

# Co-Firing Sistem Fluidized Bed Berbahan Bakar Batubara dan Ampas Tebu

I Nyoman Suprapta Winaya<sup>1)</sup>, Ida Bagus Agung Darma Susila<sup>2)</sup>

<sup>(1),(2)</sup> Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali-80361  
email :nswinaya@gmail.com

---

## Abstrak

Pemanfaatan sumber energi biomasa sebagai salah satu sumber energi alternatif di Indonesia sangatlah potensial karena ketersediaannya yang sangat berlimpah. Akan tetapi, bahan bakar biomasa seperti ampas tebu misalnya, mempunyai nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar batubara sehingga untuk memperbaikinya dapat dilakukan dengan metode Co-firing. Co-firing juga diklaim dapat menurunkan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembakaran batubara konvensional. Penelitian ini dilakukan pada unit fluidized bed combustion (FBC) skala laboratorium dengan ukuran diameter combustor 50 mm dengan tinggi 100 mm. Pada penelitian ini temperatur fluidisasi divariasikan pada 500 °C dan 600 °C. Udara fluidisasi dihembuskan dari bawah plat distributor dengan kecepatan superficial ( $U_0$ ) yang divariasikan yaitu 5 cm/s, 9 cm/s dan 13 cm/s. Bahan bakar campuran ampas tebu dan batubara dimasukkan dari bagian atas combustor, kemudian dilakukan pencatatan terhadap perubahan temperatur yang terjadi dan emisi gas buang yang dihasilkan saat proses pembakaran. Dari hasil penelitian berdasarkan variasi yang telah dilakukan, co-firing bahan bakar ampas tebu dan batubara yang paling komplit terjadi pada kecepatan 5 cm/s pada temperatur 600 °C

**Kata kunci:** pembakaran fluidized bed, ampas tebu, emisi gas buang, zat volatil

## Abstract

Utilization of biomass energy resources as a source of alternative energy in Indonesia is very potential, bagasse is one such example. Bagasse fuel can be combined with other fossil energy such as coal called Co-firing process to increase its calorific value and reduce green house gas emission. Research was conducted on the unit of fluidized bed combustion (FBC) laboratory scale of 50 mm in diameter and 100 mm in height. In this study, an external heating temperature (500 °C and 600 °C) with air superficial velocity ( $U_0$ ) is varied which is 5 cm/s, 9 cm/s, and 13 cm/s. After the reactor reached operating temperature, fluidization air exhaled from below the distributor plate, and pellet fuel bagasse and coal mixture was inserted so that the combustion occurred. The temperature changes and gas emissions generated during the combustion process were analyzed. Based on the investigation, a complete combustion was occurred at velocity of 5 cm/s with operation temperature of 600 °C

**Keywords:** fluidized bed combustion, bagasse, gas emissions, volatile substances

---

## 1. PENDAHULUAN

Ampas tebu adalah salah satu energi alternatif yang dapat digunakan untuk menanggulangi krisis energi yang terjadi saat ini. Energi ampas tebu tidak hanya jumlahnya berlimpah tetapi juga merupakan energi terbarukan. Dari satu pabrik dihasilkan ampas tebu sekitar 35 – 40% dari berat tebu yang digiling. Pada musim giling 2006 lalu, data yang diperoleh dari Ikatan Ahli Gula Indonesia (Ikagi) menunjukkan bahwa jumlah tebu yang digiling oleh 57 pabrik gula di Indonesia mencapai sekitar 30 juta ton, sehingga ampas tebu yang dihasilkan diperkirakan mencapai 10 juta ton [1].

Biaya investasi untuk pengumpulan, transportasi dan penyimpanan energi ampas tebu relatif kecil karena lokasinya sudah terkonsentrasi pada pabrik-pabrik penggilingan tebu. Jika suatu teknologi tersedia, bahan bakar ampas tebu ini akan bisa

dikonversi menjadi energi *thermal* untuk kebutuhan energi.

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/m<sup>3</sup>, jumlah abu hasil pembakaran yang tinggi dengan temperatur titik leleh abu yang rendah. Abu hasil pembakaran berkisar antara 2,5% dengan kandungan silika sebesar 95% [2] (Natarajan et.al,1998). Titik leleh yang rendah disebabkan oleh kandungan alkali dan alkanin yang relatif tinggi. Kandungan uap air (*moisture*) pada biomasa umumnya lebih tinggi dibandingkan bahan bakar fosil, akan tetapi kandungan uap air pada ampas tebu relatif sedikit karena ampas tebu merupakan sisa dari proses penggilingan. Ampas tebu mempunyai panjang sekitar 1,7-2 mm.

