

BAB IV

MODIFIKASI SISTEM BURNER

Alat yang menjadi objek dari penulisan tugas akhir ini adalah alat *Fluidized Bed Incinerator*, yang dijadikan sebagai proyek dari Universitas Indonesia dalam pengolahan sampah yang ada di lingkungan kampus UI. Saat ini alat tersebut terletak di hutan kota UI dekat wisma makara U I, dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.1. *Fluidized bed incinerator* UI

Sebelumnya alat ini telah dibuat dan sudah dilakukan pengujian. Secara prinsip proses pembakaran dengan metode hamparan fluidisasi (*fluidized bed*) telah berjalan dengan baik. Namun untuk memperoleh hasil pembakaran yang lebih baik, lebih efisien dan optimal maka perlu dilakukan beberapa modifikasi desain dari sistem alat tersebut.

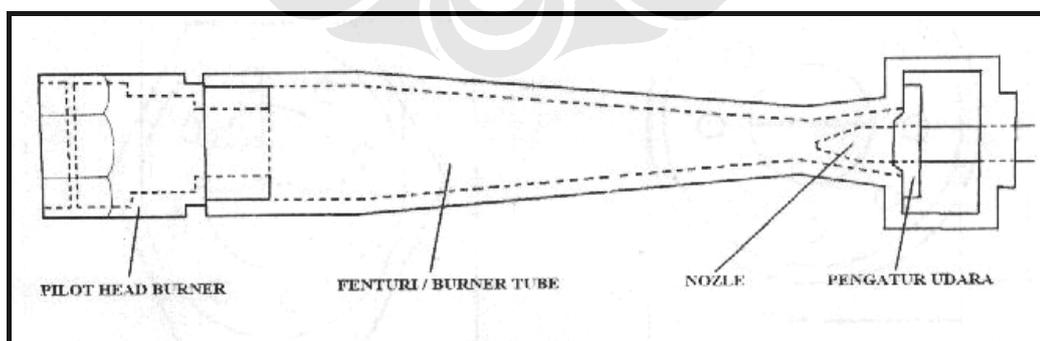
Modifikasi desain perlu dilakukan terhadap sistem *feeding* dan sistem pemanasan dengan *gas burner*. Sistem *feeding* sebelumnya kurang dapat

menyalurkan sampah dengan baik, sehingga sampah tertahan pada saluran *feeder* serta terbakar terlebih dahulu, bahkan arang dari daun yang terbakar tersebut pun keluar dari *feeder*. Sistem pemanasan dengan *gas burner* masih belum bekerja secara optimal dan efisien. Proses pemanasan sebelumnya sangat lama dan relatif kurang aman.

Namun dalam tugas akhir ini hanya difokuskan untuk modifikasi sistem pemanasan awal alat *fluidized bed incinerator* dengan menggunakan burner. Modifikasi pada sistem pemanasan dengan burner perlu dilakukan agar proses pemanasan awal dengan burner berbahan bakar gas LPG menjadi lebih cepat dan aman. Sehingga akan membuat keseluruhan proses menjadi lebih efektif dan lebih efisien.

4.1 SISTEM BURNER AWAL

Burner digunakan dalam proses pemanasan awal agar pasir silika sebagai media pentransfer dapat memanaskan sampai temperatur kondisi operasi. Dalam pengoperasian alat *fluidized bed incinerator*, burner tidak akan digunakan secara terus menerus. Burner hanya beroperasi untuk memanaskan pasir sampai mencapai temperatur kondisi operasi (750 – 850 °C). Setelah mencapai temperatur tersebut, burner ini akan berhenti beroperasi. Kalor yang dibutuhkan untuk menjaga temperatur pasir akan berasal dari umpan masuk sampah sebagai bahan bakar. Burner yang digunakan merupakan *gas burner* dengan bahan bakar gas LPG.



Gambar 4.2. Skematis *stick burner*

Sistem burner awal yang digunakan pada alat *fluidized bed incinerator* ini menggunakan *stick burner* dengan jenis *nozzle-mixing burner*. *Stick burner* ini

berbentuk sangat sederhana, dan kurang lebih seperti batang pipa. Burner ini memiliki karakteristik *laminar premixed-flame* karena tidak ada kecepatan propagasi yang bergantung pada peran aliran; suplai udara berasal dari udara bebas. Sehingga nyala api yang dihasilkan tidak panjang. Gambar ilustrasi skematik *stick burner* dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.3. *Stick burner* yang sebelumnya digunakan

4.1.1 *Stick Burner*

Stick burner, seperti skema yang diilustrasikan pada gambar 4.2, terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

- *Pilot Head*
Pilot head merupakan bagian terdepan dari *burner*. Fungsi utama dari *pilot head* ini adalah menentukan model bunga api yang keluar.
- *Venturi / Burner Tube*
Venturi/Burner Tube merupakan bagian dari *burner* yang berbentuk venturi. Fungsi bagian ini adalah mengalirkan dan mengumpulkan gas sebelum dialirkan ke *pilot head*, serta sebagai penahan agar api tidak langsung terbakar pada *nozzle*.
- *Nozzle*
Nozzle memiliki fungsi sebagai tempat keluarnya aliran gas, serta meningkatkan tekanan pada aliran.

- Pengatur Udara

Pengatur udara berfungsi sebagai kendali masuknya udara sebelum bercampur dengan bahan bakar (gas LPG), dan juga dapat menentukan jenis dan panjang api yang dihasilkan.

4.1.2 Mekanisme Sistem Burner Awal

Mekanisme sistem burner yang digunakan sebelumnya menggunakan dua burner jenis *stick burner*. Kedua burner tersebut diletakkan pada tempat yang berbeda pada reaktor *fluidized bed incinerator* UI sehingga terjadi perbedaan fungsi dari kedua burner. Mekanisme sistem burner awal adalah meletakkan salah satu *burner* di ruang bakar bawah yang ada di bawah (ruang bakar plenum) yang selanjutnya disebut sebagai burner 1. Sedangkan *burner* lainnya diletakkan pada ruang bakar di bagian atasnya (ruang bakar utama) masuk melalui *manhole* yang selanjutnya disebut sebagai burner 2.

Burner 1 yang diletakkan pada ruang bakar plenum memiliki fungsi untuk memanaskan udara yang masuk dari *blower*. Sedangkan burner 2 yang diletakkan pada ruang bakar utama dan masuk melalui lubang *manhole*, digunakan untuk memanaskan pasir secara langsung dari atas. Keterangan dan ilustrasi lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 4.4. Mekanisme sistem burner yang sebelumnya digunakan

Pemanasan pasir dengan mekanisme sistem burner awal ini membutuhkan waktu proses selama 4 jam hanya untuk menaikkan temperatur pasir sampai temperatur 600 °C. Hal ini tentunya merupakan waktu yang sangat lama jika hanya untuk proses pemanasan karena pemanasan barulah proses awal sebelum proses pembakaran sampah dilakukan. Secara keseluruhan mekanisme sistem burner ini sangat tidak efisien.

4.1.3 Permasalahan Yang Dihadapi

Terdapat beberapa permasalahan yang dihadapi dengan sistem pemanasan dengan menggunakan *stick burner* ini (gambar 4.3) dengan mekanisme pemanasan yang dijelaskan di atas (gambar 4.4) selama pengujian yang sebelumnya telah dilakukan.

Permasalahan-permasalahan tersebut dijabarkan sebagai berikut:

1. Metode penyalaan tidak aman. Metode penyalaan sebelumnya juga pernah dilakukan dengan menggunakan busi namun tidak berhasil. Hal ini disebabkan api yang dihasilkan oleh busi masih terlalu kecil. Kemudian metode penyalaan dilakukan dengan metode penyalaan manual. Proses penyalaan ini sangat berbahaya karena penyalaan tersebut dilakukan secara manual hanya menggunakan korek api gas.

