



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**OPTIMASI KINERJA *FLUIDIZED BED COMBUSTOR*  
UNIVERSITAS INDONESIA DENGAN MODIFIKASI  
SALURAN GAS BUANG**

**SKRIPSI**

**MUHAMMAD WIWEKO SEPTIONO  
0906604981**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**OPTIMASI KINERJA *FLUIDIZED BED COMBUSTOR*  
UNIVERSITAS INDONESIA DENGAN MODIFIKASI  
SALURAN GAS BUANG**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**MUHAMMAD WIWEKO SEPTIONO  
0906604981**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul :

### **OPTIMASI KINERJA *FLUIDIZED BED COMBUSTOR* UNIVERSITAS INDONESIA DENGAN MODIFIKASI SALURAN GAS BUANG**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Nama : Muhammad Wiweko Septiono

NPM : 0906604981

Tanda Tangan :



Tanggal : 4 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Muhammad Wiweko Septiono  
NPM : 0906604981  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : OPTIMASI KINERJA *FLUIDIZED BED*  
*COMBUSTOR* UNIVERSITAS  
INDONESIA DENGAN MODIFIKASI  
SALURAN GAS BUANG

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Adi Surjosatyo M.Eng

Penguji : Prof. Dr. I Made K Dhiputra, Dipl.-Ing

Penguji : Prof. Ir. Yulianto Sulistyo Nugroho, M.Sc, Ph.D

Penguji : Prof. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng



(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2012

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Wiweko Septiono  
NPM : 0906604981  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**OPTIMASI KINERJA *FLUIDIZED BED COMBUSTOR* UNIVERSITAS  
INDONESIA DENGAN MODIFIKASI SALURAN GAS BUANG**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 4 Juli 2012

Yang menyatakan



(Muhammad Wiweko S.)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena karunia rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya yang selalu mendukung dan mendoakan yang terbaik untuk putranya.
2. Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran serta bantuan lain baik dorongan moril maupun materil dan skripsi ini merupakan bagian dari riset unggulan Universitas Indonesia beliau.
3. Seluruh dosen dan staff Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang bermanfaat kepada saya selama kuliah di Teknik Mesin Universitas Indonesia.
4. Arya Yuwana dan Eggi Ikhsan dari tim tes pembakaran sebagai rekan kerja dan teman yang kompak dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman Mesin Ekstensi angkatan 2009 yang selalu memberikan semangat serta masukan kepada penulis dan juga sedang berjuang dengan tugas akhirnya.

Akhir kata, saya berharap Allah S.W.T. membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 4 Juli 2012

Penulis

## ABSTRAK

Nama : Muhammad Wiweko Septiono  
Npm : 0906604981  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Optimasi Kinerja Fluidized Bed Combustor Universitas Indonesia Dengan Modifikasi Saluran Gas Buang

*Fluidized Bed Combustor* merupakan teknologi pembakaran untuk mengkonversi sampah biomassa, salah satunya terdapat di Universitas Indonesia. FBC UI yang dikembangkan masih memiliki permasalahan pada saluran gas buangnya, sehingga dibutuhkan optimasi saluran gas buang dengan cara modifikasi. Langkah-langkah yang dilakukan terdiri dari desain, kalkulasi *headloss*, kalkulasi kebutuhan *induced draft fan/IDF*, pabrikan dan pengujian. Desain bentuk dan ukuran saluran baru telah ditentukan, menggunakan pipa berdiameter 190 mm. Kalkulasi yang dilakukan menghasilkan *head loss* sebesar 1,56 meter dan kebutuhan IDF dengan  $Q = 0,185 \text{ m}^3/\text{detik}$  dan daya motor blower  $P = 0,098 \text{ kW}$ . Pengujian dilakukan dengan menghidupkan blower pada frekuensi 17,8 Hz sehingga menghasilkan kecepatan alir sebesar  $0,23 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Hasilnya secara visual, gas buang keluar melalui saluran baru, sedangkan pengaruh terhadap tes pembakaran membuat kestabilan dan rata-rata lebih baik dibanding sebelum modifikasi.

Kata kunci: *Fluidized Bed Combustor*, gas buang, desain, *headloss*, *induced draft fan*

## ABSTRACT

Name : Muhammad Wiweko Septiono  
Npm : 0906604981  
Major : Teknik Mesin  
Topic : Performance Optimization of Fluidized Bed Combustor  
University of Indonesia by Modified The Exhaust Duct

Fluidized Bed Combustor is a combustion technology for converting biomass waste, one of that is at University of Indonesia. Development of FBC UI still have problem with the exhaust duct, and needed optimization by modification. . The steps that must to do start from design, headloss calculation, induced draft fan / IDF calculation, manufacturing and testing for the last. For design, shape and size have been determined, like the diameter that set in 190 mm. Result of calculations show that head loss system is 1.56 meters, needs of IDF with  $Q = 0.185 \text{ m}^3/\text{s}$  and motor blower power  $P = 0.098 \text{ kW}$ . Testing is done by turning on the blower at 17.8 Hz of frequency that produces flow rate  $0.23 \text{ m}^3/\text{s}$ . Result by visual show that gas out through from new duct, and effect on combustion tests give stability and averaging that better than before modification.

Key word : fluidized bed combustor, exhaust duct, headloss, induced draft fan



## DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penulisan.....	1
1.4 Pembatasan Masalah .....	2
1.5 Metode Penulisan .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 <i>Fluidized Bed Combustor</i> .....	4
2.1.1 Prinsip Kerja <i>Fluidized Bed Combustor</i> .....	7
2.2 Persamaan Bernoulli .....	9
2.3 <i>Head Loss</i> .....	9
2.3.1 <i>Major Losses</i> .....	9
2.3.2 <i>Minor Losses</i> .....	11

2.3.2.1 Aliran Masuk dan Keluar .....	11
2.3.2.2 Pembesaran dan Pengecilan .....	11
2.2.3.1 Pipa Tekuk .....	13
2.3.3 Penurunan Tekanan Melintas Hampan .....	14
2.3.4 Penurunan Tekanan Melintas Distributor .....	15
2.3.5 Kebutuhan <i>Draft Fan</i> .....	16

### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

3.1 Persiapan Pengujian .....	19
3.1.1 Bahan Bakar Biomassa .....	19
3.1.1.1 Tempurung Kelapa.....	19
3.1.1.2 Daun Kering.....	20
3.1.2 Pasir.....	21
3.1.3 Perlengkapan dan Peralatan .....	24
3.2 Standar Operasi Alat Pengujian .....	29
3.2.1 Sistem <i>Feeder</i> .....	29
3.2.2 <i>Blower</i> .....	31
3.2.3 Sistem <i>Burner</i> .....	33
3.3 Prosedur Pengujian Pembakaran.....	36
3.3.1 Rangkaian Alat Pengujian.....	36
3.3.2 Prosedur Pengambilan Data Pembakaran .....	37
3.3.2.1 Prosedur Pemanasan Awal.....	37
3.3.2.2 Prosedur Pengambilan Data Pembakaran .....	38
3.4 Modifikasi Saluran Gas Buang .....	38
3.4.1 Desain Saluran Gas Buang.....	39
3.4.2 Perhitungan <i>Headloss</i> .....	40
3.4.3 Kebutuhan dan Pemilihan Blower IDF .....	40
3.4.4 Pabrikasi Alat.....	40
3.4.5 Pengujian Blower .....	43

### **BAB 4 ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA**

4.1 Hasil .....	44
-----------------	----

4.1.1 Pemantauan Secara Visual .....	45
4.1.2 Perbandingan Data Pembakaran .....	46
4.2 Analisa ....	47
4.2.1 Analisa Visual .....	47
4.2.2 Analisa Pembakaran.....	48
4.2.2.1 Proses Pemanasan Awal .....	48
4.2.2.2 <i>Self Sustained Combustion</i> .....	50

## **BAB 5 KESIMPULAN**

5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran.....	53

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skematis <i>Fluidized Bed Combustor</i> .....	5
Gambar 2.2 Pencampuran ( <i>mixing</i> ) Dalam <i>Fluidized Bed Combustor</i> .....	6
Gambar 2.3 Tahapan Proses Kerja <i>Fluidized Bed Combustor</i> .....	8
Gambar 2.4 Moody Diagram .....	10
Gambar 2.5 Rugi-rugi Akibat Perubahan Dadakan .....	12
Gambar 2.6 Pemulihan Tekanan untuk <i>Diffuser</i> .....	13
Gambar 2.7 <i>Representative Total Resistance (L<sub>t</sub>D)</i> .....	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
Gambar 3.2 Tempurung Kelapa .....	20
Gambar 3.3 Tempurung Kelapa Hasil <i>Crushing</i> .....	20
Gambar 3.4 Daun Kering .....	21
Gambar 3.5 Pasir Silika Mesh 20-40 yang Digunakan Pada FBC UI .....	24
Gambar 3.6 Generator Set yang Digunakan .....	25
Gambar 3.7 Konfigurasi Termokopel .....	26
Gambar 3.8 <i>Portable Data Acquisition Module</i> .....	27
Gambar 3.9 Timbangan dengan Skala Maksimum 5 kg .....	27
Gambar 3.10 <i>Coconut Shell Crusher</i> .....	28
Gambar 3.11 <i>Control Panel</i> yang Digunakan untuk Feeder dan Blower Dorong .....	28
Gambar 3.12 <i>Control Panel</i> Blower Hisap IDF .....	29

<b>Gambar 3.13 Sistem <i>Feeder</i> pada <i>Fluidized Bed Combustor</i> UI.....</b>	<b>29</b>
<b>Gambar 3.14 Ring Blower pada <i>Fluidized Bed Combustor</i> UI .....</b>	<b>31</b>
<b>Gambar 3.15 Blower Sentrifugal .....</b>	<b>32</b>
<b>Gambar 3.16 Bagian-bagian <i>Hi-tempremixed Burner</i> .....</b>	<b>35</b>
<b>Gambar 3.17 Desain Saluran Gas Buang.....</b>	<b>39</b>
<b>Gambar 3.18 Cerobong Lama Terpasang.....</b>	<b>40</b>
<b>Gambar 3.19 Cerobong Dilepas.....</b>	<b>40</b>
<b>Gambar 3.20 Pemasangan Blower.....</b>	<b>41</b>
<b>Gambar 3.21 Pemasangan Pipa .....</b>	<b>42</b>
<b>Gambar 3.22 Tampak Depan.....</b>	<b>42</b>
<b>Gambar 3.23 Tampak Belakang .....</b>	<b>42</b>

## DAFTAR GRAFIK

Gambar 4.1 Grafik Pembakaran Sebelum Modifikasi .....	46
Gambar 4.2 Grafik Pembakaran Setelah Modifikasi .....	47
Gambar 4.3 Grafik Pemanasan Awal Pembakaran Daun 1 jam Sebelum Penambahan <i>Induced Draft Fan</i> Terhadap Waktu (menit) .....	48
Gambar 4.4 Grafik Pemanasan Awal Pembakaran Daun 1 jam Setelah Penambahan <i>Induced Draft Fan</i> Terhadap Waktu (menit) .....	49
Grafik 4.5 Grafik <i>Self Sustained Combustion</i> Pembakaran Daun 1 Jam Sebelum Penambahan <i>Induced Draft Fan</i> Terhadap Waktu (menit).....	50
Grafik 4.5 Grafik <i>Self Sustained Combustion</i> Pembakaran Daun 1 Jam Setelah Penambahan <i>Induced Draft Fan</i> Terhadap Waktu (menit) .....	51

## DAFTAR TABEL

Tabel.2.1 <i>Minor Loss Coefficient</i> .....	11
Tabel.2.2 <i>Local Coefficient for Contractions</i> .....	12
Tabel.3.1 <i>Specific Heat</i> Berbagai Substansi .....	22
Tabel.3.2 Sifat Fisik, Termal, dan Mekanik Pasir Silika.....	22
Tabel.3.3 Distribusi Ukuran Pengayakan Pasir Silika.....	23
Tabel.3.4 Spesifikasi Motor <i>Feeder</i> .....	30
Tabel.3.5 Spesifikasi Teknis Ring Blower .....	31
Tabel.3.6 Spesifikasi Blower Sentrifugal.....	32
Tabel.3.7 Spesifikasi Teknis <i>Hi-Temp Premixed Burner</i> .....	36
Tabel 3.8 Variasi Kapasitas Blower.....	43
Tabel 4.1 Perhitungan <i>Headloss</i> Utama .....	44
Tabel 4.2 Perhitungan <i>Headloss</i> Jalur Lain.....	44
Tabel 4.3 Temperatur Rata-rata.....	47
Tabel 4.4 Perbandingan Temperatur Rata-rata Pemanasan Awal Pengujian Pembakaran Daun Pada <i>Self Sustained Combustion</i> 1 Jam .....	49
Tabel 4.5 Perbandingan Temperatur Rata-rata <i>Self Sustained Combustion</i> Pengujian Pembakaran Daun Pada <i>Self Sustained Combustion</i> 1 Jam .....	51

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Fluidized bed combustor (FBC) merupakan salah satu teknologi pembakaran yang memiliki keunggulan mengkonversi berbagai jenis bahan bakar baik sampah maupun biomassa yang sulit untuk diproses dengan metode lain. Teknologi ini menggunakan konsep turbulensi pada benda padat yang terjadi pada proses pembakaran yang memiliki perpindahan panas dan massa yang tinggi. Teknologi ini telah diperkenalkan sejak abad ke-20, dan saat ini telah diaplikasikan untuk mengubah biomassa menjadi energi yang efisien. Keunggulan teknologi ini adalah laju pembakaran yang cukup tinggi dan dapat memproses bahan bakar yang memiliki kadar air tinggi.

Potensi FBC Universitas Indonesia yang belum termanfaatkan membuat penelitian mengenai teknologi FBC menjadi menarik. Pengembangan dan penyempurnaan alat merupakan hal yang penting dilakukan agar potensinya bisa dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya. Salah satunya dengan modifikasi saluran buang yang diharapkan membantu mengoptimalkan kinerjanya.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang ada selama ini hasil pembakaran diruang bakar selain keluar melalui cerobong terpasang juga keluar melalui jalur lain. Hal ini mempengaruhi proses operasional karena mengganggu jalur pemasukan bahan bakar serta lingkungan diruang kerja akibat asap dan abu.

### **1.3 Tujuan Penulisan**

Penulisan tugas akhir ini memiliki tujuan untuk mengoptimalkan kinerja FBC UI yang dilakukan dengan cara memodifikasi saluran gas buangnya. Desain, pembuatan, dan pengujian merupakan tahapan yang harus dilalui untuk mencapai tujuan tersebut. Selain itu dengan penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat



memenuhi salah satu syarat kelulusan S1 di jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia.

#### **1.4 Pembatasan Masalah**

Dalam melakukan penelitian dilakukan pembatasan masalah untuk memfokuskan pembahasan. Pembatasan masalahnya yaitu pembuatan saluran gas buang baru dengan ukuran yang telah ditetapkan.

#### **1.5 Metode Penulisan**

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis menggunakan beberapa metode antara lain :

1. Persiapan eksperimental
  - Identifikasi masalah yang akan dibahas
  - Studi literature
2. Desain dan pembuatan saluran gas buang
  - Kalkulasi keperluan IDF
  - Perancangan saluran gas buang
  - Pabrikasi alat
3. Pengujian dan pengambilan data
  - Pengujian tanpa menghidupkan IDF
  - Pengujian dengan menggunakan IDF pada rpm 1000
4. Hasil dan Analisa
  - Membandingkan kondisi sebelum dan setelah menggunakan IDF
  - Mengolah dan menganalisa grafik perubahan temperatur antara sebelum dan setelah menggunakan IDF
5. Kesimpulan

## 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut :

### BAB 1 PENDAHULUAN

Menjelaskan mengenai latar belakang, pokok permasalahan, tujuan, pembatasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan secara umum tentang FBC, *headloss*, penurunan tekanan dan *draft fan*

### BAB 3 DESAIN , FABRIKASI ALAT DAN METODE PENELITIAN

Menjelaskan mengenai desain dan fabrikasi alat, rangkain alat, skema alat, prosedur pengujian dan bagan alur pengujian.

### BAB 4 HASIL DAN ANALISA

Mengolah dan menganalisa data hasil perhitungan, hasil pengujian serta grafik-grafik pengukuran.

### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Membuat kesimpulan dari hasil analisa pengujian modifikasi saluran gas buang FBC UI serta saran untuk peningkatan kinerja alat.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Fluidized Bed Combustor*

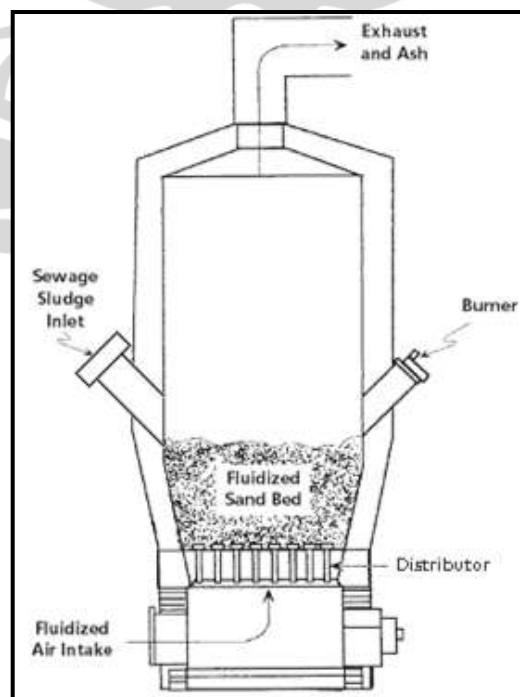
*Fluidized bed combustor* adalah sebuah tungku pembakar yang menggunakan media pengaduk berupa pasir seperti pasir kuarsa dan silika, tujuannya agar terjadi pencampuran (*mixing*) yang homogen antara udara dengan butiran-butiran pasir tersebut. *Mixing* yang konstan antara partikel-partikel mendorong terjadinya perpindahan panas yang cepat serta pembakaran sempurna. *Fluidized bed combustor* umumnya berbentuk silindris tegak dengan kerangka baja yang dilapisi bahan tahan api, berisi hamparan pasir (*sand bed*) dan distributor untuk fluidisasi udara. *Fluidized bed combustor* normalnya tersedia dalam ukuran berdiameter dari 9 sampai 34 ft.

Hamparan pasir yang menjadi media pengaduk diletakkan di atas *distributor* yang berupa grid logam dengan dilapisi bahan tahan api. Grid ini berisi suatu pelat berpori berisi nosel-nosel injeksi udara atau *tuyere* di mana udara dialirkan ke dalam ruang bakar untuk menfluidisasi hamparan (*bed*) tersebut. Aliran udara melalui nosel hamparan terfluidisasi sehingga berkembang menjadi dua kali volume sebelumnya. Fluidisasi meningkatkan pencampuran dan turbulensi serta laju perpindahan panas yang terjadi. Bahan bakar bantu digunakan selama pemanasan awal untuk memanaskan hamparan sampai temperatur operasi sekitar 600 sampai 900°C sehingga pembakaran dapat terjaga pada temperatur konstan. Dalam beberapa instalasi, suatu sistem *water spray* digunakan untuk mengendalikan suhu ruang bakar.

Reaktor unggun atau hamparan fluidisasi (*fluidized bed*) berfungsi meningkatkan penyebaran umpan bahan bakar yang datang dengan pemanasan yang cepat sampai temperatur pengapiannya (*ignition*) serta meningkatkan waktu kontak yang cukup dan juga kondisi pencampuran yang hebat untuk pembakaran sempurna. Pembakaran normalnya terjadi sendiri, sehinggabahan bakar hancur dengan cepat, kering dan terbakar di dalam hamparan. Laju pembakaran akan meningkat seiring dengan meningkatnya laju pirolisis dari bahan bakar padat

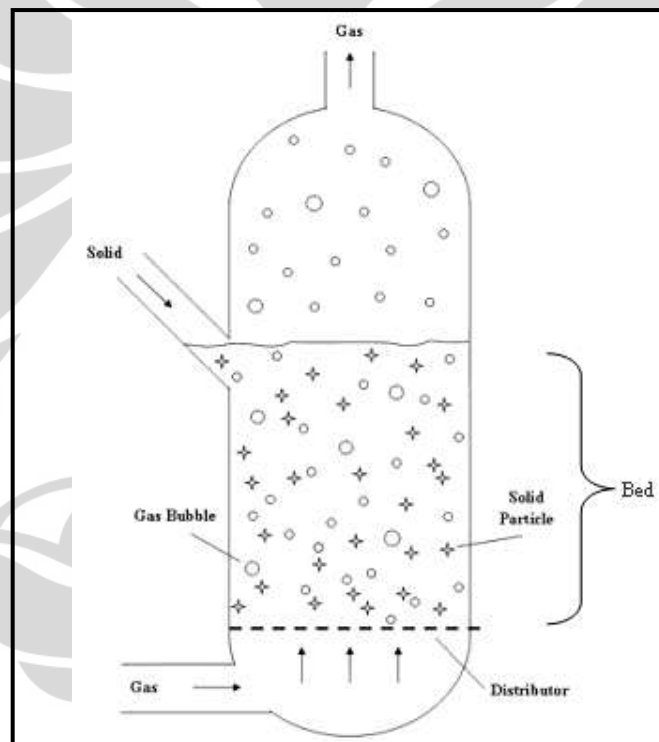
karena kontak langsung dengan partikel hamparan yang panas. Aliran udara fluidisasi meniup abu halus dari hamparan. Gas-gas pembakaran biasanya diproses lagi di *wet scrubber* dan abunya dibuang secara *landfill*.

Pembakaran dengan teknologi *fluidized bed* merupakan satu rancangan alternatif untuk pembakaran limbah padat. Teknologi ini telah diaplikasikan untuk berbagai macam bahan bakar padat seperti biofuel, batu bara, serta limbah, baik itu limbah organik maupun anorganik. Bahan bakar padat yang sudah dalam bentuk tercacah atau dipotong-potong menjadi kecil-kecil, dimasukkan ke dalam ruang bakar dengan kapasitas yang konstan dan diletakkan tepat di atas pasir-pasir tersebut. Udara untuk proses pembakaran diberikan dari blower yang melewati *plenum* yaitu bagian *fluidized bed combustor* yang letaknya terdapat di bawah ruang bakar dan berfungsi sebagai saluran udara. Kemudian udara tersebut akan melewati *distributor* sehingga aliran udara yang akan masuk ke dalam ruang bakar akan bergerak secara seragam menuju timbunan pasir yang ada di atasnya [Basu : 1994; Howard : 1994]. Kemudian ruang kosong yang ada di ruang bakar, dan tepat di atas timbunan pasir, disebut juga sebagai *freeboard* atau juga *riser*. Pada bagian inilah terjadi perubahan partikel padat menjadi gas. Gas-gas yang dihasilkan akan terbang ke udara setelah melewati alat kontrol polusi udara.



Gambar 2.1 Skematis *Fluidized Bed Combustor*

Suatu pandangan potongan *fluidized bed combustor* dipertunjukkan seperti gambar 2.1. Terlihat pada gambar tersebut bahwa *fluidized bed combustor* memiliki satu ruangan dimana pengeringan dan pembakaran terjadi di hamparan pasir terfluidisasi. Waktu kontak di dalam daerah pembakaran hanyalah beberapa detik pada temperatur 750 sampai 900 °C. Abu terbawa keluar dari puncak ruang bakar dan dibersihkan dengan alat kontrol polusi udara. Pasir yang terbawa dengan abu harus diganti. Pasir yang terbuang pada umumnya 5 persen dari volume hamparan untuk setiap 300 jam operasi. Pengumpanan (*feed*) pada ruang bakar itu dimasukkan baik dari atas atau secara langsung ke dalam hamparan.



**Gambar 2.2** Proses Pencampuran (*mixing*) dalam *Fluidized Bed Combustor*

Pencampuran dalam *fluidized bed* terdistribusi secara cepat dan seragam antara bahan bakar dan udara atau gas seperti yang diperlihatkan pada gambar, sehingga mengakibatkan perpindahan kalor dan pembakaran yang baik. Hamparan pasir itu sendiri memiliki kapasitas panas yang besar, yang membantu mengurangi terjadinya fluktuasi temperatur sesaat yang dapat diakibatkan oleh nilai kalor bahan bakar (sampah) yang bervariasi. Kapasitas penyimpanan panas ini juga

memungkinkan untuk proses startup yang lebih cepat, jika waktu *shutdown* sebelumnya belum terlalu lama. Proses pembakaran dengan teknologi ini telah berkembang relatif cepat sejak tahun 1960-an, dan sampai saat ini metode ini masih terus dikembangkan lebih lanjut di kawasan Eropa, Amerika, Jepang, Australia, dan negara-negara maju lainnya.

### 2.1.1 Pinsip Kerja *Fluidized Bed Combustor*

Teknologi pembakaran dengan menggunakan metode *fluidized bed* telah memperkenalkan beberapa konsep penting dalam pembakaran sampah atau bahan padat [Tillman, 1991], yaitu :

- Turbulensi partikel padatan, dengan meningkatkan kontak fisik antara partikel padat (pasir) dengan bahan bakar (sampah), yang menghasilkan panas dan perpindahan panas yang lebih baik, dan juga menunjukkan panas yang seragam di sekitar pasir, dan juga di sekitar ruang bakar secara umumnya.
- Temperatur sebagai kontrol variabel yang independen dapat meningkatkan kontrol polusi yang dapat dihasilkan oleh penempatan bahan bakar dan sistem distribusi udara, serta penempatan tabung *heat recovery* dalam reaktor.
- Penggunaan pasir sebagai *inert material* dapat mengurangi dampak sisa hasil pembakaran dengan menggunakan bahan bakar yang basah atau kotor.

Proses kerja *fluidized bed combustor* terutama terdiri dari tiga tahapan. Dari kondisi awal, pemanasan dan kondisi operasi.

#### 1. Kondisi awal

Pada kondisi awal, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.5a, ruang bakar masih pada temperatur ruang. Pasir sebagai media pengaduk sekaligus pertukaran kalor dituang ke dalam ruang bakar.

#### 2. Proses pemanasan

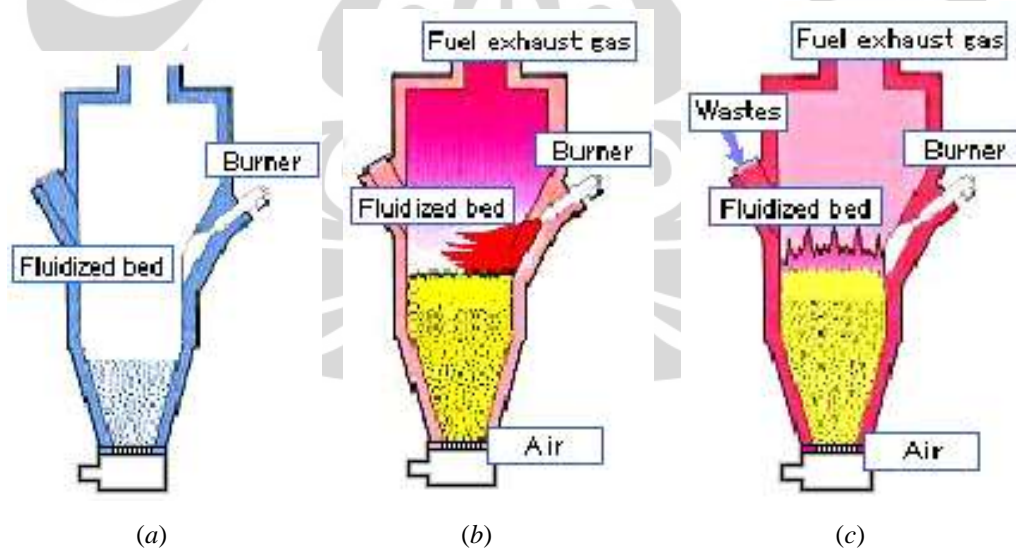
Pada tahapan proses pemanasan, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.5b, pasir tersebut mulai dipanaskan. Udara bertekanan mulai dialirkan dari blower ke dalam ruang bakar dari bagian bawah insinerator untuk

menfluidisasi pasir. Pada kondisi ini sudah terjadi fluidisasi pada kecepatan fluidisasi minimum. Proses pemanasan dilakukan dengan bahan bakar bantu dari burner. Burner memanaskan pasir sampai temperatur operasi (750 – 900°C). Untuk mempercepat pemanasan dapat ditambahkan bahan bakar ke dalam reaktor berupa kayu bakar atau pun batu bara.

### 3. Kondisi operasi

Pada kondisi operasi, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.5c, temperatur ruang bakar pada hamparan sudah mencapai temperatur operasi. Pada kondisi ini bahan bakar bantu tidak dipakai lagi, burner dimatikan. Temperatur ruang bakar terjaga konstan dengan laju pengumpanan sampah yang tetap. Kecepatan udara dari blower dinaikkan sampai pada kecepatan pengoperasian maksimum. Sampah akan terbakar sendiri pada kondisi ini karena panas yang diberikan oleh pasir sudah melewati temperatur nyala dari sampah.

Secara umum tahapan-tahapan proses kerja dari *fluidized bed combustor* dapat dilihat pada ilustrasi gambar-gambar di bawah ini.



**Gambar 2.3 Tahapan Proses Kerja *Fluidized Bed Combustor*; (a) Tahapan pada Kondisi Awal; (b) Tahapan Proses Pemanasan; (c) Tahapan pada Kondisi Operasi.**

## 2.2 Persamaan Bernoulli

Sebagian besar aliran fluida cair maupun rendah pada bilangan Mach rendah, massa jenis sebidang fluida dapat dianggap konstan, terlepas dari variasi tekanan dalam aliran. Karena alasan tersebut fluida yang mengalir dianggap sebagai fluida *incompressible* dan alirannya juga dianggap aliran *incompressible*. Bernoulli melakukan eksperimen pada cairan, sehingga persamaan dalam bentuk aslinya hanya berlaku untuk aliran *incompressible*. Bentuk umum dari persamaan Bernoulli, berlaku pada setiap perubahan titik sepanjang jalur, yaitu :

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{konstan}$$

Dimana :

- p = tekanan fluida
- $\rho$  = massa jenis
- V = kecepatan alir
- g = percepatan gravitasi
- z = ketinggian dari referensi

## 2.3 Head Loss

Aliran fluida didalam sebuah pipa dengan bentuk, panjang dan ukuran tertentu akan mengalami perubahan parameter. Perubahan ini dipengaruhi adanya *major losses* dan atau *minor losses*. Akibatnya akan ada perbedaan antara disaat awal dan akhir aliran.

### 2.3.1 Major Losses

*Major loss* merupakan kerugian yang diakibatkan faktor-faktor besar seperti kekasaran permukaan. Terdapat dua katagori berdasarkan alirannya, yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Pada aliran laminar, penurunan tekanan dapat dihitung secara analitis dengan perhitungan berikut ini :

$$h_l = \left(\frac{64}{Re}\right) \frac{L V^2}{D 2}$$

Sedangkan untuk aliran turbulen tidak dapat dilakukan secara analiris karena adanya faktor gesekan, sehingga perhitungannya menjadi :

$$h_l = f \frac{L V^2}{D 2}$$



Dimana :

$h_l$  = *head loss*

Re = Reynold Number

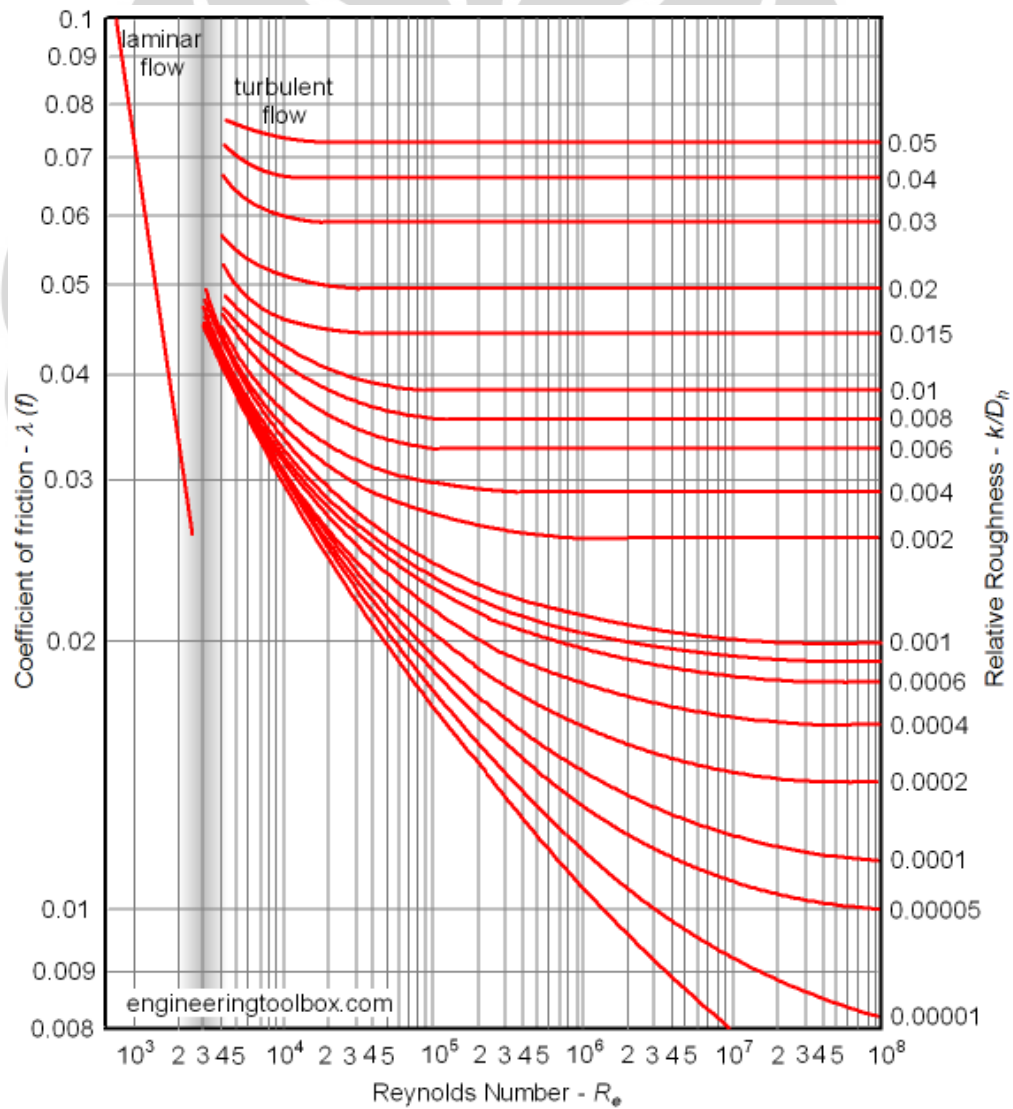
L = panjang pipa

D = diameter pipa

V = kecepatan alir fluida

f = *friction factor*

*Friction factor* dapat dicari menggunakan diagram Moody yang dipengaruhi oleh nilai Re dan tingkat kekasaran permukaan material.