Salah satu karakteristik bahan bakar biomasa yang paling berpengaruh terhadap performansi pembakaran adalah kandungan zat volatil yang tinggi dengan nilai kalor yang rendah. Nilai kalor rendah akan menyebabkan turunnya temperatur maksimum pembakaran dan meningkatkan waktu pembakaran yang dapat menyebabkan terjadinya pembakaran yang tidak sempurna. Maka dari itu dilakukan proses *co-firing* untuk menaikkan nilai kalor bahan bakar biomasa dan menurunkan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Bahan bakar campuran ampas tebu dan batubara dimasukkan ke dalam unit pembakaran *fluidized bed*, kemudian dilakukan analisis terhadap distribusi temperatur sepanjang hamparan (*bed*) dan emisi gas buang yang dihasilkan saat proses pembakaran.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Karakteristik bahan bakar biomasa

Uap air adalah komponen zat volatil pertama yang muncul sesaat setelah temperatur mencapai 100 °C untuk rentang temperatur operasi sampai 900 °C. Selanjutnya, komponen H<sub>2</sub>, CO, dan CO<sub>2</sub> akan terbentuk bersamaan dengan formasi hidrokarbon dalam jumlah yang banyak seperti CH<sub>4</sub> sampai tar. Biasanya, jelaga (*soot*) akan terbentuk selama proses divolitisasi dimana elemen N dan S akan muncul dalam bentuk NH<sub>3</sub>, HCn, CH<sub>3</sub>CN, H<sub>2</sub>S, COS, dan CS<sub>2</sub>.

**Tabel 1. Karakteristik ampas tebu [3]**

<b>Proximate analysis</b>	
<i>Moisture</i>	21,8 %
<i>Ash</i>	2,5 %
<i>Volatile</i>	72,7 %
<i>Fixed carbon</i>	3,5 %
<b>Ultimate analysis</b>	
<i>Carbon</i>	47,0%
<i>Hydrogen</i>	6,5 %
<i>Shulfur</i>	0,1 %
<i>Nitrogen</i>	0,9 %
<i>Oxygen</i>	44,0 %

<i>Ash</i>	2,5 %
<i>Gross calorific value</i>	3596,98 J/kg
<b>Physical Properties</b>	
<i>Diameter range</i>	0 – 10 mm
<i>Equivalent mean deameter</i>	1,7- 2 mm
<i>Natural packing density</i>	122 kg/m <sup>3</sup>

### 2.2 Co-firing

*Co-firing* merupakan suatu proses pembakaran dua material yang berbeda secara bersamaan. Dengan menggunakan *co-firing* emisi dari pembakaran suatu bahan bakar fosil dapat dikurangi. *Co-firing* merupakan salah satu metode alternatif untuk mengubah biomasa menjadi tenaga listrik, yaitu dengan cara substitusi sebagian batubara dengan biomasa ke dalam sebuah unit pembangkit. Biomasa dikenal sebagai *zero CO<sub>2</sub>* emisi, dengan kata lain tidak menyebabkan akumulasi CO<sub>2</sub> di atmosfer, dan biomasa juga mengandung lebih sedikit sulfur jika dibandingkan dengan batubara. Oleh karena itu, *co-firing* batubara dan biomasa menyebabkan menurunnya emisi CO<sub>2</sub> dan jumlah polutan NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> dari bahan bakar fosil.

Hingga saat ini, terdapat tiga jenis konfigurasi *co-firing* yang telah digunakan, yaitu *direct co-firing*, *indirect cofiring*, dan *parallel co-firing*.

#### a. Direct Co-firing

Pada konfigurasi ini, biomasa (sebagai bahan bakar sekunder) dimasukkan bersamaan dengan batubara (sebagai bahan bakar primer) ke dalam boiler yang sama. *Direct co-firing* lebih umum digunakan karena paling murah. Pada *direct co-firing* sendiri, ada dua pendekatan yang dapat dilakukan. Yang pertama adalah pencampuran dan perlakuan awal terhadap biomasa dan batubara dilakukan bersamaan sebelum diumpankan ke pembakar. Yang kedua, perlakuan awal biomasa dan batubara dilakukan secara terpisah, kemudian baru diumpankan ke pembakar.

#### b. Indirect Co-firing

Konfigurasi *indirect co-firing* mengacu pada proses gasifikasi biomasa, dimana gas hasil gasifikasi biomasa kemudian diumpankan ke dalam pembakar dan dibakar bersama batubara. Dengan menggunakan konfigurasi ini, abu dari biomasa akan terpisah dari abu batubara dengan tetap menghasilkan rasio *co-firing* yang sangat tinggi. Kekurangan dari *indirect co-firing* adalah biaya investasinya yang tinggi.

c. *Parallel Co-firing*

*Parallel co-firing* melibatkan suatu pembakar dan boiler terpisah untuk biomasa, dimana hasil pembakaran dari biomasa akan membangkitkan uap yang kemudian akan digunakan pada sirkuit power plant pembakaran batubara. Walaupun konfigurasi ini membutuhkan investasi yang lebih besar daripada *direct co-firing*, konfigurasi ini memiliki kelebihan tersendiri. Dengan menggunakan konfigurasi ini, sangatlah mungkin untuk digunakan bahan bakar dengan kandungan logam alkali dan klorin tinggi dan abu dari hasil pembakaran batubara serta biomasa akan dihasilkan terpisah.