2. Nyala api yang dihasilkan burner kurang panjang. Hal ini dikarenakan suplai udara primer burner tidak dapat dikontrol dengan baik. Suplai udara primer ke burner hanya menggunakan katup pengatur udara dan berasal dari udara bebas sekitar. Hal ini menyebabkan tidak terbentuknya aliran yang turbulen saat pencampuran bahan bakar gas dan udara sehingga nyala api yang dihasilkan dari burner kurang panjang.
3. Nyala api yang dihasilkan burner tidak stabil. Saat proses pemanasan awal berlangsung, udara dari blower utama dialirkan pada putaran motor yang tinggi untuk proses fluidisasi. Tekanan aliran udara tersebut lebih besar daripada tekanan aliran yang berasal dari aliran burner 1, sehingga aliran udara bergerak menuju tempat bertekanan yang lebih rendah. Hal ini menyebabkan api yang berasal dari burner 1 akan mati. Selain itu, lubang penempatan burner 1 di ruang bakar plenum memiliki diameter yang terlalu besar dibandingkan dengan diameter dari *head burner*-nya, sehingga masih terdapat kontak dengan udara luar. Karena udara luar memiliki tekanan lebih rendah, maka aliran udara mengalir menuju tekanan yang lebih rendah.
4. Nyala api burner tidak terdeteksi. Jika api dari burner mati, sering kali hal ini tidak dapat terdeteksi. Bila hal ini terjadi ketika nyala api burner mati dan aliran bahan bakar gas LPG dari burner tetap mengalir, maka sangat berpotensi terjadinya ledakan jika dilakukan penyalaan kembali.
5. Mekanisme pemanasan awal tidak efisien. Pemanasan pasir dilakukan melalui lubang utama (*manhole*) ruang bakar yang mana pintu manhole tersebut masih terbuka (gambar 4.4). Hal ini menyebabkan proses pemanasan menjadi tidak efisien karena reaktor tidak sepenuhnya tertutup, sehingga masih adanya kalor yang hilang ke lingkungan melalui celah tersebut.

4.2 DESAIN MODIFIKASI SISTEM BURNER

Tujuan utama penggunaan burner adalah untuk pemanasan awal pasir sampai temperatur operasi ($750 - 925 \text{ }^{\circ}\text{C}$) sebelum dilakukan proses pembakaran umpan sampah. Oleh karena itu proses ini semestinya tidak memakan waktu yang terlalu lama mengingat proses pemanasan ini barulah tahap awal dari proses

insinerasi dari *fluidized bed incinerator*. Desain awal sistem burner yang telah digunakan sebelumnya terbukti kurang efisien dan efektif sehingga menghasilkan hasil yang kurang maksimal. Desain modifikasi sistem burner diharapkan dapat meminimalkan waktu pemanasan pasir menjadi secepat mungkin. Burner yang digunakan merupakan gas burner berbahan bakar gas LPG dengan jenis *hi-temp premixed burner*.

4.2.1 Parameter Pemilihan Burner

Dalam pemilihan burner pengganti yang akan digunakan pada *fluidized bed incinerator* ini terdapat beberapa parameter yang menjadi pertimbangan. Burner yang nantinya akan digunakan haruslah sesuai dengan karakteristik *fluidized bed incinerator* tersebut. Sehingga dipilihlah burner *hi-temp premixed burner* yang paling sesuai dengan karakteristik *fluidized bed incinerator*.

Parameter-parameter yang digunakan dalam pemilihan burner yaitu:

1. Nilai kalor

Sebagai referensi dalam pemilihan burner yang akan digunakan, maka perlu dihitung nilai kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan pasir silika sampai temperatur 800 °C dengan menggunakan rumus $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ dan dengan mengabaikan faktor *heat loss* yang terjadi sewaktu pemanasan dan mengasumsikan nilainya sebesar 30%. Data-data perhitungan tersebut yaitu:

- m = massa pasir silika yang dituang ke dalam reaktor = ± 100 kg
- c = kalor jenis pasir silika = 0,2 cal/gram.K
- T_1 = temperatur ruang = 27 °C
- T_2 = temperatur pengoperasian *fluidized bed incinerator* = 800 °C

Maka besar nilai kalor,

$$Q = m \times c \times \Delta T$$
$$Q = 100000 \times 0,2 \times 773 = 15460 \text{ kcal}$$

Dengan asumsi *heat loss* 30%, sehingga *heat total* adalah 20098 kcal. Maka besar nilai kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan pasir silika sampai temperatur pengoperasian (800 °C) adalah 20098 kcal.

Hi-temp premixed burner yang digunakan memiliki kapasitas 75000 *kcal/jam*, sehingga proses pemanasan akan jauh lebih efektif dan efisien dengan menggunakan burner ini. Proses pemanasan dapat ditargetkan berlangsung kurang dari satu jam.

2. Keamanan (*safety*) dalam penggunaan

Parameter lain dalam pemilihan burner yang akan digunakan adalah masalah keamanan (*safety*). Karena dalam penggunaannya burner ini menggunakan bahan bakar gas yang sangat mudah terbakar dan sangat membahayakan bagi operator. Bila terjadi suatu kesalahan kecil dalam pengoperasiannya dapat berakibat sangat fatal. Kejadian yang paling sering terjadi adalah saat burner sedang dioperasikan dengan aliran bahan bakar gas terus berjalan, ternyata api dari burner mati. Hal ini dapat berpotensi sekali terjadinya ledakan jika sewaktu-waktu ingin dilakukan proses ignisi lagi.

Oleh karena itu untuk mengurangi potensi terjadinya hal-hal tersebut, dilakukan pemilihan burner yang memiliki sensor pendeteksi nyala api sehingga dapat mendeteksi ada atau tidaknya nyala api saat burner tersebut beroperasi. *Hi-temp premixed burner* yang digunakan memiliki *UV* sensor untuk mendeteksi nyala api dari burner. Sehingga sewaktu nyala api dari burner mati, *UV* sensor akan mengirim sinyal ke *solenoid valve* untuk memotong aliran bahan bakar gas.



Gambar 4.5. *UV* sensor pada *hi-temp premixed burner*

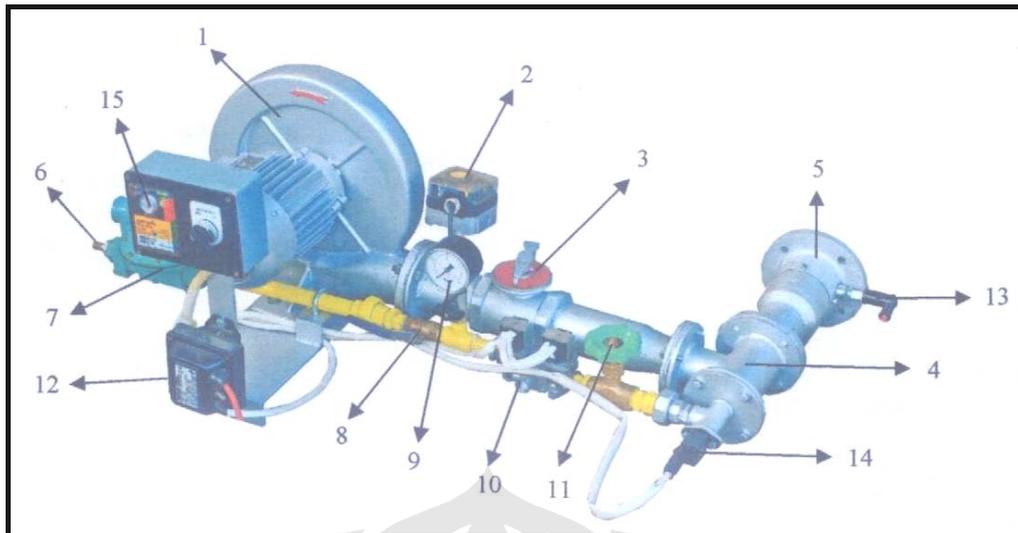
3. Daya tahan (*endurance*)