**Gambar 2.4 Moody Diagram**

### 2.3.2 Minor Losses

Sistem pemipaan membutuhkan banyak *fittings*, *bends*, atau perubahan area secara tiba-tiba. Berdasarkan pada alat, *minor losses* dapat dihitung dengan dua cara,

$$h_{lm} = K \frac{V^2}{2}$$

Dimana K adalah *loss coefficient* yang telah ditetapkan berdasarkan situasinya, atau menggunakan




$$h_l = f \frac{L_e}{D} \frac{V^2}{2}$$

Dengan  $L_e$  persamaan panjang dari pipa lurus.

#### 2.3.2.1 Aliran Masuk dan Keluar

Untuk aliran masuk atau keluar dari pipa memiliki koefisiens *minor losses* yang telah ditetapkan. Saat perhitungan dapat langsung melihat situasi dan menentukan mana yang paling tepat. Seperti ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut

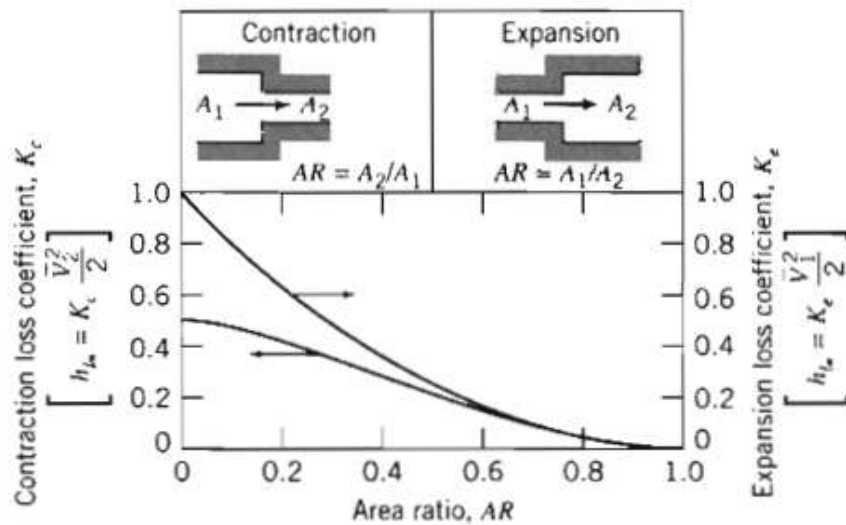
**Tabel 2.1 Minor Loss Coefficient**

Entrance Type	Minor Loss Coefficient, $K^a$								
Reentrant 	0.78								
Square-edged 	0.5								
Rounded 	<table border="1"> <tr> <td><math>r/D</math></td> <td>0.02</td> <td>0.06</td> <td><math>\geq 0.15</math></td> </tr> <tr> <td><math>K</math></td> <td>0.28</td> <td>0.15</td> <td>0.04</td> </tr> </table>	$r/D$	0.02	0.06	$\geq 0.15$	$K$	0.28	0.15	0.04
$r/D$	0.02	0.06	$\geq 0.15$						
$K$	0.28	0.15	0.04						

<sup>a</sup> Based on  $h_{lm} = K(\bar{V}^2/2)$ , where  $\bar{V}$  is the mean velocity in the pipe.

#### 2.3.2.2 Pembesaran dan Pengecilan

Pada pembesaran atau pengecilan luas penampang pipa, ada 2 kondisinya. Pertama yaitu secara tiba-tiba,



Gambar 2.5 Rugi-rugi Akibat perubahan dadakan

Dipengaruhi perbandingan luas penampang pipa dengan nilai K dilihat dari gambar 2.5

Kondisi kedua yaitu perubahan luas berubah secara bertahap. Pada jenis *nozzle* dapat memperhatikan tabel. 2.2

Tabel 2.2 Local coefficient for contractions

	Included Angle, $\theta$ , Degrees							
	$A_2/A_1$	10	15-40	50-60	90	120	150	180
	0.50	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
	0.25	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
	0.10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43

Sedangkan untuk jenis *diffuser* dapat dilihat dari gambar 2.6 dengan

$$C_p = \frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{2} \rho V_1^2}$$

Dan

$$C_{pi} = 1 - \frac{1}{AR^2}$$

Maka

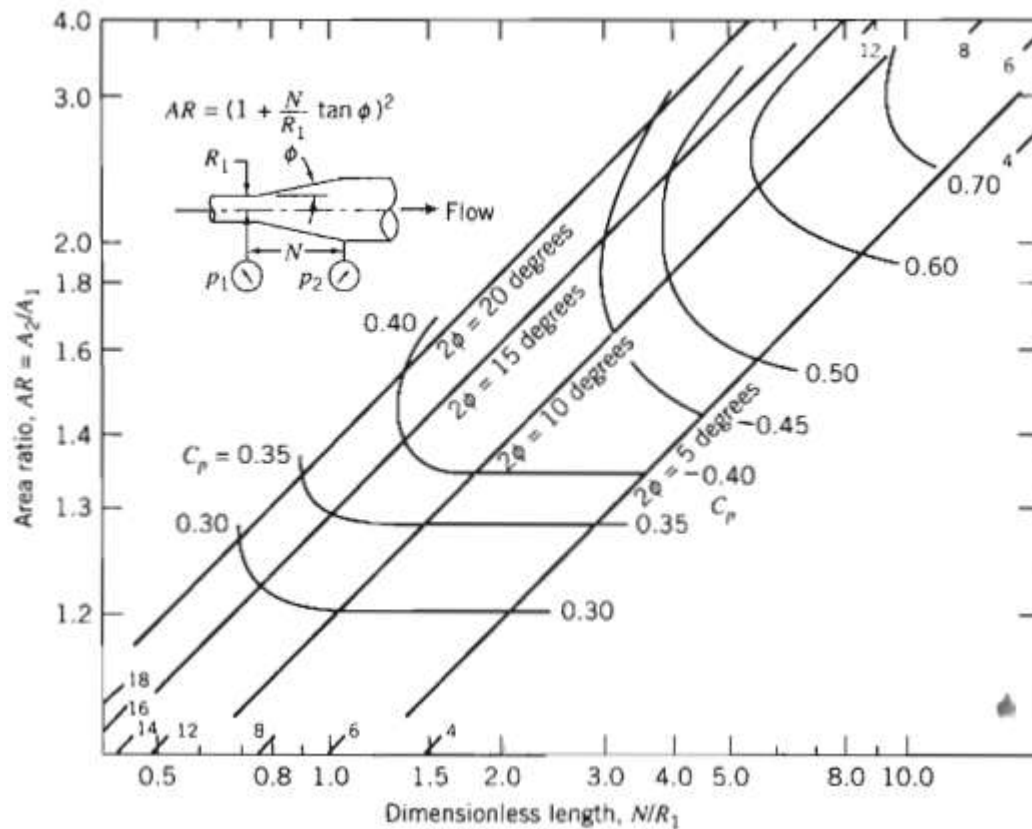
$$h_{lm} = (C_{pi} - C_p) \frac{V_1^2}{2}$$

Dimana

$C_p$  = koefisien pemulihan

$C_{pi}$  = koefisien pemulihan ideal

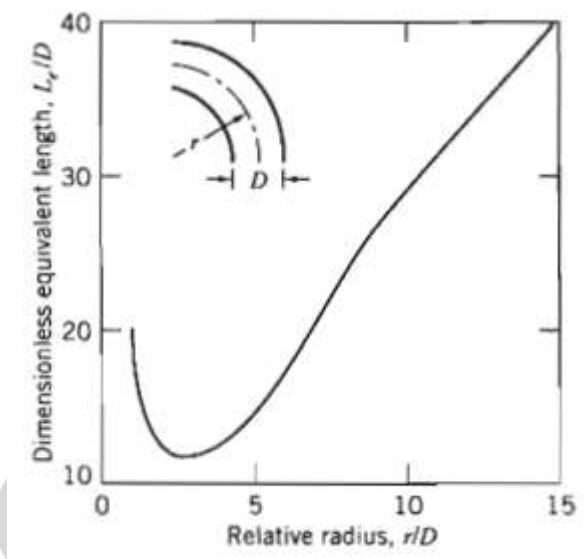
- $p_1$  = tekanan dititik 1  
 $p_2$  = tekanan dititik 2  
 $\rho$  = massa jenis  
 $AR$  = *area ratio*  
 $V_1$  = kecepatan alir dititik 1



Gambar 2.6 Pemulihan Tekanan Untuk Diffuser

### 2.3.2.3 Pipa Tekuk

Penurunan tekanan dalam pipa tekuk lebih besar dibanding aliran berkembang penuh yang melintasi pipa lurus panjang. Penyetaraan panjang untuk tekukan  $90^\circ$  dengan radius relatif dapat dilihat pada gambar 2.27



Gambar 2.7 Representative total resistance ( $L_e/D$ )

### 2.3.3 Penurunan Tekanan Melintas Hamparan

Suatu hamparan partikel-partikel pasir memberikan resistansi terhadap aliran fluida yang melaluinya. Jika kecepatan aliran tersebut dinaikkan, maka gaya seret (*drag force*) yang terjadi pada partikel-partikel tersebut meningkat. Dengan aliran ke atas melalui hamparan yang tidak tenang, partikel-partikel tersebut menyusun kembali sendiri untuk memberikan lebih sedikit resistansi terhadap aliran fluida dan hamparan akan cenderung untuk mengembang. Dengan menaikkan lagi kecepatan aliran ke atas, berkembangnya hamparan akan terus berlanjut sampai suatu kondisi tercapai yang mana gaya seret yang terjadi pada partikel-partikel cukup untuk menopang berat partikel-partikel dalam hamparan. Sehingga penurunan tekanan melintas hamparan ( $\Delta P_b$ ) akan kurang lebih sama dengan berat hamparan per satuan luas.

Persamaan penurunan tekanan melalui distributor melintas hamparan pasir adalah:

$$\Delta P_b = h(\rho_p - \rho_f)(1 - \epsilon)g$$

keterangan :  $\Delta P_b$  = penurunan tekanan melewati hamparan ( $N/m^2$ )

$h$  = tinggi hamparan pasir ( $kg$ )

$\rho_p$  = massa jenis partikel pasir ( $kg/m^3$ )

$\rho_f$  = massa jenis fluida udara ( $kg/m^3$ )

$$\begin{aligned}\epsilon &= \text{bed voidage} \\ g &= \text{percepatan gravitasi ( m/s}^2 \text{ )}\end{aligned}$$

#### 2.3.4 Penurunan Tekanan Melintas Distributor

Bila dilihat dari sudut pandang bagaimana udara didistribusikan, maka kebutuhan mendasar adalah merancang suatu distributor sedemikian rupa sehingga udara yang mengalir melewati distributor tersebut mengalami penurunan tekanan yang secukupnya,  $\Delta P_D$ . Jumlah orifis, nozzle, dan sebagainya yang dibutuhkan pada distributor untuk mencapai besar nilai penurunan tekanan ini harus ditentukan dahulu. Kita pertimbangkan dahulu contoh kasus paling sederhana dari sebuah distributor *perforated plate*. Jika kecepatan udara superfisial dalam *windbox* atau ruang plenum adalah  $U_o$  dan *fractional open area* dari distributor (yaitu fraksi dari jumlah total luas bukaan pada aliran udara yang melewati distributor) adalah  $f_{oa}$ , maka kecepatan udara rata-rata melewati orifis adalah:

$$U_{or} = \frac{U_o}{f_{oa}}$$

Sehingga persamaan penurunan tekanan melalui distributor adalah:

$$\Delta P_D = \frac{\rho_f}{2} \left\{ \left( \frac{U_{or}}{C_d} \right)^2 - U_o^2 \right\}$$

yang mana  $\rho_f$  merupakan massa jenis udara dan  $C_d$  merupakan *orifice discharge coefficient*.

*Orifice discharge coefficient* bergantung pada bentuk dari lubang distributor (*orifice*). Terdapat kemungkinan bahwa udara yang melewati lubang distributor menuju hamparan terfluidisasi (*fluidized bed*) mengalami penurunan tekanan yang lebih sedikit dari pada yang tanpa ada partikel atau kosong. Untuk lubang bundar bertepi-persegi dengan diameter  $d_{or}$  jauh lebih besar daripada ketebalan plat distributor  $t$ ,  $C_d$  dapat ditentukan sebesar 0,6. Untuk  $t/d_{or} > 0,09$ ,  $C_d$  dapat diperkirakan menurut korelasi yang diberikan oleh Qureshi dan Creasy:

$$C_d = 0.82 \left( \frac{t}{d_{or}} \right)^{0.13}$$

- Keterangan :
- $\Delta P_d$  = penurunan tekanan melewati distributor (  $N/m^2$  )
  - $U_o$  = kecepatan udara superfisial (  $m/s$  )
  - $U_{or}$  = kecepatan udara rata-rata melewati orifis (  $m/s$  )
  - $f_{or}$  = *fractional open area* (  $m^2$  )
  - $\rho_f$  = massa jenis fluida udara (  $kg/m^3$  )
  - $C_D$  = *Orrifice discharge coefficient*
  - $t$  = tebal plat distributor (  $m$  )
  - $d_{or}$  = diameter orifis pada distributor (  $m$  )

### 2.3.5 Kebutuhan *Draft Fan*

*Draft* sistem adalah perbedaan antara tekanan atmosfer dengan tekanan statis di ruang bakar, saluran gas buang maupun cerobong yang menghasilkan laju aliran tertentu. Secara garis besar, *draft* sistem mempunyai peranan penting yang sama dalam sistem pembangkit, diantaranya:

- a. Untuk menyuplai udara di ruang bakar boiler agar memenuhi kebutuhan untuk pembakaran antara udara dan bahan bakar.
- b. Untuk menghilangkan gas buang dari ruang bakar dan mengalirkannya ke cerobong dan atmosfer dengan sempurna.
- c. Mengurangi polusi dari *fly ash* (mempermudah *fly ash* masuk ke *hopper*).

Dalam *draft* sistem tersebut terdapat beberapa fan yang sangat penting bagi proses pembakaran di dalam boiler agar terjadi keseimbangan dan efisiensi. *Fan* tersebut adalah *Primary Air Fan*, *Force Draft Fan*, dan *Induced Draft Fan*.

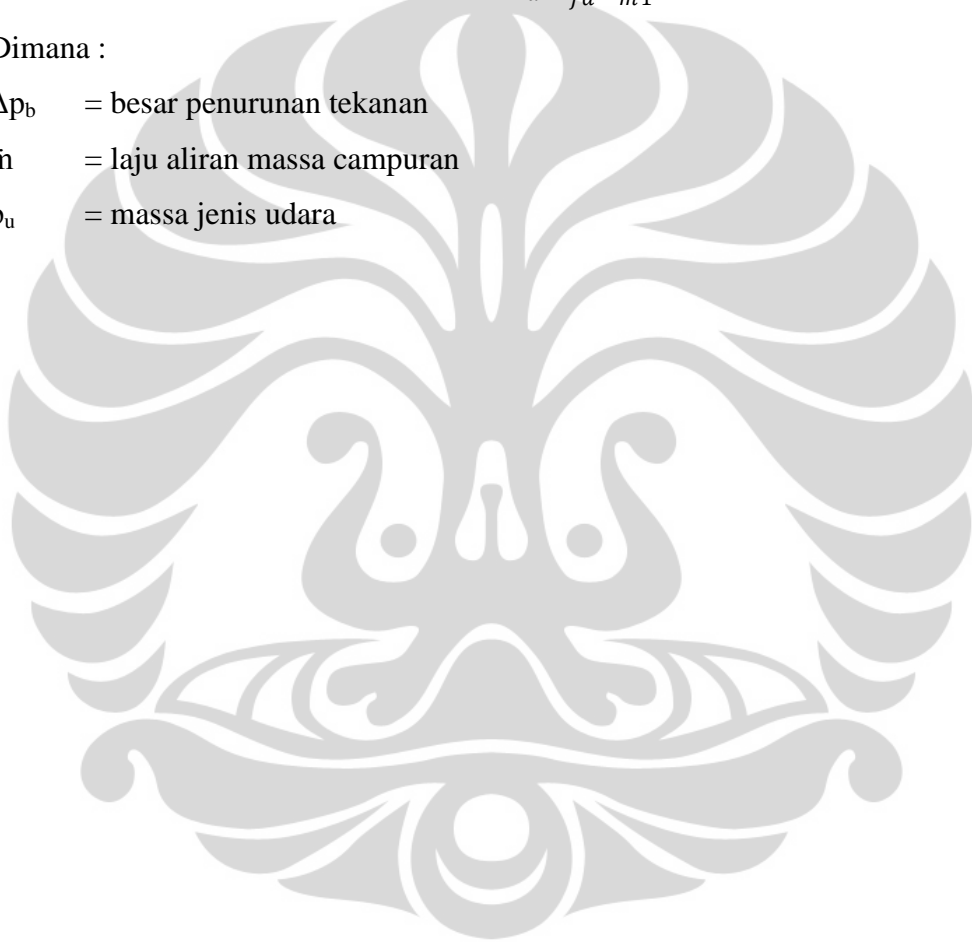
Pada penelitian ini jenis yang digunakan adalah *induced draft fan* yang dipasang didekat cerobong pembuangan hasil pembakaran. Fungsi IDF yaitu untuk mempertahankan tekanan *furnace* agar bekerja pada tekanan lebih rendah sehingga hasil pembakaran dapat mengalir keluar dengan baik.