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 [4]. Di dalam kondisi terfluidisasi, gaya gravitasi pada butiran – butiran zat padat diimbangi oleh gaya seret dari fluida yang bekerja padanya.

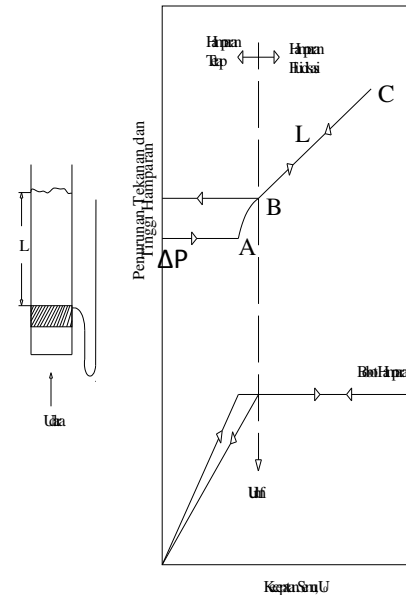
Bila zat cair atau gas dilewatkan melalui lapisan hamparan partikel pada kecepatan rendah, partikel itu tidak bergerak. Jika kecepatan fluida berangsur – angsur naik, partikel itu akhirnya akan mulai bergerak dan melayang di dalam fluida, serta berperilaku seakan-akan seperti fluida rapat.

Partikel hamparan (*bed material*) fluidisasi yang lumrah dipakai untuk mengabsorpsi 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,

biomasa sangat sulit difluidisasi mengingat bentuknya yang tidak seragam dan ringan. 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.

2.4 Tahapan Fluidisasi



**Gambar 1.** Penurunan tekanan dan tinggi hamparan vs kecepatan semu didalam hamparan zat padat [5]

Udara dimasukan dibawah plat distributor (penyebar udara) dengan laju lambat, dan naik keatas melalui hamparan tanpa menyebabkan terjadinya gerakan pada partikel. Jika partikel itu cukup kecil, aliran didalam saluran – saluran diantara hamparan itu akan sebanding dengan kecepatan semu  $U_0$ . Jika kecepatan itu berangsur – angsur dinaikan, penurunan tekanan akan meningkat tetapi partikel – partikel itu akan masih tetap tidak bergerak dan tinggi hamparanpun tidak berubah. Kondisi ini disebut *fixed beds*. Pada kecepatan tertentu, penurunan tekanan melintasi hamparan itu akan mengimbangi gaya gravitasi yang dialaminya. Jika kecepatan masih dinaikan lagi, partikel itu akan mulai bergerak. Titik ini digambarkan oleh titik A pada Gambar 1.

Jika kecepatan itu terus ditingkatkan lagi, partikel – partikel itu akan memisah dan menjadi cukup

berjauhan satu sama lain sehingga dapat berpindah – pindah didalam hamparan itu dan fluidisasi yang sebenarnya pun mulai terjadi (titik B). Pada saat hamparan itu sudah terfluidisasi, penurunan tekanan melintasi hamparan konstan, tetapi tinggi hamparan bertambah terus apabila aliran ditingkatkan lagi (*Bubbling Fluidized Bed*). Jika laju aliran kehamparan fluidisasi itu berlahan – lahan diturunkan, penurunan tekanan tetap sama, tetapi tinggi hamparan berkurang mengikuti garis BC.

Perilaku hamparan fluidisasi sangat tergantung pada kapasitas dan besarnya gelembung gas, jenis partikel serta kecepatan aliran gas. Gelembung – gelembung cenderung bersatu dan menjadi besar (*Slugs*) pada waktu naik melalui hamparan fluidisasi, tahap ini disebut dengan *Slugging*. Jika kecepatan fluida ditingkatkan lagi maka hamparan akan berubah menjadi bergolak. Pada kondisi ini semua partikel dalam hamparan tersebut akan terbawa ikut mengalir bersama gas saat dialirkan gas pada kecepatan tinggi. Tahapan ini disebut dengan *turbulent beds*.