Parameter penting lainnya dalam pemilihan burner yang akan digunakan adalah masalah daya tahan (*endurance*). Burner yang digunakan harus tahan terhadap temperatur panas. Terlebih lagi untuk *fluidized bed incinerator* yang mana saat pengoperasian burner dapat terekspos terhadap aliran udara panas dari reaktor. Tidak semua jenis burner dapat digunakan pada alat *fluidized bed incinerator*. Jika menggunakan *compact gas burner* sangatlah riskan karena *compact gas burner* ini memiliki komponen-komponen elektrik yang sangat rentan terhadap temperatur tinggi sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada burner. *Hi-temp premixed burner* yang digunakan memiliki komponen elektrik yang terletak terpisah dengan burner sehingga tidak akan terekspos aliran udara panas dari reaktor. Pada sistem pemipaan burner ini juga terdapat katup untuk menutup pipa sehingga dapat melindungi burner ini agar tidak terekspos aliran udara panas.

4.2.2. Hi-Temp Premixed Burner

Turbulent premixed flame sudah banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi industri dalam penggunaannya untuk gas burner. Proses pencampuran antara bahan bakar dan udara terjadi terlebih dahulu sebelum proses *ignition*. Proses pencampuran bahan bakar dan udara terjadi di dalam burner dan seringkali pencampurannya dengan menggunakan *nozzle* atau *inspirator mixer*. Suplai udara untuk burner menggunakan udara bertekanan yang dihembuskan dari blower.

4.2.2.1. Komponen-komponen burner



Gambar 4.6. Bagian-bagian *hi-temp premixed 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 | |

Hi-temp premixed burner memiliki komponen-komponen seperti yang diilustrasikan pada gambar 4.6. Komponen-komponen tersebut memiliki fungsi dan kegunaannya masing-masing, yaitu:

1. Blower

Komponen ini berfungsi sebagai penyuplai aliran udara yang dibutuhkan oleh burner untuk reaksi pembakaran. Blower yang digunakan merupakan blower jenis sentrifugal dengan spesifikasi teknis tekanan statik 200 – 300 mmH_2O , debit aliran putaran maksimum 2,5 m^3/min , daya 180 watt dan suplai listrik 1 fase.

2. *Air pressure switch*

Komponen ini berfungsi sebagai kontrol tekanan aliran udara dari blower. Kita dapat menset besar nilai tekanan aliran udara dari blower sehingga jika

blower dapat memenuhi kebutuhan tekanan aliran udara yang dibutuhkan maka komponen ini merespon kontak on dan blower akan tetap berjalan terus. Namun jika sebaliknya maka komponen ini akan memutuskan kontak off sehingga blower akan berhenti.

3. *Air damper*

Komponen ini berfungsi untuk mengatur jumlah debit aliran udara dari blower yang diinginkan.

4. *Premixer*

Komponen ini berfungsi sebagai pencampur bahan bakar gas dengan udara sehingga dihasilkan *premixed flame* yang mana proses pencampuran terjadi terlebih dahulu sebelum proses ignisi berlangsung.

5. *Head burner*

Komponen ini berfungsi sebagai kepala pengarah nyala api.

6. *Gas inlet*

Bagian ini berfungsi sebagai tempat masuknya selang bahan bakar gas setelah gas dialirkan dari gas regulator tabung bahan bakar gas tersebut.

7. *Gas second regulator*

Komponen ini berfungsi sebagai gas regulator kedua setelah gas regulator yang digunakan pada tabung bahan bakar gas untuk meningkatkan faktor keamanan.

8. *Gas main valve*

Komponen ini merupakan katup utama pipa aliran bahan bakar gas sehingga untuk memutuskan aliran bahan bakar gas dapat langsung dilakukan dengan menutup katup ini.

9. *Gas pressure gauge*

Komponen ini berfungsi sebagai pengukur tekanan aliran bahan bakar gas.

10. *Combination solenoid valve*

Komponen ini merupakan katup yang berfungsi sebagai kontrol aliran bahan bakar gas dengan sinyal dari burner control. Jika burner control memberikan sinyal bahwa semua proses *sequencing* penyalaan burner berjalan dengan baik maka katup ini akan tetap membuka, namun jika sebaliknya maka katup ini akan memotong aliran bahan bakar gas tersebut secara otomatis.

Solenoid valve merupakan sebuah katup elektromekanikal dengan kegunaannya untuk fluida cair atau gas yang dikontrol dengan arus listrik. Arus listrik tersebut dialirkan melalui sebuah solenoida yang merupakan sebuah gulungan kawat sehingga dapat mengubah keadaan katup.

11. *Gas needle valve*

Komponen ini berfungsi sebagai katup untuk mengatur jumlah debit aliran bahan bakar gas yang diinginkan.

12. *Ignition trafo*

Komponen ini merupakan trafo yang berfungsi sebagai pengalir tegangan yang dibutuhkan oleh spark plug untuk proses ignisi.

13. *Spark plug*

Komponen ini berfungsi sebagai pembuat percikan api yang dibutuhkan sehingga terjadi ignisi dan menghasilkan nyala api.

14. UV sensor

Komponen ini merupakan sensor yang berfungsi sebagai pendeteksi nyala api pada burner. Jika komponen ini mendeteksi adanya nyala api maka sinyal akan diberikan ke burner control untuk tetap menjalankan burner. Namun jika sebaliknya maka komponen ini akan memberikan sinyal ke burner control bahwa terjadi misfire sehingga burner control akan mematikan semua komponen dan yang terutama solenoid valve akan menutup.

15. *Burner control*

Komponen ini merupakan kontrol burner untuk semua tahapan proses (*sequencing*) dan berfungsi sebagai tempat kontak “on-off” untuk pengoperasian burner.

4.2.2.2. *Urutan proses kerja burner*

Ringkasan tahap-tahap urutan proses kerja burner dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.1. Urutan Proses Kerja *Hi-Temp Premixed Burner*

Urutan Proses	Urutan Komponen Bekerja	Keterangan
1	<i>Ball valve</i> utama gas masuk dibuka	Tekanan gas sesuai dengan nilai setting <i>gas pressure switch</i> .
2	a. Saklar <i>burner control</i> diputar ke posisi On b. <i>Burner control</i> bekerja c. Blower bekerja d. <i>Air pressure switch</i> kontak On	Tekanan udara dari blower sesuai dengan nilai setting <i>air pressure switch</i> . Blower berjalan untuk <i>prepurge</i> .
3	a. <i>Solenoid valve</i> membuka b. <i>Ignition trafo</i> bekerja	Proses pembentukan api pilot.
4	a. <i>UV sensor</i> mendeteksi api pilot b. <i>Burner control</i> menerima sinyal	Api berhasil terbentuk dengan baik.
5	a. <i>Burner control</i> tidak menerima sinyal b. <i>Burner control</i> akan mematikan seluruh komponen.	Ada kegagalan api burner. Lampu indikator <i>misfire</i> nyala.

4.2.2.2. Spesifikasi teknis

Berikut ini merupakan spesifikasi teknis *hi-temp premixed burner*.