Untuk menentukan kapasitas dan daya dari *forced draft fan* di dasarkan pada *pressure drop* yang terjadi. *Forced draft fan* mempunyai efisiensi  $\eta_{fd}$  (%) dan motor listrik yang memutarakan kipas *forced draft fan* mempunyai efisiensi  $\eta_{m1}$  (%), maka daya motor listrik *forced draft fan*  $P_{fd}$  (HP) dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut:

$$P_{fd} = \frac{(\Delta p_b) \dot{m}}{75 \rho_u \eta_{fd} \eta_{m1}}$$

Dimana :

- $\Delta p_b$  = besar penurunan tekanan  
 $\dot{m}$  = laju aliran massa campuran  
 $\rho_u$  = massa jenis udara

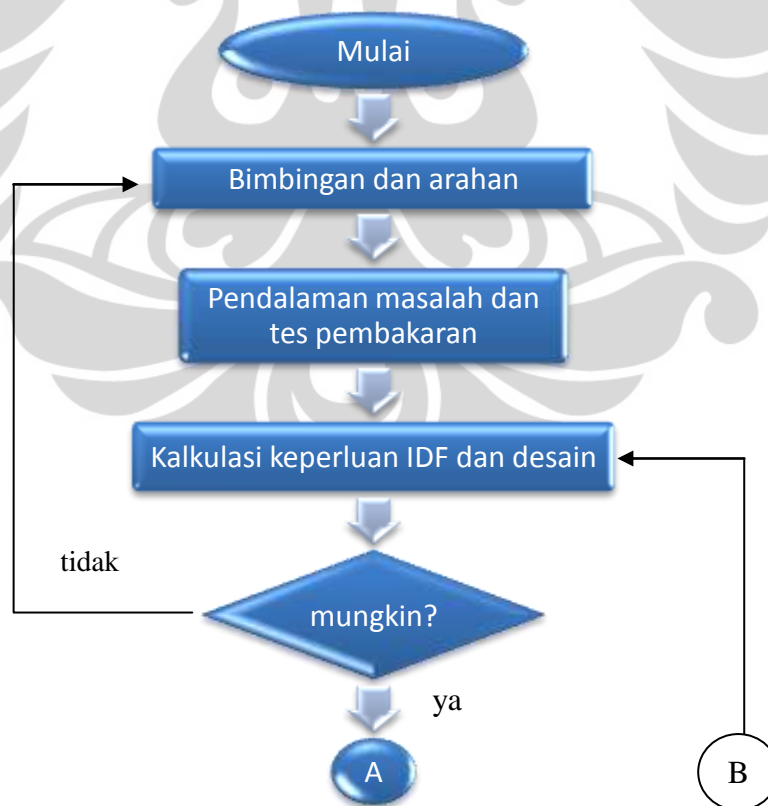


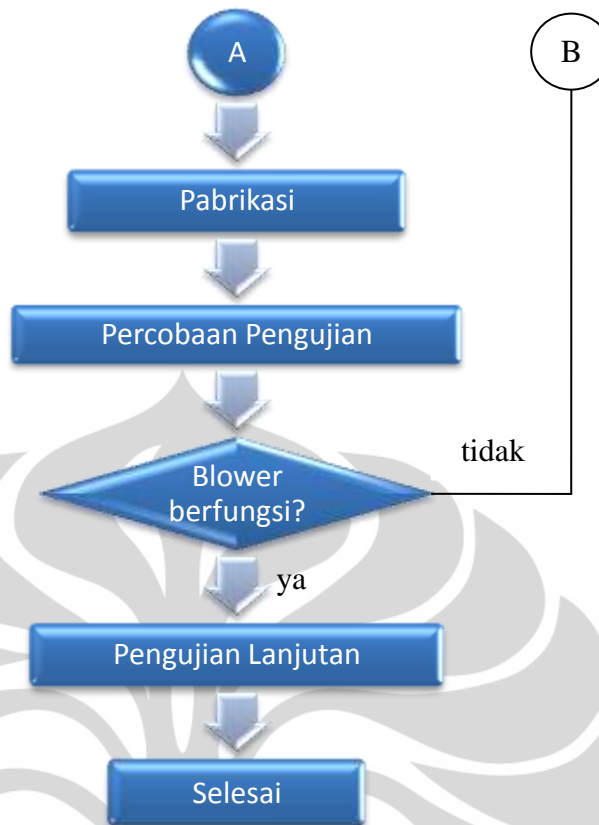


### BAB 3

## METODE PENELITIAN

Sebelum melakukan pengoperasian pada *fluidized bed combustor* UI tersebut secara baik dan benar, maka perlu dilakukan pengujian alat ini secara keseluruhan. Dalam melakukan suatu pengujian pada alat, maka diperlukan persiapan dan prosedur pengujian yang sesuai dengan kondisi dari alat tersebut. Hal ini dimaksudkan agar dalam melakukan proses pengujian agar lebih efektif, efisien, dan mendapatkan hasil yang semaksimal mungkin. Demikian juga dengan persiapan yang harus dilakukan sebelum melakukan pengujian pada FBC Universitas Indonesia. Agar persiapan dan proses operasi pengambilan data berlangsung dengan baik dan benar, maka diberikan juga SOP (*Standard Operational Procedure*) pada setiap alat, komponen, dan instrumen yang ada di FBC UI.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.1 Persiapan Pengujian

#### 3.1.1 Bahan Bakar Biomassa

Pada penelitian FBC UI terdapat dua proses pembakaran, yaitu pemanasan awal hingga tercapai kondisi *self sustained combustion* kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data. Pemanasan awal menggunakan tempurung kelapa, sedangkan pengambilan data menggunakan daun kering.

##### 3.1.1.1 Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan salah satu contoh biomassa. Tempurung kelapa adalah bagian buah kelapa yang memiliki fungsi biologis sebagai pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut kelapa dengan rata-rata ketebalan 2-3 mm.



**Gambar 3.2 Tempurung kelapa**

Tempurung kelapa (*coconut shell*) yang digunakan disini ialah dari jenis buah kelapa pada umumnya yang biasa dipakai olah masyarakat dan bukan jenis kelapa sawit. Untuk melakukan pengujian pembakaran, tempurung kelapa yang digunakan memiliki ukuran sebagai berikut :

Partikel kecil	:	panjang = 10 – 15 mm
		lebar = 10– 15 mm
		tebal = 2 – 3 mm



**Gambar 3.3 Tempurung kelapa hasil *crushing***

### 3.1.1.2 Daun Kering

Biomassa yang digunakan untuk pengambilan data yaitu daun kering. Daun ini diperoleh dari lingkungan kawasan Universitas Indonesia yang

merupakan sampah organik terbuang. Karena berupa sampah maka komposisi dan ukurannya beragam yang terdiri dari beberapa jenis daun.



**Gambar 3.4 Daun kering**

### 3.1.2 Pasir

Pasir yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap berhasil tidaknya proses fluidisasi dan pembakaran yang akan dilakukan. Dalam menentukan jenis pasir yang akan digunakan pada alat FBC UI ini sebaiknya menggunakan pasir silika atau pasir kuarsa untuk tujuan mendapatkan fluidisasi yang baik dengan densitas partikelnya kurang lebih sebesar  $2650 \text{ kg/m}^3$ . Pasir silika dan pasir kuarsa juga memiliki nilai *specific heat* (kalor jenis) yang kecil sehingga sangat baik dalam menyimpan kalor. Karena semakin kecil nilai *specific heat* suatu material maka akan semakin mudah untuk menaikkan temperatur material tersebut. Dengan massa dan besar kenaikan temperatur yang sama, dua material yang berbeda dengan nilai kalor jenis yang jauh berbeda akan memiliki besar jumlah kalor yang jauh berbeda pula untuk menaikkan temperaturnya.

Sebagai perbandingan nilai *specific heat* untuk substansi-substansi yang lain dapat dilihat pada tabel 3.1. Pasir silika memiliki titik lebur yang tinggi sampai mencapai temperatur sekitar  $1800 \text{ }^\circ\text{C}$  sehingga sangat cocok digunakan untuk aplikasi *fluidized bed combustor* yang *range* operasinya berada pada temperatur tinggi. Sifat fisik, termal dan mekanik pasir silika dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.1 *Specific Heat* berbagai substansiSumber : <http://apollo.lsc.vsc.edu/>

<i>Substansi</i>	<i>Specific Heat</i> ( <i>cal/gram.°C</i> )	<i>Specific Heat</i> ( <i>J/kg.°C</i> )
air (murni)	1,00	4186
lumpur basah	0,60	2512
es (0 °C)	0,50	2093
lempung berpasir	0,33	1381
udara kering (permukaan laut)	0,24	1005
pasir silika	0,20	838
pasir kuarsa	0,19	795
granit	0,19	794

Tabel 3.2 Sifat fisik, termal, dan mekanik pasir silika

Sumber: <http://www.azom.com/>

<i>Properties</i>	<i>Silica Sand</i>
<i>Particle density ( kg/m<sup>3</sup> )</i>	2650
<i>Bulk density ( kg/m<sup>3</sup> )</i>	1300
<i>Thermal conductivity ( Wm<sup>-1</sup>K )</i>	1.3
<i>Tensile strength ( MPa )</i>	55
<i>Compressive strength ( MPa )</i>	2070
<i>Melting point ( °C )</i>	1830
<i>Modulus of elasticity ( GPa )</i>	70
<i>Thermal shock resistance</i>	<i>Excellent</i>

Jenis pasir yang digunakan sudah pasti antara pasir silika dan pasir kuarsa. Menurut pengklasifikasian partikel pasir oleh Geldart seperti yang telah dijelaskan pada bab dua, maka jenis partikel pasir tersebut terkelompok dalam *group B* dan *group D*. Namun partikel pasir dalam *group D* membutuhkan kecepatan fluidisasi yang besar sehingga sangat sulit untuk mendapatkan pencampuran yang baik bila

dibandingkan dengan pasir *group A* dan *group B*. Dengan demikian partikel pasir yang paling baik digunakan untuk aplikasi *fluidized bed combustor* ini adalah partikel pasir *group B* dengan ukuran diameter partikel pasir yang paling baik untuk tujuan fluidisasi berkisar antara 400  $\mu\text{m}$  sampai 700  $\mu\text{m}$ .

Pasir yang terpilih tersebut kemudian diperoleh dengan melakukan pengayakan bertingkat. Ayakan (*sieve*) bertingkat digunakan untuk melakukan pengamatan terhadap nomor kehalusan butiran (*grain fineness number*), dan dapat dilihat seperti pada tabel 3.3 yang mana terdapat ukuran lubang ayakan (*mesh*) menurut standar di Amerika. Berdasarkan tabel tersebut maka partikel pasir yang berkisar antara 400  $\mu\text{m}$  sampai 700  $\mu\text{m}$  adalah partikel pasir dengan ukuran diameter partikel pasir antara *mesh 25* sampai *mesh 40*.

**Tabel 3.3 Distribusi ukuran pengayakan pasir silika**

*Sumber: AGSCO silica sand technical data sheet*

Sieve Size		Individual Percent Retained				
US	$\mu\text{m}$	16-30	20-40	30-50	40-70	50-80
16	1180	1.4				
20	850	35.7	2.3			
25	725	58	19.7	2.3		
30	600	4.7	28	10.4	0.3	
35	500	0.2	30.3	17.1	5.2	
40	425		15.8	31.9	16.5	2.7
50	300		3.6	29.2	37	39.3
60	250		0.3	4.7	14.2	23.8
70	212			2.3	9.3	16.2
80	180			2.1	5.5	9.1
100	150				7.2	5.4
120	125				4.8	3.5

Oleh karena itu, digunakanlah pasir silika dengan ukuran mesh 20-40, karena bila menggunakan pasir silika dengan ukuran dibawah mesh 20 masih terlalu besar dari yang diinginkan dan bila menggunakan pasir silika dengan ukuran diatas mesh 40 akan terlalu halus.



**Gambar 3.5 Pasir silika mesh 20-40 yang digunakan pada FBC UI**

Beberapa keterangan yang harus diperhatikan ialah spesifikasi kondisi dari hampan pasirnya, yaitu :

- massa jenis partikel pasir ( $\rho_p$ ) =  $2650 \text{ kg/m}^3$
- massa jenis borongan pasir ( $\rho_b$ ) =  $1300 \text{ kg/m}^3$
- diameter hampan pasir ( $d_b$ ) =  $63,5 \text{ cm} = 0,635 \text{ m}$
- tinggi hampan pasir (*bed height*) =  $7,5 \text{ cm} = 0,075 \text{ m}$

### 3.1.3 Perlengkapan dan Peralatan

Selain bahan bakar biomassa dan juga pasir, ada beberapa perlengkapan dan peralatan yang digunakan untuk berlangsungnya pengujian dan pengambilan data yang baik dan benar, yaitu :

#### 1. *Generator Set*

*Generator set* (genset) ini adalah satu-satunya sumber tegangan untuk pengoperasian seluruh alat FBC ini, dan dapat memberikan daya listrik sebesar 4 kVA.



**Gambar 3.6 Generator set yang digunakan**

Berikut ini spesifikasi dari genset dengan merk Starke GFH 6900 LXE tersebut :

- *rated voltage* : 220 V
- *rated frequency* : 50 Hz
- *peak power* : 4 kVA
- *rated power* : 3,5 kVA
- *power factor* : 1,0
- *fuel consumption* : 2 litre / hour (bensin)

## 2. Termokopel

Jenis termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe K. Lima termokopel yang ada sebelumnya sudah dikalibrasi oleh mahasiswa peneliti untuk keperluan skripsi di lab gasifikasi. Termokopel dimasukkan satu persatu pada reaktor FBC dengan konfigurasi ketinggian yang berbeda-beda diukur dari batas tengah distributor FBC (T2 paling dekat dengan hamparan pasir dan T6 paling jauh dari hamparan pasir). Sedangkan T1 berada di bawah distributor), yaitu :

- T1 = 31,5 cm di bawah distributor = 0,315 m
- T2 = 3,5 cm = 0,035 m
- T3 = 24,5 cm = 0,245 m
- T4 = 63,5 cm = 0,635 m
- T5 = 144,5 cm = 1,445 m
- T6 = 219,5 cm = 2,195 m





(a)

(b)

**Gambar 3.7 Konfigurasi termokopel (a). T1 – T4, dan (b). T5 – T6**

### 3. *Portable Data Acquisition Module*

Untuk mendapatkan data-data keluaran dari distribusi temperaturnya digunakan *Portable Data Acquisition Module* sebagai pengkonversi suhu dari analog ke digital yang dihubungkan dengan suatu perangkat komputer, dan data keluaran temperatur akan ditampilkan pada layar komputer dengan bantuan perangkat lunak *adam view*, serta data yang telah ditampilkan akan tersimpan secara otomatis sesuai dengan urutan waktu, jadi tidak diperlukan pencatatan suhu secara manual, sehingga akan lebih memudahkan pada saat pengoperasian FBC UI.

*Portable Data Acquisition Module* memiliki 16 *channels* termokopel, yang berarti dapat digunakan maksimal untuk 8 termokopel, karena setiap termokopel membutuhkan 2 *channels* yaitu positif (+) dan negatif (-). *Portable Data Acquisition Module* dihubungkan dengan komputer melalui media USB (*Universal Serial Bus*) dengan konsumsi daya 100mA pada maksimal 5V.



**Gambar 3.8 Portable Data Acquisition Module**

#### 4. Timbangan (*weight scale*)

Timbangan digunakan untuk mengukur massa dari bahan bakar (tempurung kelapa) yang digunakan untuk pembakaran dan untuk mengukur massa hamparan pasir yang akan digunakan.



**Gambar 3.9 Timbangan dengan skala maksimum 5 kg**

#### 5. Coconut Shell Crusher

Coconut Shell Crusher atau yang biasa disebut dengan alat pencacah tempurung kelapa yaitu suatu alat penghancur tempurung kelapa yang digerakan oleh motor tiga fase dengan menggunakan sistem pully sehingga dapat memutar blade yang terdapat didalam ruang pencacah, sehingga tempurung kelapa dapat dicacah menjadi partikel lebih kecil.