## 2.5 Kecepatan Minimum

Pada penelitian ini kecepatan minimum fluidisasinya dihitung dahulu sehingga nantinya variasi kecepatan fluidisasi yang akan diteliti ditentukan lebih besar dari kecepatan minimum yang didapat berdasarkan perhitungan. Namun sebelum menghitung kecepatan minimum fluidisasi ( $U_{mf}$ ), kita perlu menghitung fraksi ruang kosong ( $\epsilon_{mf}$ ) yang terjadi didalam hamparan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\epsilon_{mf} = \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho_p} \right) \dots\dots\dots 1$$

Dimana :

$\epsilon_{mf}$  = porositas minimum

$\rho_p$  = densitas partikel ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_b$  = densitas *bed* ( $\text{kg/m}^3$ )

Untuk menentukan Sferisitas partikel dapat digunakan persamaan When dan Yu dibawah ini:

$$\phi_s \cdot \epsilon_{mf}^3 \approx \frac{1}{4} \dots\dots\dots 2$$

Dimana :

$\phi_s$  = Sferisitas atau kebolaan

$\epsilon_{mf}$  = Porositas minimum

Setelah dihitung porositas minimum kemudian kita bisa menghitung bilangan *Archimedes*,  $Ar$  :

$$Ar = \frac{\rho_g (\rho_p - \rho_g) g D_p^3}{\mu^2} \dots\dots\dots 3$$

Dimana :

$Ar$  = Bilangan *Archimedes*

$D_p$  = Diameter partikel (m)

$g$  = Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$\rho_g$  = Densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  = Viskositas gas ( $\text{kg/m.s}$ )

Untuk menentukan Reynold number fluidisasi minimumnya dapat digunakan persamaan seperti dibawah ini :

$$Ar = 150 \frac{(1 - \epsilon_{mf})}{\phi^2 \epsilon_{mf}^3} Re_{mf} + \frac{1,75}{\phi \epsilon_{mf}^3} Re_{mf}^2 \dots\dots 4$$

Secara teoritis, jika nilai akurasi yang cukup untuk  $\epsilon_{mf}$  dan rata-rata diameter partikel ( $D_p$ ) dapat diperoleh, maka persamaan (4) dapat digunakan untuk menghitung kecepatan minimum fluidisasi ( $U_{mf}$ ), diekspresikan dalam istilah  $Ar$  dan  $Re_{mf}$ . Beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa  $\epsilon_{mf}$  bervariasi terhadap temperatur hamparan dalam suatu wadah kompleks dan tidak dapat diprediksi dengan mudah ketika partikel berada dalam kisaran ukuran 40 – 500  $\mu\text{m}$  dan kerapatan 1400 – 4000  $\text{kg/m}^3$ . Sebaliknya, semakin besar dan semakin rapat suatu partikel, dimana bilangan  $Ar \geq 26000$  dan  $Re_{mf} \geq 12,5$  tidak menunjukkan adanya peningkatan  $\epsilon_{mf}$  dengan temperatur hamparan. Untuk itu permasalahan dalam meramalkan kecepatan minimum fluidisasi tetap ada. Kecepatan minimum fluidisasi dapat dihitung dengan persamaan :

$$U_{mf} = \frac{Re_{mf} \times \mu}{\rho_g \times D_p} \dots\dots\dots 5$$

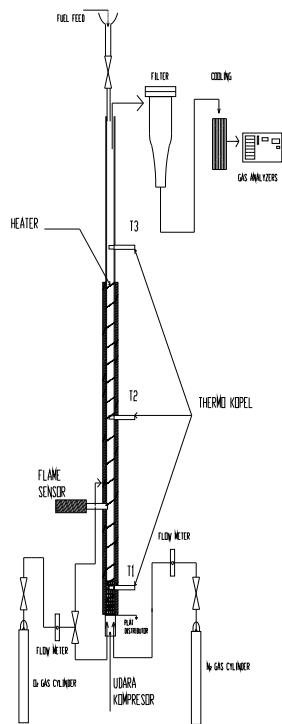
## 3. METODE PENELITIAN

### 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.

Proses pengkonversian energi pada teknologi FBC dilakukan dengan memanaskan ruang bakar secara eksternal, namun terlebih dahulu dilakukan

pengisian pasir silika kedalam reaktor dan selanjutnya dialirkan gas nitrogen untuk menetralkan reaktor. Setelah reaktor mencapai temperatur operasi yang akan diteliti ( $500^{\circ}\text{C}$  dan  $600^{\circ}\text{C}$ ), kemudian dialirkan udara kompresor dengan memvariasikan kecepatan minimum aliran, selanjutnya campuran bahan bakar ampas tebu dan batubara dimasukkan sehingga terjadi pembakaran. Gas buang hasil pembakaran nantinya akan difilter dan diturunkan temperaturnya dahulu di *cooling box* sebelum masuk ke gas *analyzer*. Pengujian dan analisa meliputi karakteristik temperatur pembakaran yang terjadi selama pembakaran terhadap produk emisi gas buang seperti gas CO dan HC. Setelah pembakaran selesai, oksigen dimasukkan dengan tujuan membakar sisa bahan bakar yang masih terdapat pada reaktor.