Tabel 4.2. 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

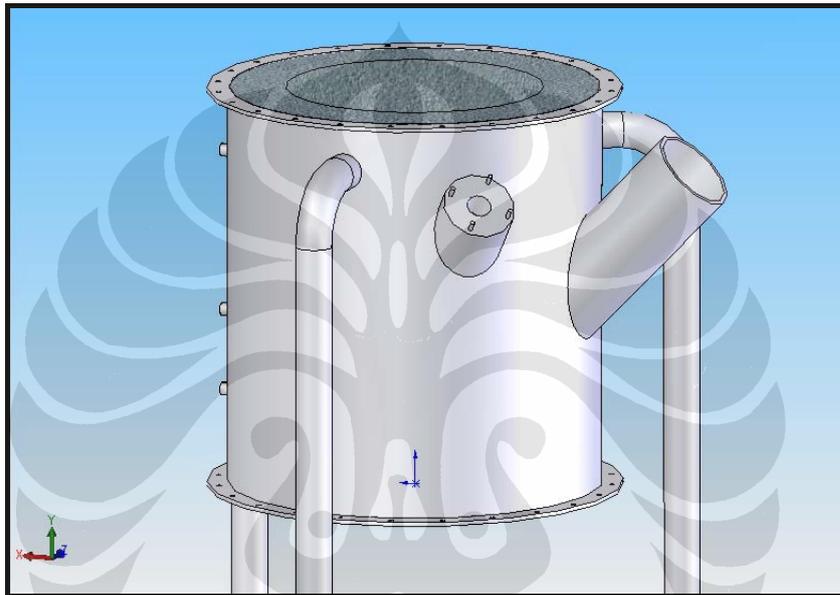
4.2.3 Modifikasi Mekanisme Sistem Burner

Dalam modifikasi sistem burner ini, mekanisme yang digunakan pada sistem ini menggunakan satu burner yang diletakkan pada satu tempat dengan fungsi memanaskan pasir secara langsung. Burner ini diletakkan pada ruang bakar utama agar dapat menembak langsung ke dalam reaktor. Namun burner ini yang diletakkan pada ruang bakar utama tidak lagi masuk melalui lubang utama (*manhole*). Burner akan masuk melalui lubang khusus untuk burner sehingga tidak ada hilangnya kalor yang keluar dari lubang *manhole* ke lingkungan. Lubang burner ini khusus dirancang untuk *hi-temp premixed burner* agar dapat memanaskan pasir secara langsung.

4.2.3.1 Desain lubang burner

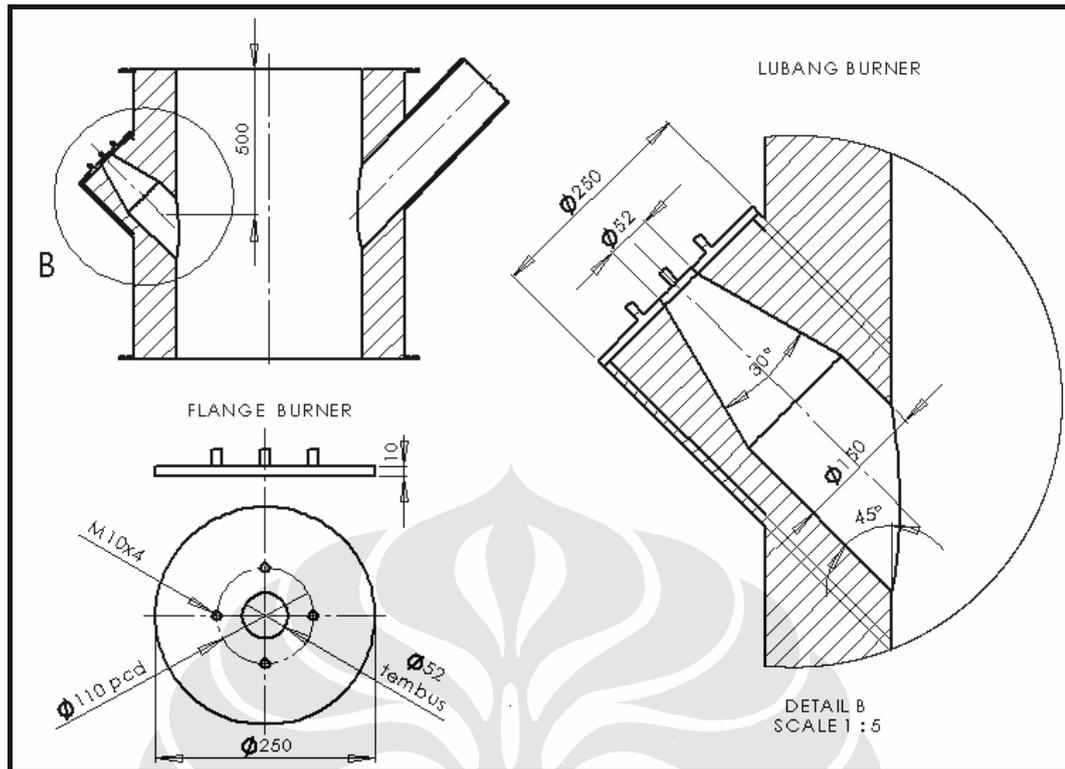
Burner akan diletakkan pada ruang bakar utama dan langsung ditembak ke dalam reaktor melalui lubang burner ini. Lubang burner ini memang dirancang untuk disesuaikan dengan *hi-temp premixed burner* yang digunakan. Burner tidak dipasang secara permanen pada lubang burner dan hanya disatukan dengan menggunakan baut sehingga burner dapat dilepas pasang. Lubang burner tersebut memiliki semacam piringan tatakan burner (*flange*) yang tertanam baut sehingga dapat menggabungkan lubang burner dengan burnernya. *Hi-temp premixed burner* dipasang pada lubang burner tersebut dengan menggunakan mur baut.

Perancangan lubang burner ini bertujuan untuk memaksimalkan proses pemanasan awal secara efektif dan efisien. Jika sebelumnya pemanasan pasir dilakukan melalui lubang utama (*manhole*) ruang bakar yang mana pintu manhole tersebut masih terbuka (gambar 4.4). Hal ini menyebabkan proses pemanasan menjadi kurang efisien karena reaktor tidak sepenuhnya tertutup, sehingga masih adanya kalor yang hilang ke lingkungan melalui celah tersebut. Setelah pembuatan rancangan lubang burner ini maka hal tersebut tidak akan terjadi lagi.



Gambar 4.7. Desain lubang burner pada ruang bakar utama

Desain gambar dua dimensi lubang burner dapat dilihat pada gambar 4.8. Lubang lorong api burner dirancang tidak berlubang silinder utuh namun ujung atasnya mengerucut berbentuk tirus dengan sudut 30° . Hal ini dimaksudkan untuk membentuk dan mengarahkan nyala api. Lubang burner dibuat dari bahan castable tahan api dengan diameter dalam 150 mm dan di bagian luarnya merupakan pipa besi silinder *hollow* 10 inci . *Head burner* dipasang pada *flange* yang ada pada lubang burner tersebut.



Gambar 4.8. Gambar 2D desain lubang burner

Dimensi lubang burner

- diameter dalam lubang burner = 150 mm
- diameter luar lubang burner = 250 mm
- diameter masukan lubang burner = 52 mm
- sudut antara kemiringan lubang dengan garis vertikal, $\theta = 45^\circ$
- sudut ketirusan lubang burner = 30°
- diameter lubang baut M10
- pcd (*pitch center diameter*) lubang baut = 110 mm

4.3 FABRIKASI MODIFIKASI SISTEM BURNER

Proses fabrikasi sistem burner ini bekerja sama dengan dua perusahaan, yakni PT. MBW yang terletak di daerah Cibitung, Bekasi dan PT. Ostenco Promitra Jaya yang terletak di daerah Mangga Dua Selatan. Kami bekerja sama dengan PT. MBW untuk fabrikasi lubang burner, dan PT. Ostenco Promitra Jaya untuk fabrikasi burner *hi-temp premixed burner*.