**Gambar 3.10 Coconut Shell Crusher**

#### 6. Control Panel

Panel kontrol ini berfungsi sebagai pengontrol dan pengatur dari putaran motor baik feeder, blower dorong, dan blower hisap (*IDF*) yang akan dioperasikan. Pada panel kontrol ini terdapat *inverter* yang memiliki *switch* pengatur. *Inverter* atau yang dikenal juga sebagai *variable-frequency drives* merupakan alat untuk pengontrol kecepatan yang akurat dan pengontrol putaran dari motor tiga fasa maupun satu fasa. *Inverter* yang digunakan bermerk Toshiba, LG, dan Siemens. Spesifikasinya untuk listrik AC 200 – 230 V dan untuk daya motor sampai 5,4hp.



**Gambar 3.11 Control panel yang digunakan untuk feeder dan blower dorong**



**Gambar 3.12 Control Panel Blower Hisap IDF**

### **3.2 Standar Operasi Alat Pengujian**

#### **3.2.1 Sistem Feeder**

Sistem feeder ini berfungsi untuk memasukkan bahan bakar ke dalam ruang bakar secara konstan dan terus-menerus. Mekanisme yang digunakan ialah jenis *screw feeder* yang digerakkan oleh sebuah motor listrik yang menggunakan *gear reducer* dan dua buah *sprocket* yang dihubungkan dengan rantai. *Feeder* ini memiliki *hopper* dan konfigurasi yang horizontal dan kemudian ada kemiringan ke bawah agar bahan bakar dapat turun masuk ke dalam reaktor.



**Gambar 3.13 Sistem feeder pada *fluidized bed combustor* UI**

Berikut ini beberapa spesifikasi pada sistem feeder tersebut :

- CHENTA 3 phase induction motor type CT 80-4B5 :

Tabel 3.4 Spesifikasi motor feeder

HP	kW	V	A	Freq.
1	0,75	220	3,18	50

- CHENTA *gear speed reducer type* MHFI :
  - *Size* : 37
  - *Ratio* : 30
  
- Rasio *sprocket* : - jumlah gigi pada motor = 16  
 - jumlah gigi pada *screw feeder* = 24

Untuk dapat mengoperasikan sistem feeder dengan baik dan benar, maka harus diketahui urutan tahap-tahap yang harus dilakukan, yaitu :

1. Pastikan bahwa kabel motor feeder sudah terhubung dengan tepat ke panel control untuk feeder, sambungkan setiap kabel sesuai dengan warnanya.
2. Sambungkan konektor power ke generator set yang sudah menyala untuk mendapatkan sumber tegangan.
3. Aktifkan *switch* utama dan *circuit breaker* dengan menekan ke arah atas, lampu di pintu panel akan menyala.
4. Tekan *switch* berwarna hitam sebelah kiri ke arah bawah agar *inverter* motor *feeder* menyala.
5. Putar pengendali putaran motor *feeder* sesuai yang diinginkan (rpm maksimum 50 rpm).
6. Jika sudah selesai dan ingin mematikan feeder, maka putar kembali pengendalinya ke nol lagi, dan matikan semua *switch* pada panel kontrol.

Namun pada percobaan ini sistem *feeder* tidak digunakan. Hal ini dikarenakan listrik yang tersedia dari *generator set* tidak mencukupi untuk menyuplai kebutuhan listrik untuk seluruh sistem *fluidized bed combustor* UI. Untuk mengatasi hal ini, bahan bakar dimasukkan melalui pintu pada bagian *feeder* yang mengarah ke ruang bakar, sehingga bahan bakar langsung turun ke dalam ruang bakar.

### 3.2.2 Blower

Terdapat dua blower yang digunakan pada FBC UI. Pertama adalah blower dorong yang digunakan untuk menyuplai udara kebutuhan proses fluidisasi dan reaksi pembakaran secara terus menerus selama pengoperasian alat berlangsung. Blower harus dapat memberikan aliran udara dengan kecepatan aliran yang mencukupi sehingga terjadi fluidisasi, dan sebagai tolak ukurnya dapat dilihat dari kecepatan fluidisasi minimum. Selain itu blower harus dapat memberikan tekanan yang lebih besar dari pada nilai *pressure drop* (penurunan tekanan) saat melewati distributor dan hamparan pasir.



Gambar 3.14 Ring blower pada *fluidized bed combustor* UI

Spesifikasi dari blower yang digunakan adalah sebagai berikut ini :

Tabel 3.5 Spesifikasi teknis ring blower

<i>Phase</i>	3 Ø
<i>Frequency ( Hz )</i>	50 / 60
<i>Power ( kW )</i>	2,2
<i>Voltage ( V )</i>	220
<i>Current ( A )</i>	8
<i>Pressure (max)( mm H<sub>2</sub>O )</i>	2800
<i>Air Flow (max)( m<sup>3</sup>/min )</i>	6,2
<i>Inlet / Outlet Pipe</i>	2"
<i>Weight ( kg )</i>	35

Pada blower kedua berfungsi untuk menghisap gas hasil pembakaran dan terletak dijalur saluran gas buang. Blower ini bekerja mengimbangi tekanan dari *furnace* akibat adanya proses pembakaran agar aliran gas buang tidak keluar melalui jalur lain selain saluran pembuangan.



**Gambar 3.15 Blower Sentrifugal**

Memiliki spesifikasi sebagai berikut :

**Tabel 3.6 Spesifikasi Blower Sentrifugal**

<i>Phase</i>	1 Ø
<i>Frequency ( Hz )</i>	50 / 60
<i>Power ( kW )</i>	1,1
<i>Voltage ( V )</i>	220
<i>Current ( A )</i>	6,5
<i>Pressure (max)( mm H<sub>2</sub>O )</i>	85,66
<i>Air Flow (max)( m<sup>3</sup>/min )</i>	38,33
<i>Inlet / Outlet Pipe</i>	6"
<i>Weight ( kg )</i>	11

Prosedur penggunaan kedua blower tersebut dapat dilakukan dengan mengikuti tahap-tahap berikut ini :

1. Pastikan bahwa kabel dari blower sudah terhubung dengan tepat ke panel kontrol luntuk blower, sambungkan setiap kabel sesuai dengan warnanya.

2. Sambungkan konektor dari panel kontrol ke *generator set* yang sudah menyala untuk mendapatkan sumber tegangan.
3. Lalu aktifkan *switch* utama dan *circuit breaker* dengan menekan ke arah atas, lampu di pintu panel akan menyala.
4. Untuk *ring blower* tekan *switch* berwarna hitam sebelah kanan ke arah bawah agar *inverter blower* menyala.
5. Untuk *ring blower* tekan tombol atas ataupun bawah untuk mencari set untuk putaran (*rpm*), lalu tekan tombol *enter* di bagian tengah.
6. Menjalankan blower, untuk *ring blower* tekan tombol di pintu panel sebelah kanan agar menyala hijau, kemudian atur besarnya *rpm* yang diinginkan dengan memutar-mutar pengendali blower yang ada di pintu panel di atas tombol berwarna hijau tersebut.  
Sedangkan pada blower sentrifugal cukup geser tuas on/off dan memutar potensio hingga display menunjukkan frekuensi sesuai untuk mendapatkan *rpm* yang diinginkan, skala 0 ~ 50 Hz.
7. Jika sudah selesai dan ingin mematikan blower, putar pengendali ke nol lagi dan matikan semua *switch* pada panel kontrol.

### 3.2.3 Sistem Burner

*Burner* yang dipakai di *fluidized bed combustor* UI saat ini ialah jenis *hi-temp premixed burner* yang berfungsi sebagai alat pemberi kalor atau pemanas untuk menaikkan temperatur pasir saat melakukan *start up* awal pengujian pembakaran. Untuk dapat melakukan pengoperasian burner ini dengan baik maka perlu diketahui langkah-langkah yang dilakukan dalam penyalaan dan memmatikannya. Prosedur mengoperasikan burner ini adalah sebagai berikut:

1. Buka *ball valve* utama gas masuk.
2. Atur tekanan kerja gas pada 20~30 mbar (200 ~ 300 mm H<sub>2</sub>O).
3. Putar saklar *burner control* ke posisi *on* untuk mengaktifkan *burner control*. Pada tahap awal, *burner control* melakukan pengecekan status awal apakah ada tekanan udara palsu dan apakah ada api yang terdeteksi *UV sensor*. Bila gejala ini ditemukan, maka indikator burner *misfire* dan lampu merah reset akan menyala.



4. Blower akan berputar untuk menghasilkan tekanan yang stabil. Apabila tekanan blower di bawah nilai setting dari *air pressure switch* maka sistem akan di *cut-off* dan indikator *cut-off* akan menyala.
5. Setelah 30 detik proses *pre-purge* yang berguna untuk mengusir gas yang terperangkap (bila ada), maka *solenoid valve* untuk gas akan membuka. Pada saat bersamaan *ignition trafo* bekerja untuk membentuk *spark* listrik pada elektroda busi. Setelah api menyala, atur besarnya volume gas untuk api pilot dengan memutar *needle valve* sampai api menyala konsisten.
6. *UV sensor* akan mendeteksi nyala api dan mengirim sinyal ke *burner control*. *Burner control* akan tetap membuka *solenoid valve* sehingga api tetap menyala. Tapi bila pembacaan *UV sensor* kurang maka sistem akan di *cut-off* menjadi *misfire*. Bila hal ini terjadi, segera cari tahu apa penyebabnya dan segera tangani. Ulangi urutan proses (*sequence*) dari awal dengan menekan tombol reset atau memutar saklar *burner control* ke posisi *off* lalu nyalakan lagi dari awal.
7. Jika ingin mematikan burner, putar saklar burner ke posisi *off* dan pastikan bahwa api burner sudah mati semua.
8. Tutup *ball valve* utama gas masuk dan tutup katup utama pada tabung gas LPG.

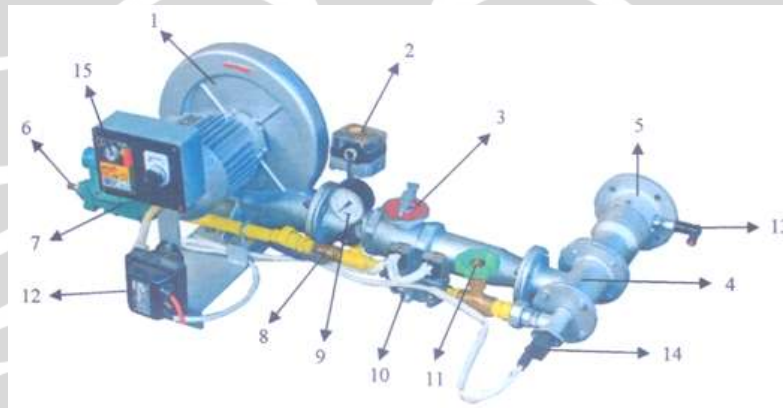
Penyetelan *hi-temp premixed burner* juga perlu dilakukan untuk dapat mengatur mutu nyala api dan panjang nyala api yang diinginkan. Mekanisme penyetelan burner adalah seperti berikut ini:

- Penyetelan mutu api:
  - a. Atur volume gas yang mengalir:  
Putar bagian knop *needle valve*:
    - Searah jarum jam: *flow* gas berkurang (-), api berubah menjadi lebih merah.
    - Berlawanan jarum jam: *flow* gas bertambah (+), api menjadi lebih ke biru.
  - b. Atur manual *air damper* pada posisi buka setengah yaitu skala nomor 5. Posisi ini bisa diatur lebih lanjut untuk mendapatkan komposisi udara dan gas yang tepat untuk membentuk mutu nyala

api yang bagus. Kencangkan baut pengunci supaya posisi *damper* tidak berubah.

- Penyetelan panjang api:
  - a. Atur *gas regulator* sehingga tekanan kerja antara 20~30 *mbar* (200~300 *mmH<sub>2</sub>O*).
  - b. Buka tutup dan putar penyetel:
    - Searah jarum jam: tekanan gas bertambah (+), panjang api berubah menjadi lebih panjang.
    - Berlawanan jarum jam: tekanan gs berkurang (-), api menjadi lebih pendek.
  - c. Selanjutnya atur kembali *damper* udara untuk mendapatkan mutu nyala api yang bagus.

Berikut ini diperlihatkan komponen-komponen dari burner dan spesifikasi teknisnya :



**Gambar 3.16** Bagian-bagian *hi-temppremixed burner*

- Keterangan :
- |                         |                                |
|-------------------------|--------------------------------|
| 1. Blower               | 9. Gas pressure gauge          |
| 2. Air pressure switch  | 10. Combination solenoid valve |
| 3. Air damper           | 11. Gas needle valve           |
| 4. Premixer             | 12. Ignition trafo             |
| 5. Head burner          | 13. Spark plug                 |
| 6. Gas inlet            | 14. UV sensor                  |
| 7. Gas second regulator | 15. Burner control             |
| 8. Gas main valve       |                                |

Tabel 3.7 Spesifikasi teknis *Hi-Temp Premixed Burner*

Burner	Kapasitas	75000 <i>kcal/jam</i>
	Bahan Bakar	LPG atau LNG
Tekanan Gas Masuk	LPG	0,69 <i>bar</i> maks
	LNG	1 <i>bar</i> maks
Konsumsi Bahan Bakar	LPG	3,5 $m^3/jam$ maks
	LNG	8 $m^3/jam$ maks
Blower	Tekanan Statik	200-300 $mmH_2O$
	Debit Aliran	2,5 $m^3/min$
Sumber Daya	Sistem Burner	220 V; 0,75 kW

### 3.3 Prosedur Pengujian Pembakaran

Pengujian pembakaran dengan bahan bakar biomassa (cangkang kelapa) yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan karakteristik distribusi panas serta daya panas yang dihasilkan pada alat *fluidized bed combustor* UI dengan melihat hubungan-hubungan antara temperatur di setiap titik termokopel tiap satuan waktu, ketinggian termokopel, ukuran partikel pasir, ketinggian distributor serta lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melakukan sebuah pengujian ini sampai selesai.

#### 3.3.1 Rangkaian Alat Pengujian

Untuk dapat melakukan pengujian dengan baik dan benar maka harus diperhatikan juga bagaimana rangkaian alat eksperimen tersebut disusun secara keseluruhan (*Overall setup*). Penjelasannya adalah sebagai berikut :

- Panel kontrol dihubungkan ke generator set sebagai sumber catu dayanya.
- Sistem feeder terhubung ke panel kontrol agar dapat diatur putarannya.
- Blower juga terhubung ke panel kontrol agar dapat diatur putarannya.
- Burner terhubung ke generator set agar dapat memutar blower burner dan menyalakan busi.
- Blower dihubungkan ke area di bawah distributor dan pasir (area *plenum*) menggunakan selang untuk mengalirkan udara.
- Blower IDF terpasang disaluran gas buang tepat dibawah cerobong

- Termokopel terletak di lima titik ketinggian pada ruang bakar dan *freeboard area* (area di atas pasir) dengan ketinggian yang sudah disebutkan di sub bab persiapan sebelumnya.
- Termokopel terhubung ke *Portable Data Acquisition Module*, dan *Portable Data Acquisition Module* juga terhubung ke sebuah komputer untuk dapat membaca nilai suhunya di setiap termokopel.
- Untuk posisi masing-masing alat diletakkan dengan sebaik mungkin, sehingga tidak ada kabel yang tertekan, terikat, ataupun tertarik. panel kontrol diletakkan dengan sebaik mungkin agar dapat dengan mudah melakukan pengaturan.

### 3.3.2 Prosedur Pengambilan Data Pembakaran

Dalam melakukan pengujian pembakaran dan pengambilan data untuk *fluidized bed combustor* UI harus dilakukan dengan metode yang optimal, sehingga hasil atau data-data yang didapat menjadi lebih akurat dan benar. Keseluruhan langkah-langkah yang dilakukan dari awal setelah persiapan dan sebelum pengambilan data sampai setelah pengambilan data akan dijelaskan berikut ini.

#### 3.3.2.1 Prosedur Pemanasan Awal

1. Pastikan semua persiapan, rangkaian dan posisi alat sudah dilakukan dengan benar sesuai dengan yang sudah disebutkan sebelumnya.
2. Menyalakan blower sebagai penyedia udara saat menyalakan burner dan saat proses pembakaran berlangsung, serta untuk proses fluidisasi pasir agar panasnya tersebar merata di seluruh pasir. Digunakan dua flow rate udara yang berbeda (jika dilihat putarannya, yang pertama ialah 3300 rpm).
3. Menyalakan *burner* untuk memanaskan *bed* (pasir) hingga *bed temperature* mencapai suhu diatas 400°C.
4. Setelah itu memasukkan solid fuel berupa cangkang kelapa ke dalam ruang bakar sampai temperatur *bed* mencapai suhu sekitar 750 – 800 °C. Temperatur pada *Portable Data Acquisition Module* akan tersimpan secara otomatis.

5. Kemudian burner dimatikan dan temperatur bed akan perlahan menurun dan ditunggu hingga suhunya stabil (kondisi steady) berada diantara 500 – 700 °C. Pada temperatur ini bahan bakar daun maupun ranting pohon sudah dapat terbakar dengan sendirinya (*self-sustained combustion*).