Gambar 2. Skematik Unit FBC

Adapun spesifikasi alat dari *teknologi fluidized bed combustion* dengan bahan bakar ampas tebu dan batubara adalah sebagai berikut :

1. *Reaktor (bed)*. Berfungsi sebagai tempat terjadinya proses pembakaran bahan bakar dengan *bed* material pasir silika. Bahan yang digunakan untuk membuat reaktor adalah baja SC 80 dengan tinggi 100 cm, diameter 2 *inchi* yang tahan panas sampai suhu  $700^{\circ}\text{C}$ . Pada *reaktor* dipasang plat distributor, *heater*, sensor pengamatan serta pada bagian samping

reaktor dibuatkan tempat pemasukan bahan bakar (*fuel feeder*). Pada bagian bawah plat distributor dibuatkan saluran gas Oksigen, Nitrogen serta udara kompresor.

2. *Plat distributor*. Berfungsi sebagai tempat menyangga pasir silika serta bahan bakar. Bahan yang digunakan untuk plat distributor adalah baja yang tahan sampai temperatur  $700^{\circ}\text{C}$ . Plat distributor ini berbentuk anggang (jalinan kawat berlubang) agar gas Oksigen, Nitrogen serta udara dari kompresor dapat dihembuskan dari bawah plat distributor untuk membantu proses pembakaran FBC.
3. *Heater*. Berfungsi untuk memanaskan reaktor secara eksternal untuk mendapatkan temperatur operasi penelitian. *Heater* ini dibuat dari kawat *nikelen* dan dililitkan pada dinding luar reaktor dengan tinggi 70 cm.
4. *Thermostart*. Merupakan alat yang digunakan untuk mengatur temperatur pemanasan pada *heater*.
5. *Isolator kramik*. Pada saat proses pemanasan reaktor secara eksternal, temperatur pemanasan *heater* perlu dijaga agar tidak terjadi *losses* panas dan temperatur penelitian dapat dicapai. Alat yang digunakan untuk menjaga temperatur *heater* adalah *Isolator kramik* yang dipasang menyelimuti *heater* dan dinding reaktor dengan tinggi 70 cm.
6. *Sensor pengamatan pembakaran*. Dibuat dari pipa baja SC40 yang berisi kaca transparan pada ujungnya. Merupakan alat yang digunakan saat penelitian untuk mengetahui pembakaran yang terjadi di reaktor.
7. *Fuel feeder*. Merupakan tempat saluran masuk campuran bahan bakar ampas tebu dan batubara.
8. *Filter gas buang*. Merupakan penyaring pasir dan abu sisa hasil pembakaran yang ikut terhembus dengan gas buang, agar pada saat pengukuran kadar gas buang abu atau pasir tersebut tidak masuk ke alat gas *analyzer*
9. *Cooling gas buang*. Temperatur gas buang hasil pembakaran tentunya sangat tinggi, untuk itu digunakan *cooling* gas buang agar temperatur gas buang yang masuk ke gas *analyzer* menjadi lebih rendah dan tidak berpotensi merusak alat tersebut.
10. *Gas analyzer*. Merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui emisi gas buang hasil pembakaran FBC.
11. *Bed material*. Bed material yang akan digunakan adalah pasir silika.
12. *Flow meter*. Merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui banyaknya gas Oksigen,

- Nitrogen serta udara kompresor yang dimasukkan ke reaktor.
13. *Thermokopel*. Berfungsi untuk mengetahui temperatur pada *bed* material ( $T_3$ ), temperatur ruang bakar yang terselimutkan *heater* ( $T_2$ ), serta temperatur ruang bakar yang tidak terselimutkan *heater* ( $T_1$ ).
  14. *Tabung gas*. Merupakan alat yang digunakan untuk menampung gas Oksigen dan Nitrogen.
  15. *Kompresor*. Digunakan untuk menghembuskan udara saat proses pembakaran.
  16. *Pressure gauge*. Digunakan untuk mengetahui tekanan pada saat pembakaran terjadi di ruang bakar.

### 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 ( $N_2$ ) untuk menetralsir keadaan di dalam reaktor, kemudian panaskan ruang bakar dengan *heater* sampai temperatur  $500^{\circ}C$  sampai  $600^{\circ}C$ .
- 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 5 cm/s, 9 cm/s, dan 13 cm/s.
- Masukkan bahan bakar ampas tebu dan batu bara, kemudian masukan probe *gas analyzer* ke ujung pipa pembuangan yang sudah dilengkapi dengan *Filter* dan *Cooling System*.
- Catat hasil perubahan temperature dan emisi gas buang yang dihasilkan, kemudian olah data dan tunjukan dalam tabel dan grafik hubungan antara kecepatan fluidisasi/superficial dengan temperature dan emisi gas buang yang dihasilkan.