Proses fabrikasi lubang burner dilakukan dalam beberapa tahapan proses manufaktur yaitu seperti pembobokan lubang, pengecoran pipa lubang, pengelasan untuk penyambungan dengan reaktor *fluidized bed incinerator*.



Gambar 4.9. Hasil fabrikasi lubang burner

Tahapan proses fabrikasi lubang burner seperti berikut ini:

1. Pembobokan

Proses pembobokan dilakukan untuk melubangi reaktor sebesar 250 mm dengan sudut kemiringan 45°. Proses pembobokan pertama-tama dilakukan dengan memanaskan dinding reaktor yang akan dilubangi, kemudian barulah dilakukan proses pembobokan.

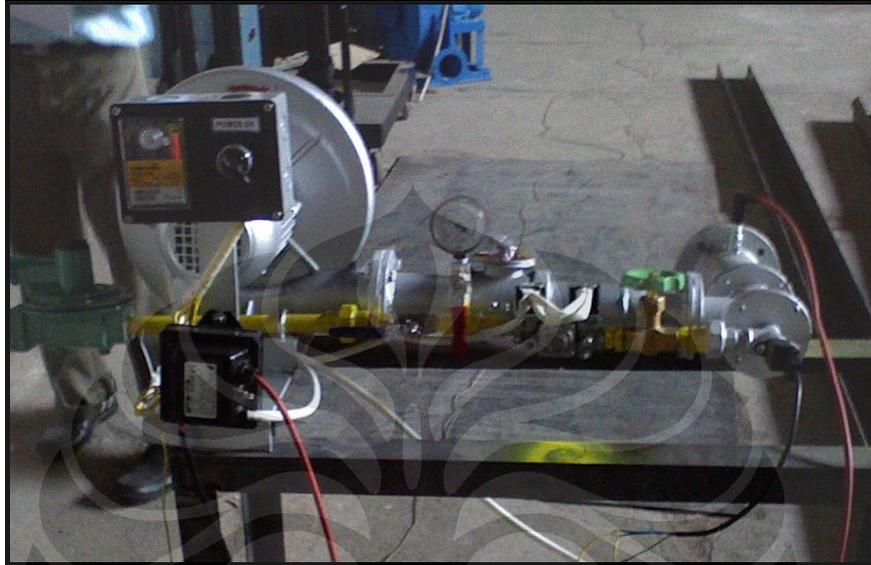
2. Pengecoran (*casting*)

Proses pengecoran dilakukan untuk membentuk lubang dengan bentuk silinder dan ujung atasnya mengerucut berbentuk tirus dengan sudut 30° seperti tampak pada gambar 4.8. Proses pengecoran dilakukan pada pipa silinder besi dengan diameter 10 inci lalu dengan menggunakan mold silinder pejal yang telah dilakukan proses *machining* sehingga berbentuk tirus. Lalu semen tahan api dicor pada pipa silinder besi tersebut.

3. Pengelasan (*welding*)

Proses pengelasan dilakukan untuk menyambungkan lubang burner hasil pengecoran dengan reaktor *fluidized bed incinerator* yang sudah dilubangi dari hasil pembobokan. Pengelasan menggunakan las listrik (*arc welding*).

Proses fabrikasi burner *hi-temp premixed burner* dilakukan dengan proses assembling part-part yang dapat dipesan pada distributor masing-masing part. Proses manufaktur hanya dilakukan pada fabrikasi *head burner* dan *premixer* yaitu dengan proses *casting*.



Gambar 4.10. Hasil fabrikasi burner pengganti (*hi-temp premixed burner*)



Gambar 4.11. Nyala api dari *hi-temp premixed burner*



Gambar 4.12. Posisi terpasang burner pada lubang burner

4.4 PENGOPERASIAN SISTEM BURNER

4.4.1 Prosedur Menyalakan Burner

Untuk dapat melakukan penoperasikan burner ini dengan baik maka perlu diketahui urutan langkah-langkah yang dilakukan dalam penyalaan *hi-temp premixed burner* ini.

Prosedur menyalakan burner adalah sebagai berikut:

1. Setelah tahap persiapan dilakukan dengan baik, burner siap untuk dinyalakan.
2. Buka *ball valve* utama gas masuk.
3. Cek tekanan kerja gas adalah 20~30 mbar (200 ~ 300 mm H₂O).
4. Putar saklar *burner control* ke posisi on untuk mengaktifkan *burner control* untuk bekerja. Pada tahap awal *burner control* melakukan pengecekan status awal apakah ada tekanan udara palsu dan apakah ada api yang terdeteksi *UV sensor*. Bila ada gejala ini maka indikator burner *misfire* dan lampu merah reset akan menyala.
5. Pertama-tama 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.

6. Setelah 10 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. Pertemuan campuran udara dan gas dengan percikan listrik akan menghasilkan nyala api. Stel besarnya volume gas untuk api pilot dengan memutar *needle valve* sampai api menyala konsisten.
7. *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. Perhatikan pada lampu indikator *cut-off*, apa penyebabnya segera ditangani. Ulangi urutan proses (*sequence*) dari awal dengan menekan tombol reset atau memutar saklar *burner control* ke posisi off.
8. Setelah nyala api terbentuk dapat dilakukan penyetelan untuk mendapat mutu nyala api yang bagus dan panjang api yang diinginkan.

4.4.2 Mekanisme Penyetelan Burner

Penyetelan *hi-temp premixed burner* 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. Stel 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. Stel manual *damper* pada posisi buka setengah yaitu skala nomor 3 pada *damper*. 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 stel damper tidak berubah.

- Penyetelan panjang api:
 - a. Stel *gas regulator* sehingga tekanan kerja antara 20~30 *mbar* (200~300 *mmH₂O*).
 - b. Buka tutup dan putar penyetel:
 - Searah jarum jam: tekanan gas bertambah (+), panjang api berubah menjadi lebih panjang.
 - Berlawanan jarum jam: tekanan gas berkurang (-), api menjadi lebih pendek.
 - c. Selanjutnya stel kembali damper udara untuk mendapatkan mutu nyala api yang bagus.

Hasil nyala api dengan variasi penyetelan burner dari *hi-temp premixed burner* ini dapat dilihat pada lampiran.

4.4.3 Prosedur Mematikan Burner

Untuk dapat mematikan burner ini dengan baik dan aman maka perlu diketahui urutan langkah-langkah yang dilakukan dalam mematikan *hi-temp premixed burner* ini. Prosedur mematikan burner adalah sebagai berikut:

1. Untuk mematikan burner putar saklar burner ke posisi off.
2. Apabila api burner sudah mati semua, tutup *ball valve* utama gas masuk.
3. Tutup katup utama pada tabung gas LPG.

BAB V

PERSIAPAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN

Sebelum dilakukan pengoperasian *fluidized bed incinerator* UI secara baik maka perlu dilakukan pengujian alat ini secara keseluruhan. Dalam melakukan suatu pengujian pada suatu alat, maka diperlukan persiapan dan prosedur pengujian yang sesuai dengan kondisi dari alat tersebut. Hal ini dimaksudkan agar dalam melakukan proses operasional saat pengujian menjadi lebih efektif, lebih efisien dan memperoleh hasil yang maksimal.

Begitu juga halnya dengan pengoperasian untuk alat *fluidized bed incinerator* yang ada di Universitas Indonesia. Sebelum dilakukan pengujian alat lebih lanjut maka harus disiapkan terlebih dahulu dua hal yaitu persiapan alat dan prosedur pengujian. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian aliran dingin (*cold flow*) dengan melihat proses fluidisasi yang terjadi. Pengujian *cold flow* dimaksudkan untuk melihat karakteristik fluidisasi pada *fluidized bed incinerator* UI dengan melihat nilai penurunan tekanan melintas distributor dan penurunan tekanan melintas hamparan pasir di reaktor.