#### 3.3.2.2 Prosedur Pengambilan Data Pembakaran

1. Setelah mencapai temperatur stabil tersebut, bahan bakar yang sudah disiapkan sebanyak 0,25 kg dimasukkan ke dalam ruang bakar.
2. Dimulai dari massa 0,25 kg, lalu mengamati perubahan temperatur yang terjadi menitnya. Pada awalnya temperatur akan menurun kemudian naik lagi dan akhirnya saat bahan bakar habis terbakar masukkan bahan bakar dengan massa yang sama. Perhatikan perubahan temperatur setiap saat dan lakukan proses yang sama selama waktu yang telah disepakati.
3. Setelah tercapai waktu yang diinginkan hentikan pemasukan, perubahan temperaturnya terus diamati setiap menitnya sampai pada akhirnya suhu di ruang bakar turun terus-menerus secara perlahan karena sudah tidak dimasukkan bahan bakar lagi. Saat temperatur *bed* sudah cukup rendah dibawah 500°C, *Portable Data Acquisition Module* dapat dimatikan.
4. Pengambilan data dapat dilakukan kembali jika ruang bakar telah kembali ke temperatur lingkungan.

### 3.4 Modifikasi Saluran Gas Buang

Setelah melakukan tes pembakaran diketahui permasalahan yang timbul, yaitu aliran gas buang terhambat sehingga keluar melalui jalur lain. Hal ini diatasi dengan memodifikasi saluran gas buang dan menambahkan blower hisap untuk membantu mengalirkan gas buang dari *furnace* ke lingkungan. Terdapat tahapan-tahapan dalam memodifikasi saluran gas buang, terdiri dari :

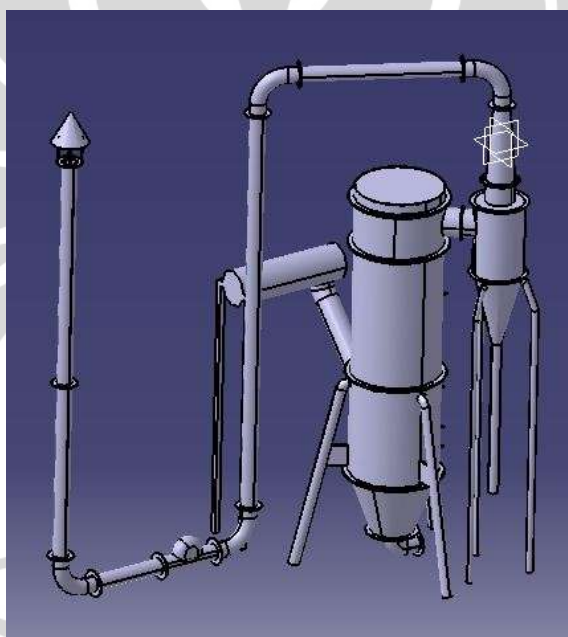
1. Desain saluran gas buang
2. Perhitungan *pressure drop*
3. Perhitungan dan pemilihan kebutuhan blower hisap
4. Pabrikasi alat sesuai desain

### 3.4.1 Desain Saluran Gas Buang

Pada tahap ini akan dilakukan desain saluran gas buang baru yang nantinya menggantikan posisi saluran gas buang lama. Dalam menentukan desain dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya :

1. Ketersediaan ruang tempat alat akan dirakit
2. Ukuran pipa yang telah ditetapkan
3. Penetapan bentuk saluran yang diinginkan

Desain saluran gas buang menggunakan *software* Catia baik untuk 3D maupun 2D.



**Gambar 3.17 Desain Saluran Gas Buang**

Seperti yang terlihat pada gambar 3.16 bentuk jalur yang dimulai tepat diatas *cyclone* kemudian mendatar kekiri, turun, mendatar kekiri dan naik kembali merupakan bentuk kesepakatan.

Ukuran diameter pipa ditetapkan sebesar 190 mm dimana ukuran ini lebih kecil dibanding diameter jalur keluar *cyclone*. Pertimbangannya adalah ukuran yang lebih kecil untuk panjang tertentu akan mengurangi rugi tekanan sehingga besar daya blower dapat ditekan.

### 3.4.2 Perhitungan *Headloss*

Setelah melakukan desain saluran gas buang maka dilanjutkan perhitungan *headloss* pada FBC UI. Dimulai dengan dari udara masuk *furnace* melintasi distributor dan pasir, aliran gas buang dari *furnace* hingga keluar melalui saluran baru, dan aliran gas buang yang keluar melalui jalur lain (*feeder* dan *burner*). Hasil perhitungan akan menghasilkan besar *head loss* yang terjadi pada rangkaian jalur pergerakan fluida di FBC UI.

### 3.4.3 Perhitungan dan Pemilihan Kebutuhan Blower IDF

Setelah mengkalkulasi *head loss* pada sistem FBC, langkah selanjutnya adalah menentukan kapasitas minimal blower yang dibutuhkan. Besaran *head loss* digunakan untuk menentukan daya blower,  $P = \text{kW}$  blower yang diperlukan. Tambahan data lain yaitu menghitung debit  $Q = \text{kg/m}^3$  yang kemudian dikonversi dalam *cubic meter per minute*, CMH agar memudahkan dalam mencari spesifikasi dipasaran.

### 3.4.4 Pabrikasi Alat

Sebelum melakukan pengujian hasil modifikasi, tentunya alat yang akan diuji harus ada. Pabrikasi kemudian dilakukan yang diakhiri dengan perakitan pada sistem FBC UI.

#### a. Pelepasan cerobong lama



**Gambar 3.18 Cerobong lama terpasang**



**Gambar 3.19 Cerobong dilepas**

b. Pemasangan saluran baru



**Gambar 3.20 Pemasangan blower**





**Gambar 3.21 Pemasangan pipa**

c. Hasil pemasangan



**Gambar 3.22 Tampak depan**



**Gambar 3.23 Tampak belakang**

### 3.4.5 Pengujian Blower

Proses pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan blower secara khusus dan modifikasi saluran secara umum. Pengujian dilakukan dengan mengatur debit blower sesuai hasil perhitungan kebutuhan minimumnya. Untuk mendapatkan kondisi yang diinginkan caranya yaitu dengan mengatur nilai frekuensi pada inverter sehingga diperoleh putaran dan debit tertentu.

**Tabel 3.8 Variasi kapasitas blower**

No	Putaran (rpm)	Frekuensi (Hz)	Debit (m <sup>3</sup> /s)
1	100	1,79	0,02
2	200	3,57	0,05
3	400	7,14	0,09
4	600	10,71	0,14
5	800	14,29	0,18
6	1000	17,86	0,23
7	1200	21,43	0,27
8	1400	25,00	0,32
9	1600	28,57	0,37
10	1800	32,14	0,41
11	2000	35,71	0,46
12	2200	39,29	0,50
13	2400	42,86	0,55
14	2600	46,43	0,59
15	2800	50,00	0,64

Berdasarkan hasil pengujian akan diketahui pengaruh penggunaan blower IDF baik secara visual maupun data temperatur pada setiap titik termokopel pada proses pembakaran.

## BAB 4 HASIL dan ANALISA

### 4.1 Hasil

Berdasarkan landasan teori yang ada dapat diberikan hasil perhitungan dengan singkat sebagai berikut :

- a. *Headloss* furnace, cyclone bagian atas, serta saluran buang baru

**Tabel 4.1 Perhitungan *headloss* utama**

Bagian	Kecepatan v m/detik	Headloss $h_l$ meter
Furnace	0,103	0,0096
Cyclone	0,26	0,0235
Saluran baru	0,31	0,3438

- b. *Headloss* pada feeder, burner serta jalur pembuangan cyclone

**Tabel 4.2 Perhitungan *headloss* jalur lain**

Bagian	Kecepatan v m/detik	Headloss h meter
Feeder	0,33	0,015
Burner	0,33	0,015
Pembuangan cyclone	1,78	1,146

Sehingga total *headloss* yang harus ditangani adalah total poin a dan b

$$h_l = h_{l_a} + h_{l_b}$$

$$h_l = 0,3853 + 1,176$$

$$h_l = 1,562 \text{ meter}$$

Kemudian berikutnya menghitung debit minimal yang diperlukan. Nilai diambil dari ujung terakhir saluran buang. Dengan diameter 190 mm serta kecepatan alir 0,31 m/detik perhitungannya sebagai berikut :

$$Q = V \cdot A$$

$$Q = 0,31 \times \pi \times d$$

$$Q = 0,185 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Sedangkan untuk daya motor blower yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_{fd} = \frac{(\Delta p_b) \dot{m}}{75 \rho_u \eta_{fd} \eta_{m1}}$$

$$P_{fd} = \frac{(18,77 \text{ Pa}) 0,3746 \text{ kg/detik}}{75 \times 1,98 \text{ kg/m}^3 \times 0,6 \times 0,6}$$

$$P_{fd} = 98 \text{ watt}$$

Mengacu pada ukuran pipa serta ketersediaan blower dipasaran maka didapat blower IDF tipe sentrifugal dengan spesifikasi P = 1,1 kW dan Q = 0,64 m<sup>3</sup>/detik pada putaran maksimal 2800 rpm dan tekanan 840 Pa.

Pada proses pengujian selain berdasarkan hasil perhitungan, pengaturan blower perlu juga memperhatikan kondisi operasian blower tersebut. Blower harus dapat bekerja normal dimana mampu menghisap hasil pembakaran serta pendinginan pada motor blower dapat bekerja dengan baik. Berdasarkan kondisi itulah maka dipilih pengaturan dengan putaran blower pada 1000 rpm yang menghasilkan debit IDF sebanyak 0,23 m<sup>3</sup>/detik.

#### 4.1.1 Pemantauan Secara Visual

Berdasarkan pemantauan secara langsung terdapat perbedaan antara sebelum dilakukan modifikasi dan setelah dilakukan modifikasi. Pada kondisi sebelum modifikasi dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. *Feeder* mengeluarkan asap pembakaran *biomass* yang berasal dari *furnace*, akibatnya *biomass* yang dimasukkan melalui *feeder* dapat terbakar sebelum masuk *furnace*.
- b. Blower *burner* mengeluarkan asap pada lubang hisapnya, namun terjadi saat *burner* sudah tidak digunakan. Akibatnya sensor UV dan busi lebih mudah kotor.
- c. Jalur pembuangan dari *cyclone* juga menjadi tempat keluarnya asap.
- d. Pintu *furnace* akan mengeluarkan hawa panas dari pembakaran didalamnya jika dibuka sehingga cukup membahayakan

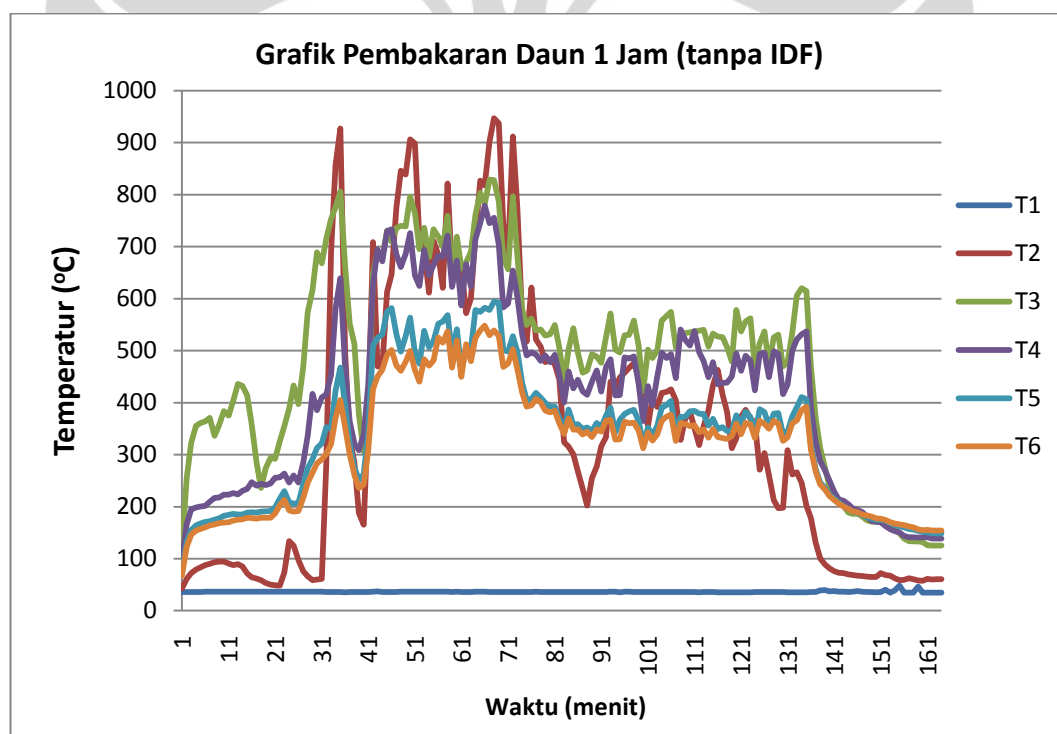
Sedangkan kondisi setelah dilakukan modifikasi dan dengan seting IDF pada 0,23 m<sup>3</sup>/detik dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. *Feeder* secara umum sudah tidak mengeluarkan asap, efeknya pemasukan *biomass* melaluinya menjadi lebih baik.

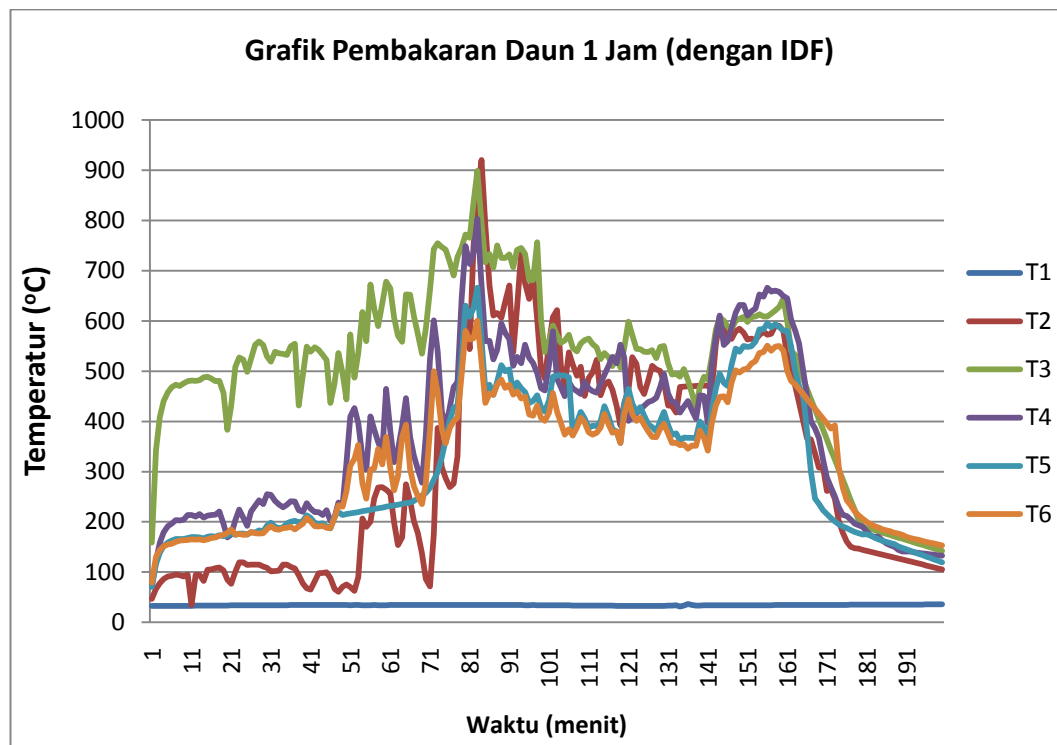
- b. Sama halnya terjadi pada *burner* yang tidak lagi mengeluarkan asap sehingga sensor UV lebih bersih. Khusus untuk busi tidak begitu terpengaruh karena letaknya dekat *furnace* dan *bed* sehingga pasir masih dapat mengotorinya.
- c. Jalur pembuangan *cyclone* sudah tidak lagi mengeluarkan asap.
- d. Pembukaan pintu *furnace* menjadi lebih aman karena hawa panas tidak keluar saat pintu dibuka, hanya pengaruh sedikit radiasi.
- e. Asap terlihat keluar dari ujung saluran baru (cerobong).

#### 4.1.2 Perbandingan Data Pembakaran

Modifikasi saluran buang selain bertujuan mengatasi permasalahan pada aliran gas buangnya juga diharapkan mempengaruhi proses pembakaran di *furnace*. Berikut ini data hasil eksperimen sebelum dan sesudah modifikasi :



**Grafik 4.1 Grafik Pembakaran Sebelum Modifikasi**



**Grafik 4.2 Grafik Pembakaran Setelah Modifikasi**

Nilai temperatur rata-rata untuk setiap termokopel selama pengujian pembakaran (pemanasan awal dan dilanjutkan dengan *self sustained combustion*) ditampilkan pada tabel dan grafik di bawah ini :

**Tabel 4.3 Temperatur rata-rata**

<b>Pemanasan Awal + Self Sustained Combustion</b>	
<b>Termokopel</b>	<b>Temperatur Rata-Rata (°C)</b>
T1	36.2
T2	395
T3	544.5
T4	464
T5	369
T6	345

## 4.2 Analisa

Berdasarkan hasil dari pengujian, dapat dilakukan analisa terhadap pengujian visual maupun tes pembakaran.

