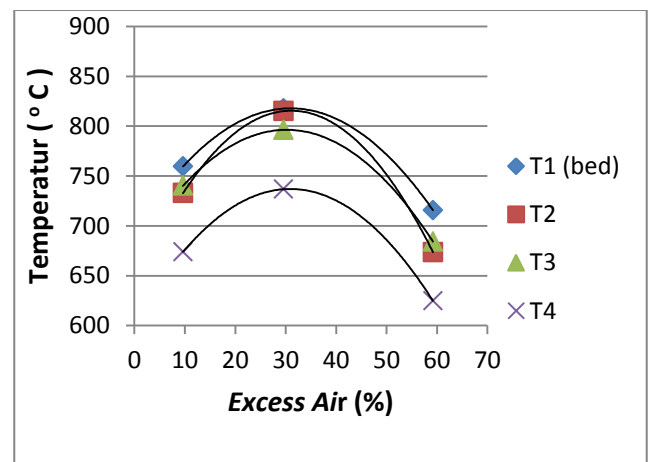
200 mm) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Temperatur di bagian tengah *combustor* relatif lebih tinggi karena efek fluidisasi dimana konsentrasi *entrainment bed* cukup besar di bagian tengah. Penurunan temperatur yang relatif kecil terjadi di dekat dinding karena *heat losses* dari dinding ke lingkungan.

*Pengaruh excess air terhadap profil temperatur aksial*

Profil temperatur aksial untuk *excess air* dengan variasi laju massa udara ditunjukkan pada Gambar 7. Temperatur aksial T1, T2, T3, dan T4 mengalami kenaikan yang signifikan pada saat *excess air* dinaikkan dari 9,16% sampai 29,60%. Temperatur maksimum dicapai pada saat *excess air* sekitar 33%. Apabila *excess air* dinaikkan sampai 58,56% temperatur aksial akan mengalami penurunan yang cukup signifikan dan akan semakin turun apabila *excess air* dinaikkan lagi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Profil temperatur aksial pada *excess air* dengan variasi laju massa udara



Gambar 8. Profil temperatur aksial pada *excess air* dengan variasi laju massa bahan bakar

Profil temperatur aksial untuk *excess air* dengan variasi

laju massa bahan bakar ditunjukkan pada Gambar 8. Temperatur aksial mengalami kenaikan yang signifikan pada saat *excess air* dinaikkan dari 9,65% sampai 29,60%. Temperatur maksimum dicapai pada saat *excess air* sekitar 30%. Apabila *excess air* dinaikkan sampai 59,22% temperatur aksial mengalami penurunan yang cukup signifikan dan akan semakin turun apabila *excess air* dinaikkan lagi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Dari hasil-hasil di atas, dapat dilihat bahwa apabila udara stoikiometris disuplai maka proses pembakaran menjadi tidak sempurna karena distribusi udara di dalam ruang bakar kurang baik. Hal ini menyebabkan *mixing* antara bahan bakar dan udara menjadi kurang baik. Dengan adanya *excess air* maka *mixing* antara bahan bakar dan udara menjadi lebih baik sehingga proses pembakaran menjadi sempurna dan lebih baik sehingga kalor hasil pembakaran menjadi lebih besar. Namun *excess air* yang terlalu besar menyebabkan penurunan temperatur aksial. Hal ini disebabkan oleh *heat losses* dimana *excess air* menyerap kalor hasil pembakaran.

## Kesimpulan

1. Distribusi temperatur radial relatif *uniform* dari tengah *combustor* menuju dinding baik pada *excess air* dengan variasi laju massa udara maupun variasi laju massa bahan bakar.
2. Pada pembakaran *excess air* dengan variasi laju massa udara, temperatur aksial mengalami kenaikan pada saat *excess air* dinaikkan dan mencapai maksimum pada *excess air* sekitar 33%.
3. Pada pembakaran *excess air* dengan variasi laju massa bahan bakar, temperatur aksial mengalami kenaikan pada saat *excess air* dinaikkan dan mencapai maksimum pada *excess air* sekitar 30%. Penurunan temperatur yang cukup signifikan terjadi apabila *excess air* cukup besar.

## Ucapan Terimakasih

Penelitian ini merupakan salah satu bagian dari proyek penelitian STRANAS 2012 - 2013 yang berjudul “*Co-firing* batubara dan sampah tebu dalam FBC *combustor* sebagai penanggulangan krisis energi”. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada rekan satu tim dalam penelitian ini Kevin Kristiantana dan Ian Kevin.

## Nomenklatur

BFBC	Bubbling Fluidized Bed Combustor
CFBC	Circulating Fluidized Bed Combustor
FC	Fixed Carbon
LHV	Lower Heating Value (kal/g)
VM	Volatile matter

## Referensi

- Anthony, E.J. Fluidized Bed Combustion of Alternative Solid Fuels; Status and Problem of the Technology, *Progress in Energy and Combustion Science*: 21: 239-268 (1995).
- Basu, P. *Combustion and Gasification in Fluidized Bed*, Halifax: Taylor and Francis Group LLC (2006).
- Kuprianov, V.I., Permchart, W., Janvijitajakul, K. Fluidized Bed Combustion of Pre-dried Thai Bagasse, Sirindhorn Institute Technology, Thailand (2004).
- Patumsawad, S. Coal Combustion Studies in Fluidized Bed, Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, North Bangkok (2000).
- Prompobess, C., Mekasut, L., Piumsomboon, P., Kuchontara, P., et al., Co-combustion of Coal and Biomass in Circulating Fluidized Bed Combustor, *Korean J. Chem.*, 24(6), 989-995, Korea (2007).