5.1 PERSIAPAN

Sebelum melakukan pengujian maka perlu dilakukan persiapan alat yang dibutuhkan dalam pengoperasian alat *fluidized bed incinerator* UI ini terlebih dahulu. Persiapan tersebut meliputi penentuan parameter-parameter yang digunakan dalam pengoperasian alat *fluidized bed incinerator* UI ini seperti pasir yang digunakan, kecepatan fluidisasi minimum, penurunan tekanan melintas hamparan, distributor, penurunan tekanan melintas distributor, blower, dan peralatan perlengkapan yang dibutuhkan.

5.1.1 Pasir Yang Digunakan

Pasir yang akan digunakan akan sangat berpengaruh terhadap berhasil tidaknya proses fluidisasi yang dihasilkan. Dalam menentukan jenis pasir yang akan digunakan pada alat *fluidized bed incinerator* UI ini sebaiknya menggunakan pasir silika atau pasir kuarsa untuk tujuan mendapatkan fluidisasi yang baik dengan densitas partikelnya sebesar 2600 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 yang dibutuhkan untuk menaikkan temperaturnya. Sebagai perbandingan nilai *specific heat* untuk substansi- substansi yang lain dapat dilihat pada tabel 5.1. Pasir silika memiliki titik lebur yang tinggi sampai mencapai temperatur $1800 \text{ }^\circ\text{C}$ sehingga sangat cocok digunakan untuk aplikasi fluidized bed incinerator yang mana pengoperasiannya pada temperatur tinggi. Sifat fisik, sifat termal dan sifat mekanik pasir silika dapat dilihat pada tabel 5.2

Tabel 5.1. *Specific Heat* Berbagai Substansi

<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 ($0 \text{ }^\circ\text{C}$)	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

Sumber : <http://apollo.lsc.vsc.edu/>

Tabel 5.2. Sifat Fisik, Termal dan Mekanik Pasir Silika

<i>Properties</i>	<i>Silica Sand</i>
<i>Particle density (kg/m³)</i>	2600
<i>Bulk density (kg/m³)</i>	1300
<i>Thermal conductivity (Wm⁻¹K)</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>

Sumber: <http://www.azom.com/silica.asp?ArticleID=1114.htm>

Kemudian setelah memilih jenis pasir yang digunakan, maka ditentukan ukuran diameter partikel pasir yang digunakan pada *fluidized bed incinerator* UI. Jenis pasir yang digunakan sudah pasti antara pasir silika dan pasir kuarsa yang mana memiliki densitas partikel sebesar 2600 kg/m³. 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 pencampuran yang baik dibandingkan *group A* dan *group B*. Dengan demikian partikel pasir yang paling baik digunakan untuk aplikasi *fluidized bed incinerator* adalah partikel pasir *group B* dengan ukuran diameter partikel pasir yang paling baik untuk tujuan fluidisasi berkisar antara 300 μm sampai 500 μm.

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 5.3 yang mana terdapat ukuran lubang ayakan (*mesh*) menurut standar amerika. Berdasarkan tabel tersebut maka partikel pasir yang berkisar antara 300 μm sampai 500 μm adalah partikel pasir dengan ukuran diameter partikel pasir antara *mesh* 35 sampai *mesh* 50. Setelah menentukan

partikel pasir yang digunakan, maka dapat diketahui beberapa hal lainnya seperti kecepatan fluidisasi minimum dan penurunan tekanan.

Tabel 5.3. Distribusi Ukuran Pengayakan Pasir Silika

Sieve Size		Individual Percent Retained				
US	μm	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

Sumber: http://agsco.thomasnet.com/Asset/AGSCO_Technical_Data_Sheet.pdf

Pasir silika yang dijual di pasaran tidak dijual hanya satu ukuran pasir yakni *mesh* 30 atau *mesh* 40 saja, namun biasanya terdistribusi dari *mesh* 16-30, 20-40, 30-50, 40-70 dan sebagainya. Oleh karena itu diputuskan untuk menggunakan pasir silika dengan ukuran *mesh* 30-50. Karena bila menggunakan pasir silika dengan ukuran *mesh* 20-40 masih terlalu besar dari yang diinginkan dan bila menggunakan pasir silika dengan ukuran *mesh* 40-70 terlalu halus.



Gambar 5.1. Pasir silika *mesh* 30-50 yang digunakan pada *fluidized bed incinerator* UI

5.1.2 Kecepatan Fluidisasi Minimum

Kecepatan fluidisasi minimum adalah kecepatan superfisial terendah yang dibutuhkan untuk terjadinya fluidisasi. Dengan melihat data-data yang ada pada alat *fluidized bed incinerator* UI ini, maka dapat dilakukan suatu perhitungan untuk mendapatkan nilai kecepatan fluidisasi minimum. Data-data perhitungan tersebut yaitu seperti berikut ini.

- Hamparan pasir

Pasir silika ukuran 30 – 50 *mesh*

kerapatan partikel pasir (ρ_p) = 2600 kg/m^3

kerapatan borongan pasir (ρ_b) = 1300 kg/m^3

diameter hamparan pasir (d_b) = 63,5 cm = 0,635 m

- Ukuran partikel pengayakan rata-rata (*mean sieve size*) d_p

Ukuran partikel pengayakan rata-rata d_p dapat diperoleh dari perhitungan.

Distribusi ukuran partikel pasir silika *mesh* 30-50 dapat kita lihat pada tabel 5.2 dan kemudian dengan menggunakan persamaan 3.1 di sub bab 3.1.4, yaitu:

$$d_p = \frac{1}{\frac{2.3}{0,725} + \frac{10.4}{0,600} + \frac{17.1}{0,500} + \frac{31.9}{0,425} + \frac{29.2}{0,300} + \frac{4.7}{0,250} + \frac{2.3}{0,212} + \frac{2.1}{0,180}}$$

$$d_p = 3,7256 \text{ mm} = 372,56 \text{ } \mu\text{m}$$

Maka didapatkan $d_p = 372,56 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

- Fluida udara

Tabel 5.4. Sifat-Sifat Fluida Udara

Air Properties		Temperature	
		300 K	1073 K
Density	kg/m^3	1,179766	0,328441
Viscosity	kg/ms	$1,8199 \cdot 10^{-5}$	$4,0906 \cdot 10^{-5}$
Kinematic viscosity	m^2/s	$1,6136 \cdot 10^{-5}$	$1,3284 \cdot 10^{-4}$
Specific heat	Ns/m^2	1005,459	1157,054
Thermal conductivity	W/mK	0,026198	0,071743

Sumber: http://users.wpi.edu/~ierardi/FireTools/air_prop.html

Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan seperti yang dijelaskan pada sub bab 3.1.4 pada poin ke lima untuk mendapatkan nilai Ar , Re_{mf} kemudian didapatkan U_{mf} . Perhitungan-perhitungan ini dilakukan pada kondisi ambien ($T = 27\text{ }^{\circ}C$) dan kondisi operasi ($T = 800\text{ }^{\circ}C$).