### 3.3 Bahan - bahan penelitian

Adapun bahan-bahan yang akan digunakan saat penelitian proses pembakaran teknologi FBC adalah:

1. Bahan bakar berupa pelet campuran dari ampas tebu dan batubara. Berat pelet 1,2

gr dengan persentase kandungan berat 0,6 gr ampas tebu dan 0,6 gr batubara.

2. *Bed* material (pasir silika).
3. Nitrogen dan udara.

### 3.4 Pengambilan dan Pengolahan Sampel

Bahan yang akan digunakan sebagai bahan bakar adalah ampas tebu sisa hasil pengolahan dari pabrik gula dan batubara industri. Sampel kemudian dimasukkan dalam suatu wadah dan kemudian dimasukkan ke dalam alat pengering *Oven Forged* (Gambar 3) dengan tujuan mengeringkan atau untuk menguapkan air yang terkandung dalam sampel karena di dalam alat ini terdapat blower yang dapat menghembuskan udara sampai dengan temperatur  $70^{\circ}C$ . Perlakuan ini dilakukan selama 2 kali 24 jam.



Gambar 3. Oven Forged

Setelah sampel kering kemudian sampel dimasukkan ke alat *Hammer Mill* (Gambar 4) agar sampel yang tadinya berukuran agak besar dan tidak homogen menjadi kecil dan homogen karena alat ini mampu mengayak dan menyaring sampel sehingga lebih mudah untuk dipeletkan.



Gambar 4. Hammer Mill

Material yang keluar dari *Hammer Mill* kemudian dimasukkan ke alat pencetak pelet yang menghasilkan diameter sampel sebesar 1,25cm dan tingginya 1,25cm (Gambar 5).

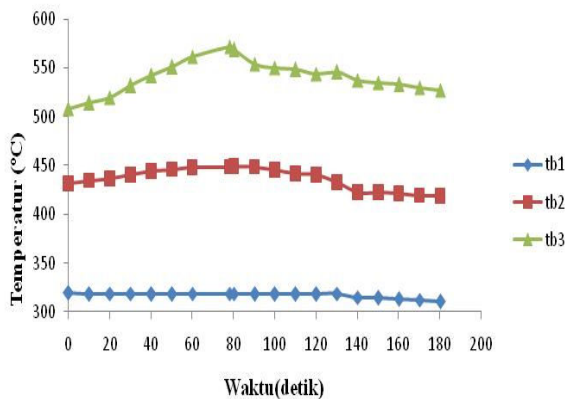


**Gambar 5.** Sampel dalam bentuk pelet

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Profil temperatur

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*.

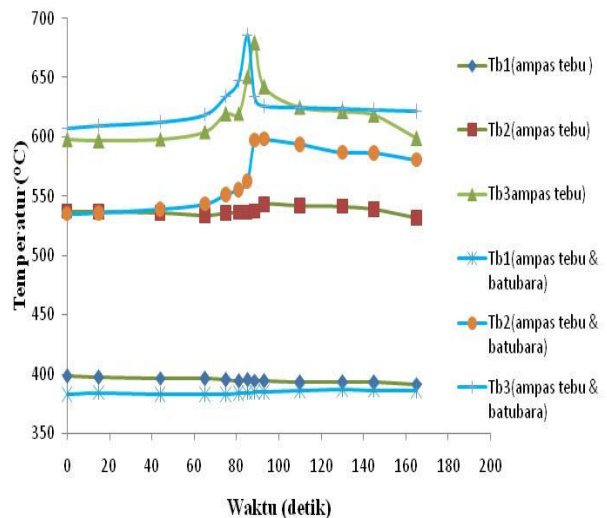


**Gambar 6.** Profil temperatur *co-firing* ampas tebu danbatu bara pada  $Top = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $U_0 = 13\text{cm/s}$

Gambar 6 merupakan grafik yang menunjukkan profil temperatur *co-firing* bahan bakar ampas tebu dan batubara pada temperatur operasi  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan kecepatan aliran  $U_0 = 13\text{ cm/s}$ . Dapat dilihat bahwa temperatur pembakaran di  $T_{b3}$  mengalami peningkatan

yang sangat signifikan yaitu  $571,97\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada  $t = 78$  detik. Hal ini disebabkan karena beberapa hal seperti kandungan zat volatil dan nilai kalor yang meningkat karena penggunaan bakar ampas tebu dan batubara. Sistem fluidisasi menyebabkan udara panas berada di bagian atas ruang bakar sehingga mempercepat proses pembakaran ketika bahan bakar dimasukkan. Disamping itu, posisi pemasukan bahan bakar (*fuel feeder*) yang berada pada bagian atas ruang bakar juga menyebabkan peningkatan temperatur pada daerah tersebut.