### 4.2.1 Analisa Visual

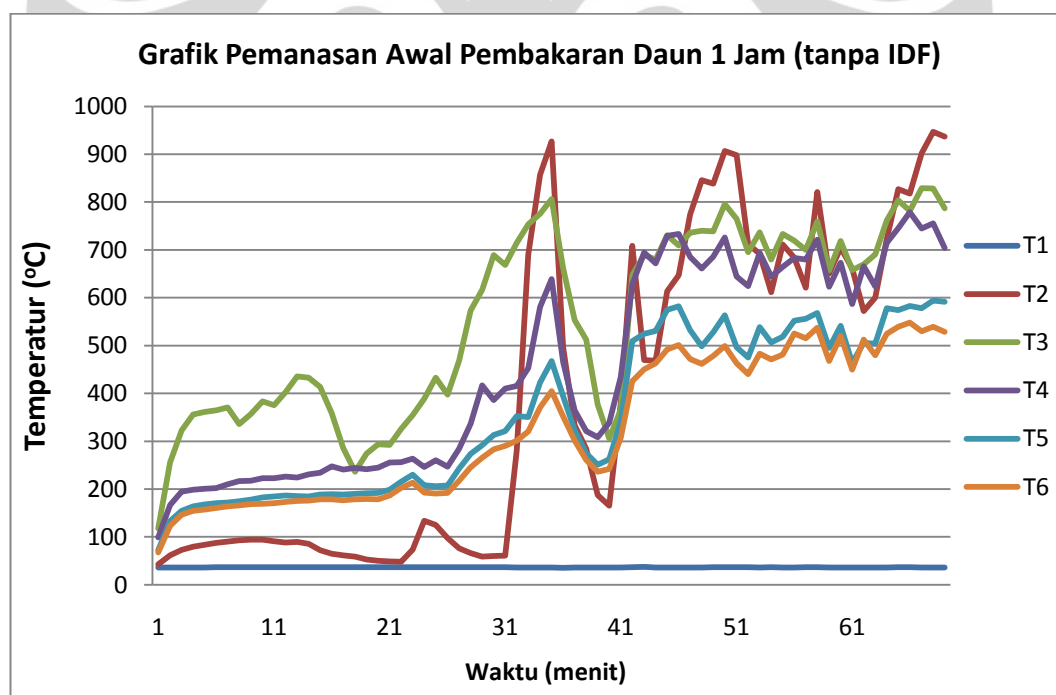
Analisa visual yang bisa diberikan adalah sebagai berikut :

- a. Desain saluran gas buang modifikasi sudah mampu mengatasi permasalahan saluran lama.
- b. Kapasitas IDF sudah mencukupi, dengan memanfaatkan kurang dari setengah kapasitasnya mampu mengatasi masalah yang ada.

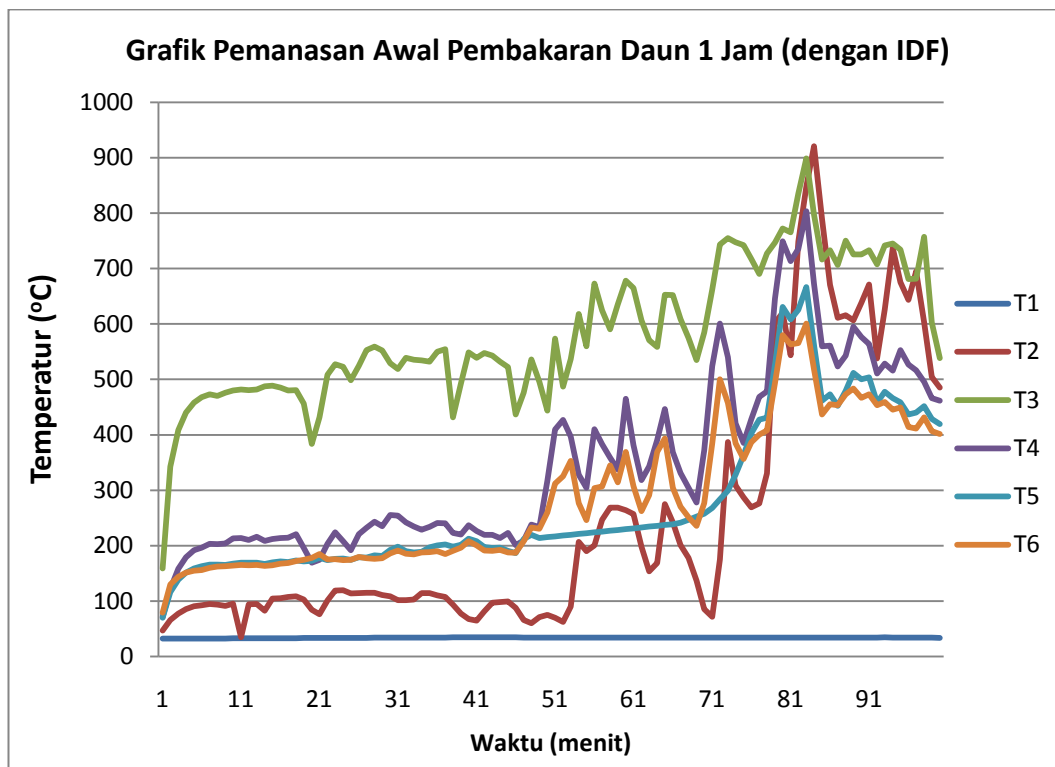
#### 4.2.2 Analisa Pembakaran

##### 4.2.2.1 Proses Pemanasan Awal

Proses pemanasan awal sebelum adanya penambahan *induced draft fan* berlangsung selama 83 menit, sedangkan pada proses pemanasan awal setelah penambahan *induced draft fan* berlangsung selama 118 menit. Dapat terlihat bahwa pada percobaan yang menggunakan *induced draft fan* pemanasan awal berlangsung lebih lama. Perbedaan waktu pemanasan awal antara sebelum dan setelah penggunaan *induced draft fan* itu sebesar 35 menit. Meskipun demikian terlihat pada grafik bahwa temperatur pada penggunaan *induced draft fan* kenaikannya cenderung stabil.



**Grafik 4.3 Grafik Pemanasan Awal Pembakaran Daun 1 Jam Sebelum Penambahan *Induced Draft Fan* Terhadap Waktu (menit)**



Grafik 4.4 Grafik Pemanasan Awal Pembakaran Daun 1 Jam Setelah Penambahan *Induced Draft Fan* Terhadap Waktu (menit)

Tabel 4.4 Perbandingan Temperatur Rata-Rata Pemanasan Awal Pengujian Pembakaran Daun pada *Self Sustained Combustion* 1 Jam

Termokopel	Tanpa <i>Induced Draft Fan</i>	Dengan <i>Induced Draft Fan</i>
	Temperatur Rata-Rata (°C)	Temperatur Rata-Rata (°C)
T1	36.4	34.1
T2	396	249.2
T3	553.7	582.6
T4	451.5	346.8
T5	357.4	274.7
T6	327.8	287.5

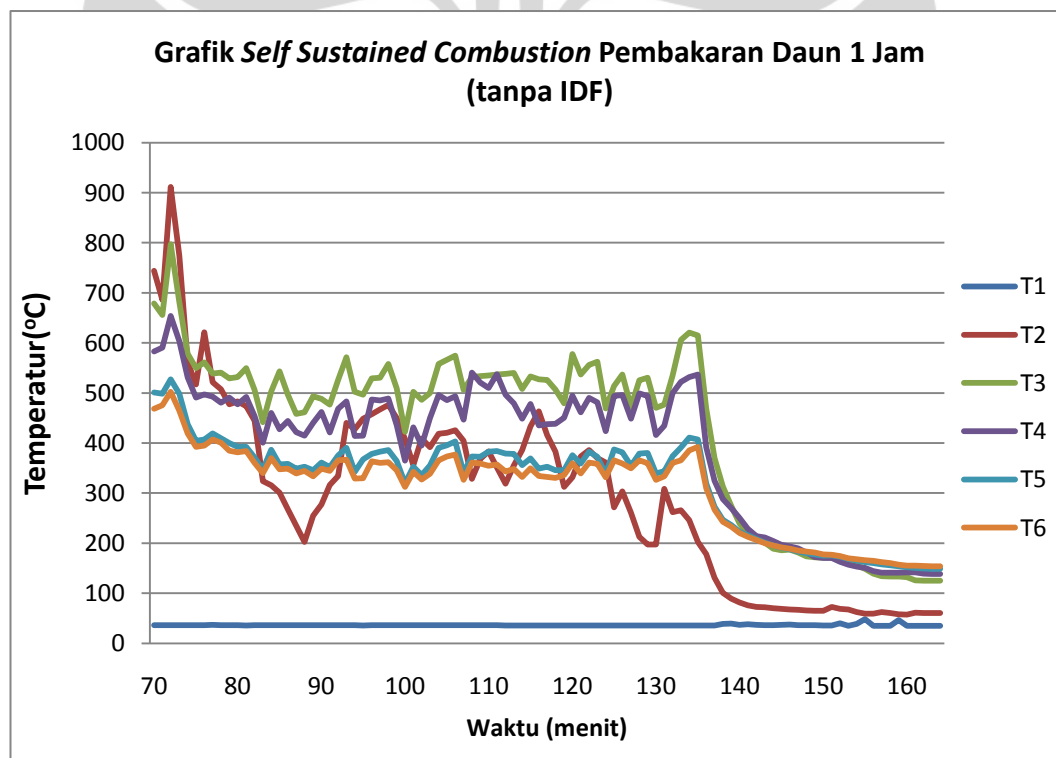
Jika dilihat dari tabel perbandingan temperatur rata-rata di atas terlihat bahwa pemanasan awal dengan menggunakan *induced draft fan* unggul pada temperatur T4 dan mempunyai temperatur rata-rata yang sama pada T3, sedangkan temperatur lainnya masih kalah dibandingkan dengan pengujian pembakaran tanpa *induced draft fan*. Hal ini disebabkan karena pemanasan awal



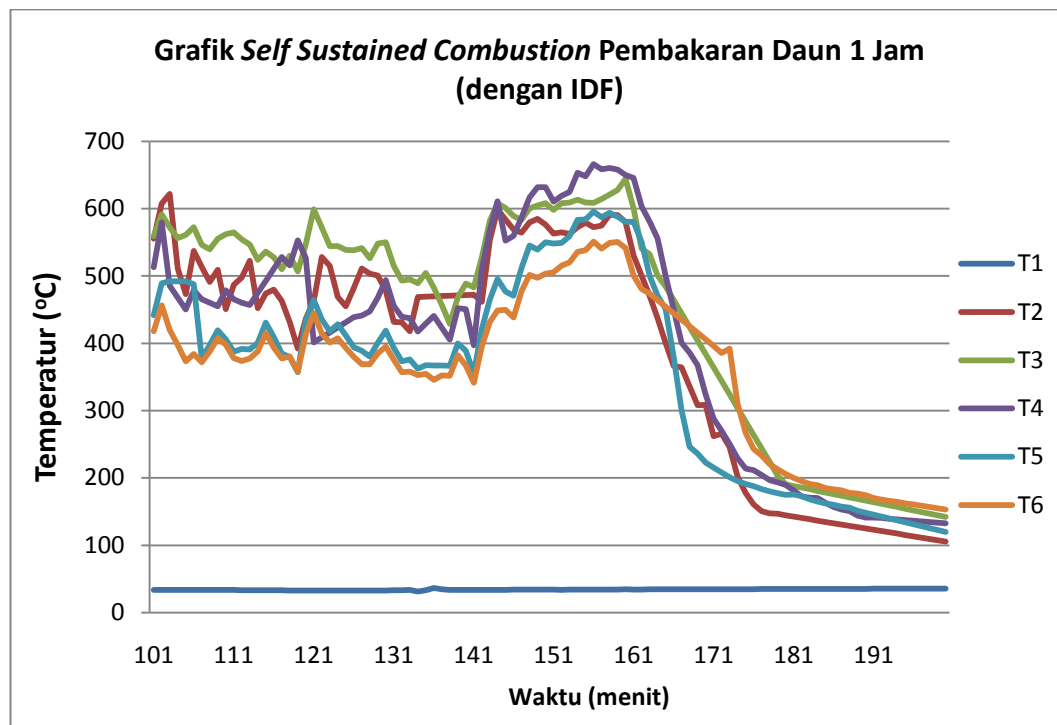
dengan penggunaan *induced draft fan* yang meskipun stabil mengalami kenaikan temperatur tetapi memakan waktu cukup lama pada suhu rendah sehingga temperatur rata-ratanya ikut menjadi rendah.

#### 4.2.2.2 *Self Sustained Combustion*

*Self Sustained Combustion* adalah suatu kondisi dimana hamparan pasir (*bed*) yang telah berubah warna menjadi merah menyala seperti lava yang bergolak membara. Kondisi seperti ini didapatkan setelah dilakukan pemanasan awal yang cukup. Sehingga saat burner telah dimatikan hamparan pasir (*bed*) telah menyimpan panas dan saat dimasukkan bahan bakar dapat langsung terbakar. Untuk blower tiup (*Forced Draft Fan*) tetap dihidupkan dalam kondisi ini, hanya burner sajarah yang dimatikan pada saat proses *self sustained combustion* ini.



**Grafik 4.5 Grafik *Self Sustained Combustion* Pembakaran Daun 1 Jam Sebelum Penambahan *Induced Draft Fan* Terhadap Waktu (menit)**



Grafik 4.6 Grafik *Self Sustained Combustion* Pembakaran Daun 1 Jam Setelah Penambahan *Induced Draft Fan* Terhadap Waktu (menit)

Tabel 4.5 Tabel Perbandingan Temperatur Rata-Rata *Self Sustained Combustion* Pengujian Pembakaran Daun pada *Self Sustained Combustion* 1 Jam

	Tanpa <i>Induced Draft Fan</i>	Dengan <i>Induced Draft Fan</i>
Termokopel	Temperatur Rata-Rata (°C)	Temperatur Rata-Rata (°C)
T1	42.5	33.4
T2	404.2	515.4
T3	510.5	559.7
T4	463.6	558.4
T5	368.5	496
T6	344.7	478.8

Jika dilihat dari tabel perbandingan temperatur rata-rata di atas terlihat bahwa temperatur *self sustained combustion* dengan menggunakan *induced draft fan* lebih unggul mulai dari T2 sampai dengan T6. Bahkan temperatur rata-ratanya berbeda sekitar 100°C pada T2, T4, T5 dan T6. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan *induced draft fan* dapat membuat temperatur mulai dari *bed*, *freeboard area* sampai dengan *exhaust* lebih meningkat dan relatif stabil. Ini

dikarenakan *induced draft fan* berguna untuk membentuk aliran udara kontinu yang diperlukan dalam jumlah sesuai bagi pembakaran serta menghisap dan membuang gas sisa hasil produk pembakaran. Dengan demikian efisiensi dari *fluidized bed combustor* ini ikut meningkat.



## BAB 5

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari semua pengujian dan penelitian yang telah dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Modifikasi bertujuan menurunkan tekanan dalam *furnace* sehingga gas hasil pembakaran dapat mengalir keluar melalui cerobong.
2. Modifikasi saluran gas buang dengan bentuk baru serta penetapan diameter sebesar 190 mm dapat memperbaiki kinerja dari *fluidized bed combustor* UI.
3. IDF hasil perhitungan mampu mengatasi masalah utama tanpa perlu menjalankan pada posisi maksimum
4. Modifikasi yang dilakukan membuat hasil tes pembakaran menjadi lebih baik, ditandai dengan temperatur dan keseragaman lebih baik

#### 5.2 Saran

Untuk menghasilkan performa lebih baik pada penelitian selanjutnya, saran berikut ini perlu dilakukan :

1. Melengkapi termokopel pada beberapa titik disaluran gas buang agar mendukung dalam mendapatkan data temperatur yang lebih banyak dan lebih baik.
2. Pengukuran emisi gas buang diperlukan untuk mengetahui kandungan gas hasil pembakaran yang keluar melalui cerobong.
3. *Servis burner* perlu dilakukan agar nyala api bisa lebih stabil dan jauh.
4. Pasir sebagai *bed* diusahakan mendapatkan kualitas lebih baik sehingga memudahkan proses pemanasan serta dapat digunakan lebih dari 1 kali.
5. Penutup cerobong ada baiknya diubah bentuknya agar saat hujan tidak mudah air masuk.