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa untuk pembakaran ampas tebu pada kecepatan  $5\text{ cm/dt}$  dengan temperatur operasi  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  terjadi peningkatan temperatur di  $T_{b3}$ , hal ini karena bahan bakar ampas tebu memiliki kandungan zat volatil yang tinggi sehingga mudah terbakar ketika mendapatkan sedikit panas. Gambar 7 juga menunjukkan terjadi peningkatan temperatur di  $T_{b3}$  untuk *co-firing* ampas tebu dan batubara. Hal ini juga disebabkan karena kandungan zat volatil dari bahan bakar ampas tebu tersebut, namun pada grafik ini juga memperlihatkan terjadinya proses pembakaran yang berlangsung lebih awal pada *co-firing*. Hal ini disebabkan karena nilai kalor dari batubara yang tinggi akan mempercepat proses pembakaran sehingga respon peningkatan temperatur yang dihasilkan juga terdeteksi lebih awal. Pada grafik dapat dilihat dengan menggunakan bahan bakar ampas tebu dan batubara terjadi juga peningkatan temperatur di  $T_{b2}$  karena bahan bakar belum habis terbakar di  $T_{b3}$  dan akibat masih adanya kandungan volatil terfluktuasi fluida panas dalam ruang bakar.

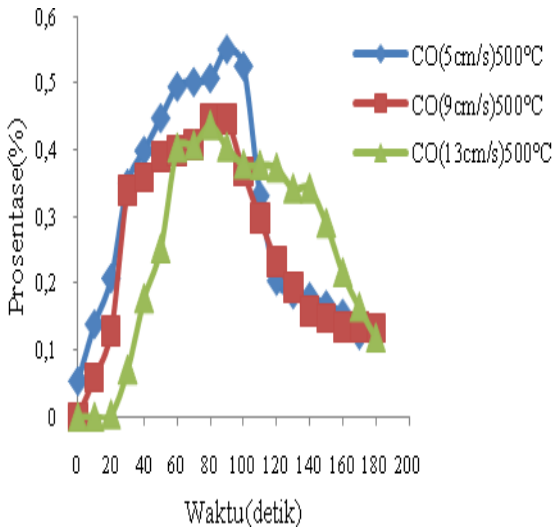


**Gambar 7.** Profil temperatur pembakaran ampas tebu dan *co-firing* dengan batu bara pada  $Top = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $U_0 = 5\text{cm/s}$



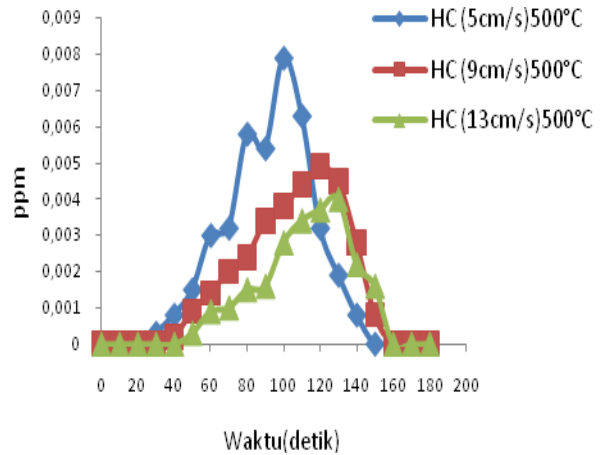
#### 4.2 Formasi gas buang

Gambar 7 menunjukkan bahwa pada *co-firing* dengan temperature operasi 500 °C dan kecepatan udara 5 cm/s kadar CO lebih tinggi dari kadar CO kecepatan udara lainnya (9 cm/s dan 13 cm/s). Prosentase kadar CO yang dihasilkan pada pengujian dengan menggunakan kecepatan aliran 5 cm/s sebesar 0,551 (%) yang terjadi pada detik ke 90. Tingginya kadar CO yang dihasilkan pada disebabkan karena supelai oksigen (O) yang kurang ke dalam ruang bakar sehingga bahan bakar yang sebagian besar memiliki kandungan berupa senyawa carbon (C) akan terbakar menjadi CO. Kadar CO yang tinggi tersebut menandakan terjadinya pembakaran yang kurang sempurna dengan reaksi kimia  $C + \frac{1}{2} O_2 = CO$ . Untuk menekan terbentuknya CO pada saat penelitian perlu dilakukan peningkatan temperatur operasi dan penambahan kecepatan aliran fluida agar senyawa carbon (C) lebih banyak terbakar dan membentuk senyawa CO<sub>2</sub> dengan reaksi kimia  $C + O_2 = CO_2$