## DAFTAR PUSTAKA

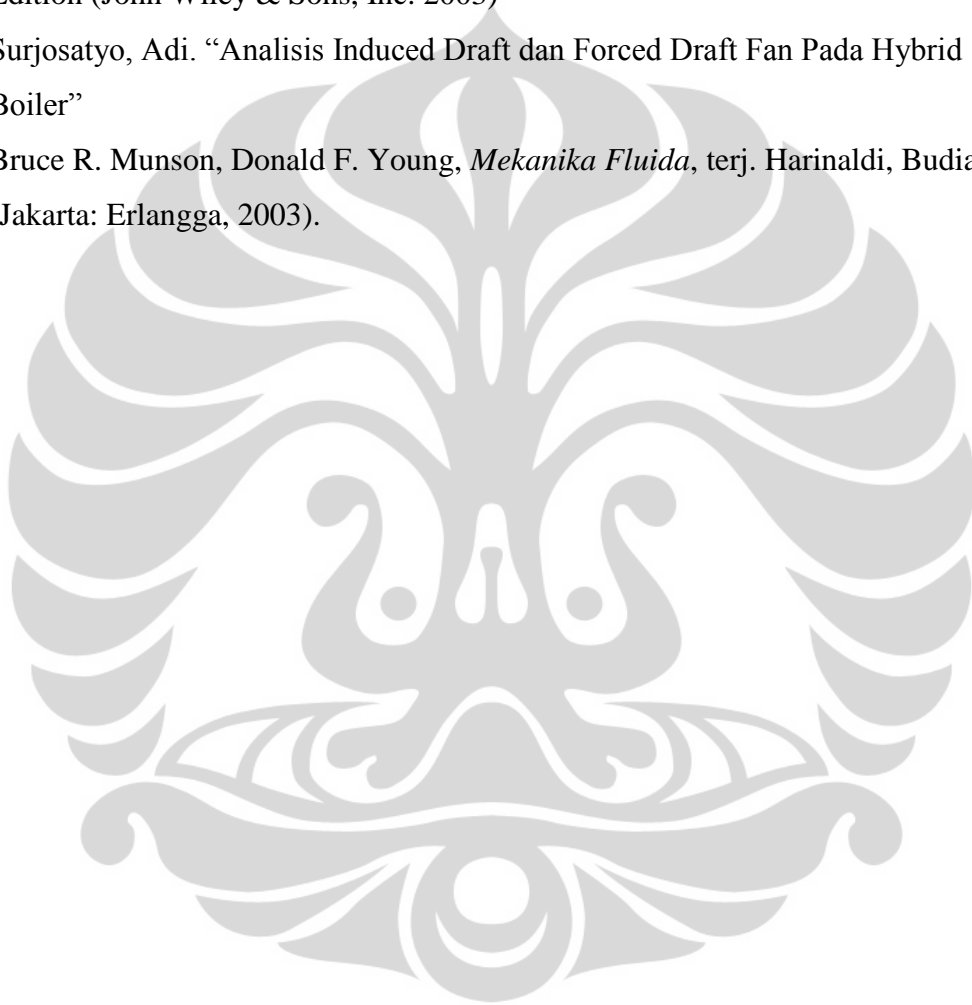
Basu, Prabir. “Combustion and Gasification in Fluidized Beds” (Taylor & Francis Group 2006).

Oka, Simeon N. “Fluidized Bed Combustion” (Marcel Dekker, Inc. 2004)

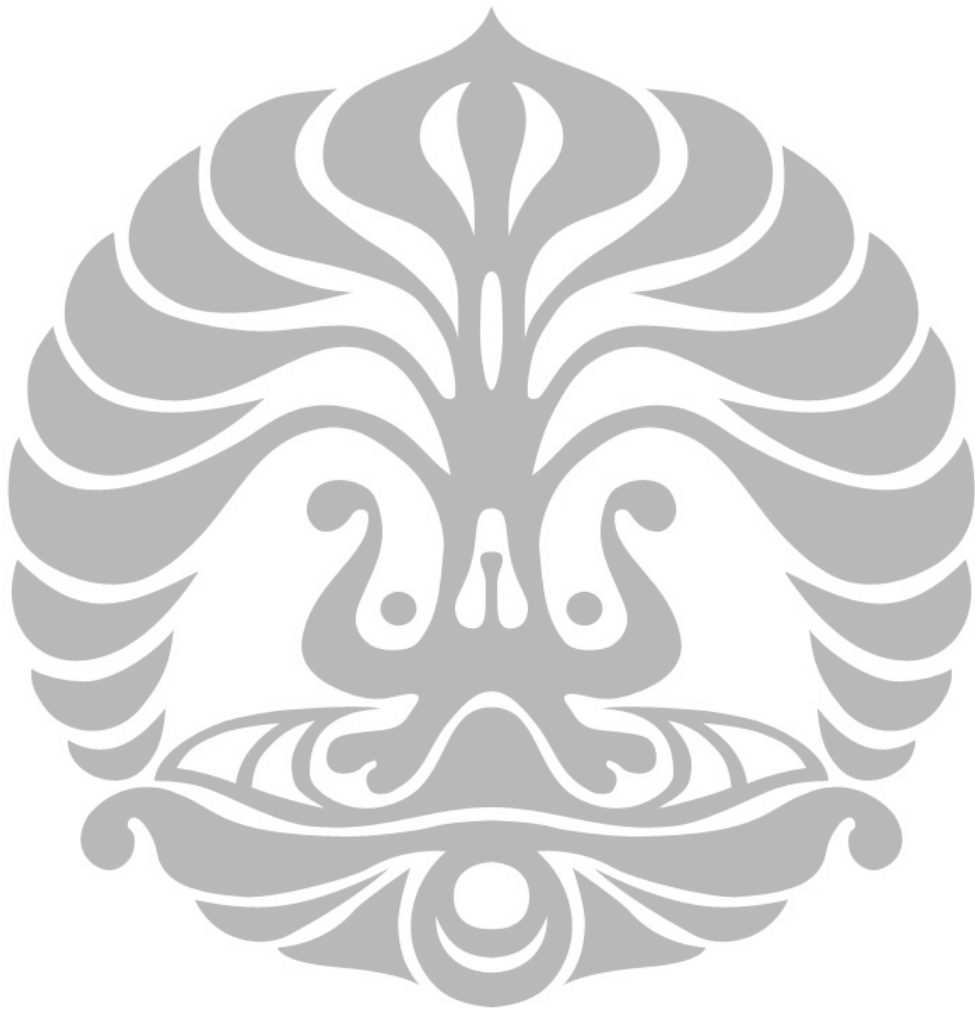
Robert W. Fox, Alan T. McDonald, Philips J. Pritchard “Fluid Mechanics” Six Edition (John Wiley & Sons, Inc. 2003)

Surjosatyo, Adi. “Analisis Induced Draft dan Forced Draft Fan Pada Hybrid Boiler”

Bruce R. Munson, Donald F. Young, *Mekanika Fluida*, terj. Harinaldi, Budiarmo (Jakarta: Erlangga, 2003).

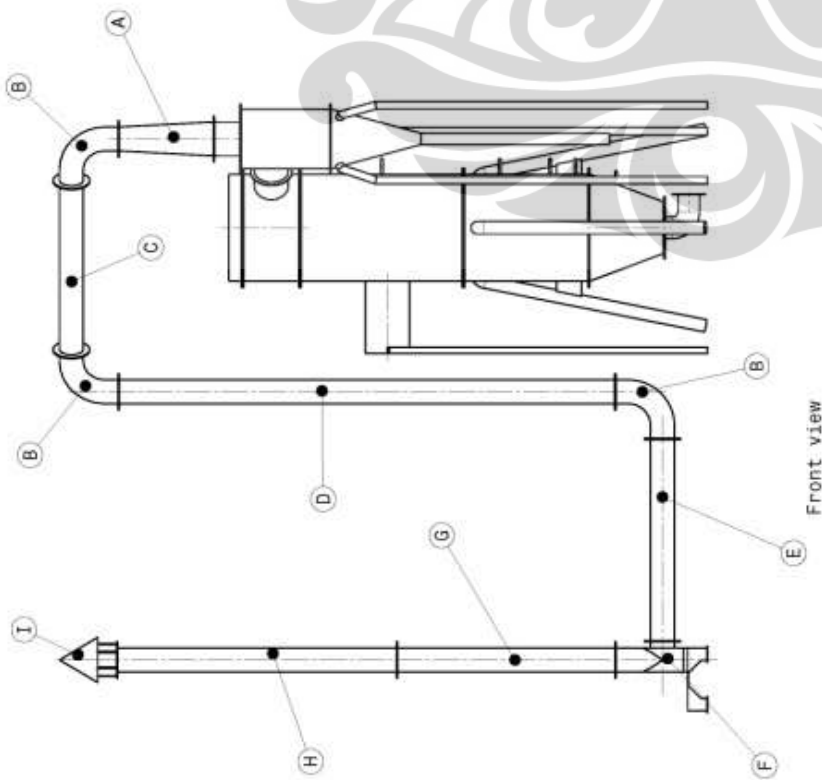


**LAMPIRAN**

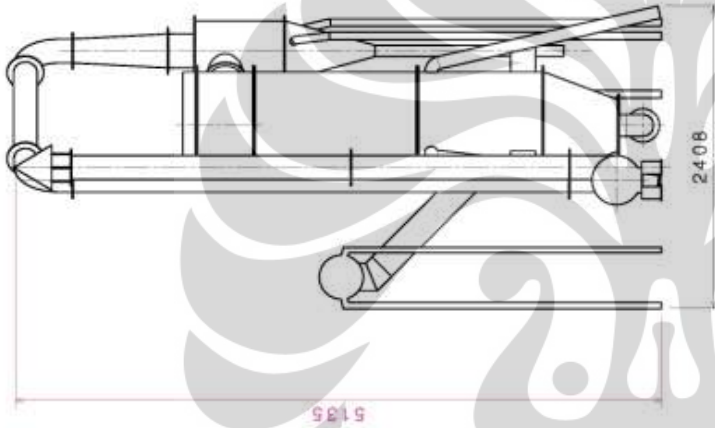


Catatan :

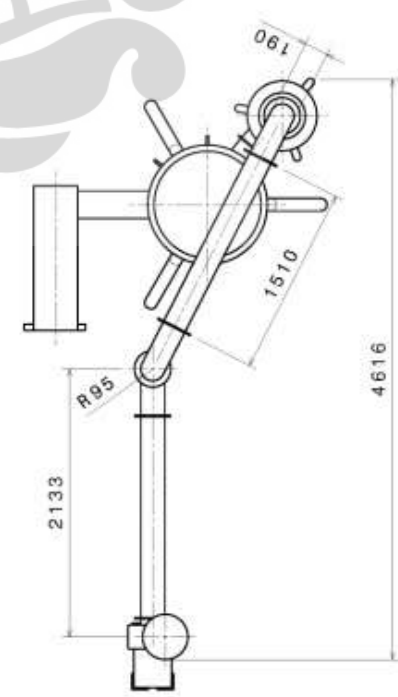
1. Ukuran blower idf dalam gambar merupakan estimasi
2. Blower idf disesuaikan dengan keadaan sebenarnya
3. Posisi blower idf dari alas/lantai ada jarak karena disesuaikan untuk kebutuhan boks pengering nantinya
4. Kaki/penyangga blower disesuaikan dengan bentuk blower idf



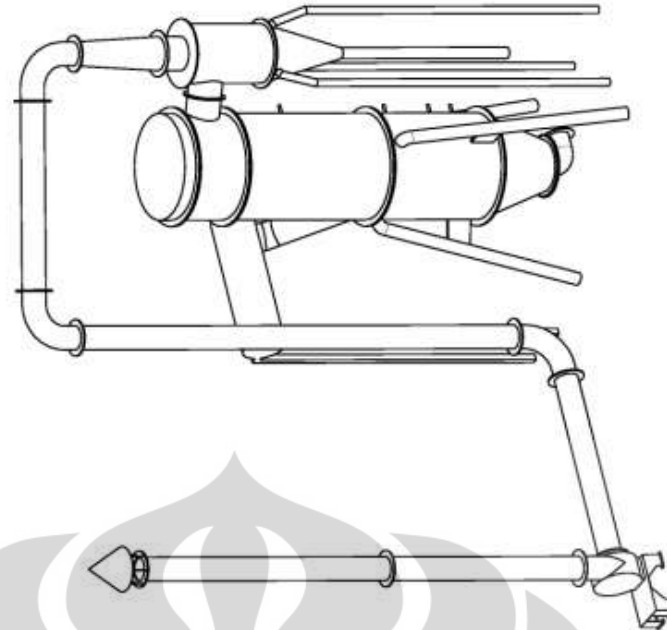
Front view



Left view

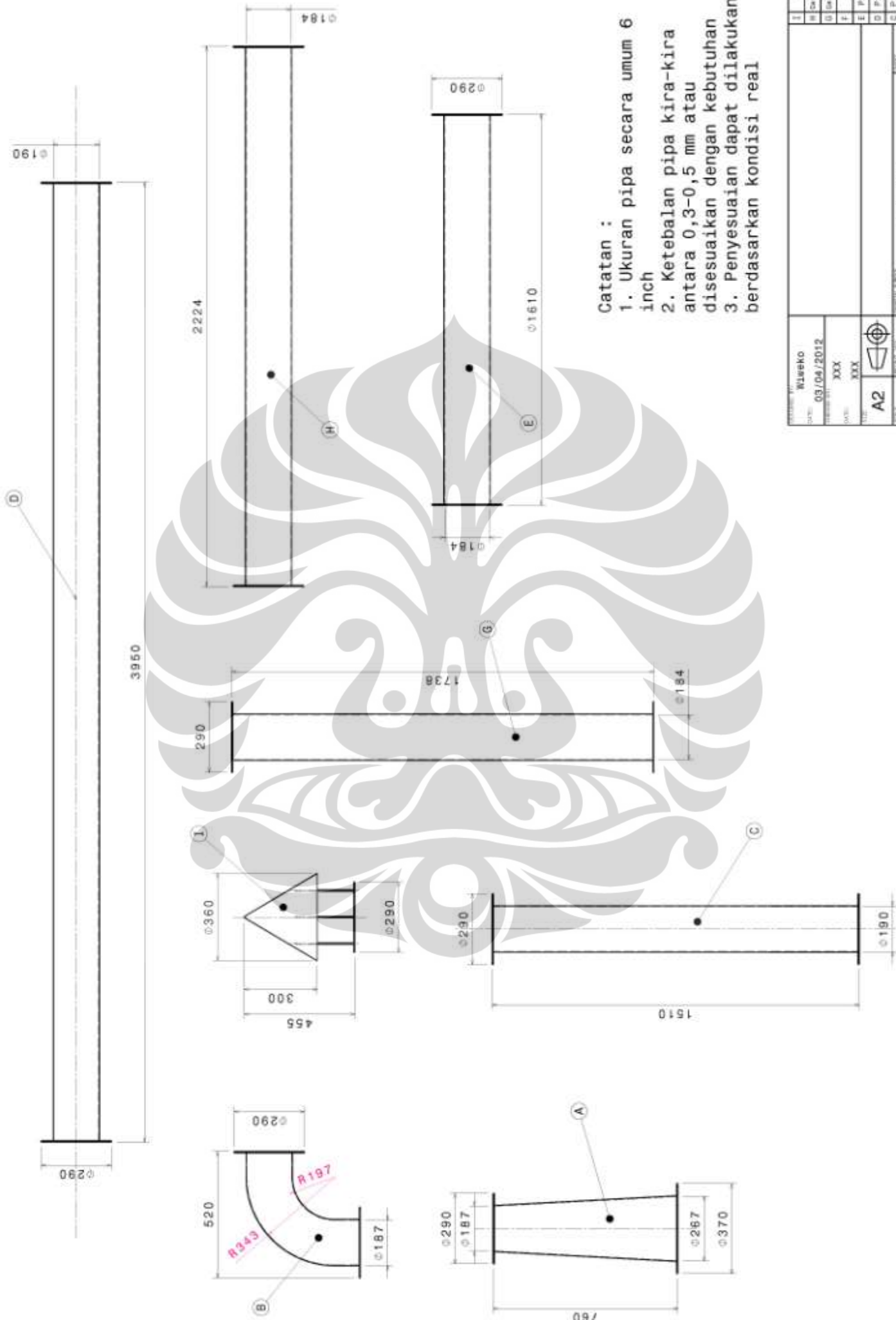


Top view



Isometric view

REVISI NO	Wiweko	1	Topi
DATE	03/04/2012	2	H Gerbang_2
REVISI NO	XXX	3	G Gerbang_1
DATE	XXX	4	F Blower IDF
REVISI NO	XXX	5	E Pipa_4
DATE	XXX	6	D Pipa_3
REVISI NO		7	C Pipa_2
DATE		8	B Elbow
REVISI NO		9	A Pipa_1
DATE			
		FBC ASSEMBLY	
1:30		1/2	



Catatan :  
 1. Ukuran pipa secara umum 6 inch  
 2. Ketebalan pipa kira-kira antara 0,3-0,5 mm atau disesuaikan dengan kebutuhan  
 3. Penyesuaian dapat dilakukan berdasarkan kondisi real

Wiwweko		Top 1
Date: 09/04/2012		B Drawing_2
Revision: 1		D Drawing_1
Date: XXX		F
Date: XXX		E Pipe_4
Date: XXX		D Pipe_3
Date: XXX		C Pipe_2
Date: XXX		B EDraw_1
Date: XXX		A Pipe_1
A2	1:10	FBC PART
2/2		