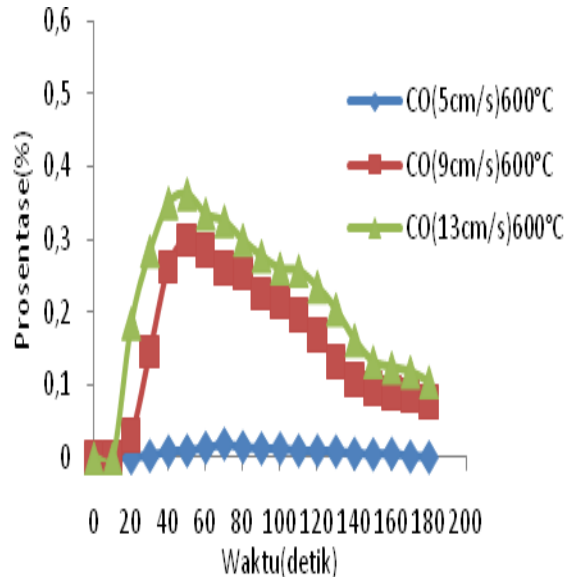
**Gambar 8.** Grafik prosentase CO pada *co-firing* ampas tebu dan batubara temperatur 500 °C

Gambar 9 menunjukkan terjadi HC yang lebih tinggi pada kecepatan udara 5 cm/s dibandingkan pada kecepatan yang lain. Hal ini terjadi karena pembakaran yang lebih lambat sehingga proses pembakaran yang terjadi kurang sempurna. Tingginya kadar HC dipengaruhi oleh kandungan hidrogen dan carbon dari bahan bakar yang digunakan selain itu juga dipengaruhi oleh volume aliran udara yang disuplai kedalam ruang bakar untuk bereaksi dengan H dan C tersebut. Namun sebaliknya jika O<sub>2</sub> untuk pembakaran tidak cukup maka yang terbentuk dari pembakaran adalah berupa gas HC dan CO.



**Gambar 3.** Grafik kadar HC pada *co-firing* ampas tebu dan batubara temperatur 500 °C

Hal berbeda terjadi bila temperature operasi ditingkatkan menjadi 600°C seperti ditunjukkan Gambar 10. Pada kecepatan udara 13 cm/s kadar CO mencapai 0,362 (%) lebih tinggi dari kecepatan udara 9 cm/s dan 5 cm/s yang masing- masing kadar CO nya sebesar 0,298 (%) dan 0,019 (%). Terbentuknya karbon monoksida paling tinggi pada kecepatan aliran 13cm/s karena terjadinya kelebihan udara juga dapat mengakibatkan kehilangan panas atau terjadi penurunan temperatur operasi.



**Gambar 10.** Grafik prosentase CO pada *co-firing* ampas tebu dan batubara temperatur 600 °C



## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang karakteristik temperatur dan emisi gas buang pada *Co-firing fluidized bed* dengan bahan bakar ampas tebu dan batubara pada unit FBC berskala laboratorium yang telah dilakukan dan dibahas sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. *Co-firing* bahan bakar ampas tebu dan batubara yang paling sempurna terjadi pada kecepatan udara 5 cm/s pada temperatur 600°C. Hal ini karena kandungan zat volatil yang tinggi dan nilai kalor yang meningkat akibat dari pencampuran bahan bakar ampas tebu dan batubara.
2. Formasi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran *Fluidized Bed* dengan *Co-firing* bahan bakar ampas tebu dan batubara berupa, CO dan HC. Dari variasi kecepatan udara dan temperatur operasi yang dilakukan, prosentase CO lebih banyak dihasilkan pada kecepatan udara 5 cm/s pada temperatur 500 °C dan kecepatan aliran 13 cm/s pada temperatur 600 °C. Untuk hidrokarbon (HC) terjadi paling tinggi pada  $U_0 = 5\text{cm/s}$  pada temperatur 500 °C, karena terjadi kelambatan proses pembakaran sehingga kurang sempurna.

- [5]. McCabe, W.L. (2001). *Unit Operations of Chemical Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 2007. b. *Komposisi Ampas Tebu*,(online), ([http://teknik\\_kimia.blogspot.com/2007-07-01-archive.html](http://teknik_kimia.blogspot.com/2007-07-01-archive.html))
- [2] 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.
- [3] Hugot, E. *Hand Book of Cane Sugar Engineering 3rd Edition*. Elsevier Science Publishers B.V., 1000 AE Amsterdam, Netherlands. 1986. pp: 872-884.
- [4]. Basu Prabir and Fraser Scott A.,1991, *Circulating Fluidized Bed Boilers : Design and Operations*, Hainemann, USA.