▪ **Perhitungan bilangan Archimedes (Ar)**

Dengan menggunakan persamaan 3.6 maka nilai Ar ,

- pada kondisi ambien

$$Ar = \frac{(372 \cdot 10^{-6})^3 \cdot (1,1797) \cdot (2600 - 1,1797) \cdot (9.81)}{(1,8199 \cdot 10^{-5})^2}$$

$$Ar = 4696$$

- pada kondisi operasi

$$Ar = \frac{(372 \cdot 10^{-6})^3 \cdot (0,3284) \cdot (2600 - 0,3284) \cdot (9.81)}{(4,0906 \cdot 10^{-5})^2}$$

$$Ar = 259$$

▪ **Perhitungan bilangan Re_{mf}**

Dengan menggunakan persamaan 3.4 maka nilai Re_{mf} ,

- pada kondisi ambien

$$Re_{mf} = (1135,7 + 0,0408 \cdot 4696)^{1/2} - 33,7$$

$$Re_{mf} = 2,732$$

- pada kondisi operasi

$$Re_{mf} = (1135,7 + 0,0408 \cdot 259)^{1/2} - 33,7$$

$$Re_{mf} = 0,16$$

▪ **Perhitungan kecepatan fluidisasi minimum**

Dengan menggunakan persamaan 3.5 maka nilai U_{mf} ,

- pada kondisi ambien

$$U_{mf} = \frac{Re_{mf} \mu_f}{d_p \rho_f}$$

$$U_{mf} = \frac{(2,732) \cdot (1,8199 \cdot 10^{-5})}{(372 \cdot 10^{-6}) \cdot (1,1797)}$$

$$U_{mf} = 0,113 \text{ m/s}$$

- pada kondisi operasi

$$U_{mf} = \frac{(0,16)(4,0906 \cdot 10^{-5})}{(372 \cdot 10^{-6})(0,3284)}$$

$$U_{mf} = 0,052 \text{ m/s}$$

- **Debit udara minimum agar terjadi fluidisasi**

Kemudian didapatkan debit aliran udara yang dibutuhkan sehingga terjadi fluidisasi minimum dengan mengalikan kecepatan fluidisasi minimum dan luas penampang reaktor.

- pada kondisi ambien

$$q = vA$$

$$q = (0,113)(\pi \cdot 0,3175^2)$$

$$q = 0,036 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = 2,15 \text{ m}^3/\text{min}$$

- pada kondisi operasi

$$q = (0,052)(\pi \cdot 0,3175^2)$$

$$q = 0,017 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = 0,99 \text{ m}^3/\text{min}$$

Kecepatan fluidisasi minimum pada alat *fluidized bed incinerator* UI ini adalah sebesar 0,113 m/s pada kondisi ambien ($T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$) dan 0,052 m/s pada kondisi operasi ($T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$). Sehingga debit aliran udara dari blower yang dibutuhkan agar terjadi fluidisasi minimum adalah sebesar 2,15 m³/min pada kondisi ambien dan 0,99 m³/min pada kondisi operasi. Namun ini hanya menunjukkan sampai terjadi fluidisasi minimum dan supaya terjadi fluidisasi berkecepatan tinggi, maka debit aliran udara harus lebih besar lagi.

5.1.3 Penurunan Tekanan Melintas Hambaran

Besar nilai penurunan tekanan (*pressure drop*) yang melintas hambaran pasir dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti yang dijelaskan pada sub bab 3.1.4 pada poin ke tujuh. Dengan melihat data-data yang ada pada alat

fluidized bed incinerator UI ini, maka dapat dilakukan suatu perhitungan untuk didapatkan ΔP_b . Perhitungan-perhitungan ini dilakukan pada kondisi ambien ($T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$) dan kondisi operasi ($T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$). Data-data perhitungan tersebut yaitu seperti berikut ini.

Data perhitungan:

- tinggi hamparan pasir = 15 cm
- kerapatan partikel pasir (ρ_p) = 2600 kg/m³
- kerapatan borongan pasir (ρ_b) = 1300 kg/m³
- kerapatan fluida udara (ρ_f) pada kondisi ambien = 1,1797 kg/m³
- kerapatan fluida udara (ρ_f) pada kondisi operasi = 0,3284 kg/m³
- percepatan gravitasi = 9.81 m/s²
- *bed voidage* (ϵ)

Bed voidage (ϵ) dapat ditentukan dari kerapatan partikel (ρ_p) dan kerapatan borongan pada hamparan (ρ_b) dan dengan menggunakan persamaan 3.3 pada sub bab 3.1.4, yaitu:

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_p}$$

$$\epsilon = 1 - \frac{1300}{2600} = 0,3846$$

Kemudian dengan memasukkan data-data perhitungan tersebut pada persamaan 3.7 maka nilai ΔP_b ,

- pada kondisi ambien

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

$$\Delta P_b = 0,15(2600 - 1,1797) (1 - 0,3846)$$

$$\Delta P_b = 2353 \text{ Pa}$$

- pada kondisi operasi

$$\Delta P_b = 0,15(2600 - 0,3284) (1 - 0,3846)$$

$$\Delta P_b = 2354 \text{ Pa}$$

Maka penurunan tekanan melintas hamparan adalah sebesar 2353 Pa pada kondisi ambien ($T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$) dan 2354 Pa pada kondisi operasi ($T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$).

5.1.4 Distributor

Distributor yang digunakan sebelumnya pada fluidized bed incinerator UI (gambar 2.9) masih menghambat terjadinya fluidisasi yang baik. Hal ini disebabkan ukuran lubang-lubang orifis pada distributor tersebut besar diameternya tidak sama dan masih banyak terdapat lubang yang lebih besar dan lebih kecil sehingga mengakibatkan aliran udara tidak terdistribusi secara merata dengan kecepatan aliran udara yang sama di seluruh penampang distributor. Kemudian jarak antar lubang tidak simetris antara lubang yang satu dengan yang lain sehingga hal ini juga mengakibatkan aliran udara tidak terdistribusi secara merata di seluruh penampang distributor.

Oleh karena itu dirancang kembali distributor dengan jenis *perforated plate* yang masih sama dengan sebelumnya namun dengan ukuran lubang orifis, jumlah lubang orifis dan jarak antar lubang yang berbeda. Idealnya lubang orifis seharusnya sekecil mungkin selama masih dapat dikatakan layak dan dapat dikerjakan dengan baik; mengurangi diameter lubang orifis akan menurunkan ukuran gelembung yang terbentuk pada distributor [3].

Jika pada distributor sebelumnya diameter lubang orifis bervariasi dari 40 mm sampai 60 mm, maka ditentukan diameter lubang orifis untuk distributor yang baru sebesar 20 mm dengan tebal plat 10 mm. Kemudian jumlah lubang orifis dapat ditentukan dengan memenuhi *fractional open area* (f_{oa}) kurang dari 10%. *Fractional open area*, f_{oa} , merupakan suatu faktor penting dalam perancangan distributor dengan memberikan rasio kecepatan superfisial U_o dengan kecepatan orifis U_{or} , $U_o / U_{or} < 10 \%$ [1]. Maka jumlah lubang orifis ditentukan sebanyak 89 buah lubang. Besar nilai f_{oa} distributor ini yaitu:

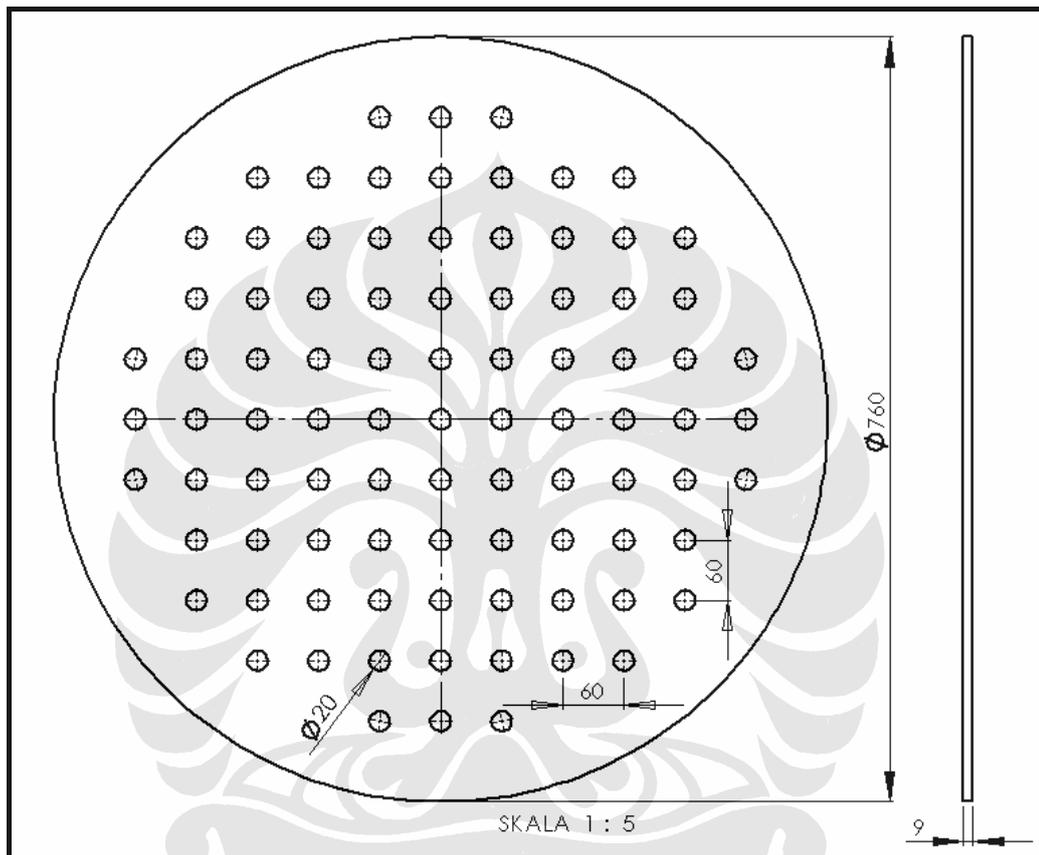
$$f_{oa} = \frac{\text{total luas orifis}}{\text{luas penampang reaktor}}$$
$$f_{oa} = \frac{89 \times (0,02)^2}{(0,635)^2} = 0,0883 = 8,83 \%$$

Dalam menentukan jarak antar lubang dari pusat ke pusat lubang orifis (s) untuk *square pitch* [3],

$$s = \frac{0.8862 d_{or}}{\sqrt{f_{or}}}$$

$$s = \frac{0.8862 (0,02)}{\sqrt{0,0883}} = 0,06 \text{ m}$$

Maka jarak antar pusat lubang orifis untuk *square pitch* adalah 60 mm.



Gambar 5.2. Gambar 2D desain distributor

Gambar 2D hasil desain distributor yang baru dapat dilihat pada gambar 5.3. Diameter distributor diperbesar menjadi 760 mm dibandingkan dengan distributor sebelumnya yang berdiameter 630 mm. Hal ini dimaksudkan untuk meniadakan celah antara distributor dan penampang reaktor. Celah tersebut menyebabkan perbedaan tekanan yang cukup mencolok antara lubang orifis dan celah kecil di pinggiran distributor tersebut sehingga tekanan udara yang mengalir lebih tinggi pada celah tersebut.

Oleh karena itu untuk mengatasi permasalahan ini maka diameter desain distributor yang baru dibuat lebih besar dari pada diameter penampang reaktor

sehingga tidak ada celah antara distributor dan reaktor. Pemasangan distributor yang baru ini tetap diletakkan di atas reaktor ruang plenum, namun distributor ini ditanam sehingga menjadi rata dengan permukaan reaktor ruang plenum, seperti yang diilustrasikan pada gambar 5.4.



Gambar 5.3. Desain distributor ditempatkan pada bagian ruang plenum



Gambar 5.4. Hasil fabrikasi distributor ditempatkan pada bagian ruang plenum

Hasil fabrikasi distributor baru dapat dilihat pada gambar 5.5. Proses fabrikasi tersebut dilakukan di PT. MBW, Cibitung, Bekasi. Di atas distributor ini diletakkan hamparan pasir silika setinggi 15 cm. Supaya pasir silika tersebut tidak jatuh melalui lubang orifis maka ditambahkan kawat *mesh* 60 untuk menopang pasir silika.

5.1.5 Penurunan Tekanan Melintas Distributor

Besar nilai penurunan tekanan (*pressure drop*) yang melintas distributor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti yang dijelaskan pada sub bab 3.1.4 pada poin ke delapan. Dengan melihat data-data yang ada pada alat *fluidized bed incinerator* UI ini, maka dapat dilakukan suatu perhitungan untuk didapatkan ΔP_b . Perhitungan-perhitungan ini dilakukan pada kondisi ambien ($T = 27\text{ }^\circ\text{C}$) dan kondisi operasi ($T = 800\text{ }^\circ\text{C}$). Data-data perhitungan tersebut yaitu seperti berikut ini.

Data perhitungan.

- pada kondisi ambien:
 - kerapatan fluida udara (ρ_f) = $1,1797\text{ kg/m}^3$
 - kecepatan superfisial (U_o) saat fluidisasi minimum = $0,113\text{ m/s}^2$
 - kecepatan udara rata-rata melewati orifis (U_{or}), dengan menggunakan persamaan 3.8 yaitu,

$$U_{or} = \frac{U_o}{f_{oa}} = \frac{0,113}{0,0883}$$

$$U_{or} = 1,279\text{ m/s}$$

- pada kondisi operasi:
 - kerapatan fluida udara (ρ_f) = $0,3284\text{ kg/m}^3$
 - kecepatan superfisial (U_o) saat fluidisasi minimum = $0,052\text{ m/s}^2$
 - kecepatan udara rata-rata melewati orifis (U_{or}), dengan menggunakan persamaan 3.8 yaitu,

$$U_{or} = \frac{0,052}{0,0883}$$

$$U_{or} = 0,589\text{ m/s}$$

- *Orrifice discharge coefficient* (C_D), dengan menggunakan persamaan 3.10 yaitu,

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

$$C_d = 0.82 \left(\frac{0,01}{0,02} \right)^{0.13}$$

$$C_d = 0,739$$

Kemudian dengan memasukkan data-data perhitungan tersebut pada persamaan 3.9 maka nilai ΔP_D ,

- pada kondisi ambien

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

$$\Delta P_D = \frac{1,1797}{2} \left\{ \left(\frac{1,279}{0,739} \right)^2 - (0,113)^2 \right\}$$

$$\Delta P_D = 14,74 \text{ Pa}$$

- pada kondisi operasi

$$\Delta P_D = \frac{0,3284}{2} \left\{ \left(\frac{0,589}{0,739} \right)^2 - (0,052)^2 \right\}$$

$$\Delta P_D = 4,11 \text{ Pa}$$

Maka penurunan tekanan melintas distributor adalah sebesar 14,74 Pa pada kondisi ambien ($T = 27^\circ C$) dan 4,11 Pa pada kondisi operasi ($T = 800^\circ C$).

5.1.6 Blower

Blower merupakan salah satu komponen vital yang digunakan untuk aplikasi teknologi *fluidized bed*. Blower digunakan sebagai alat untuk mensuplai udara yang dibutuhkan agar terjadi proses fluidisasi dan juga terjadinya reaksi pembakaran secara terus menerus selama pengoperasian alat berlangsung. Dalam pemilihan blower yang akan digunakan pada *fluidized bed incinerator* UI, blower harus dapat mengalirkan udara minimal sebesar debit aliran udara saat fluidisasi

minimum dan dapat mengatasi penurunan tekanan yang melewati distributor dan hamparan pasir.

Dalam mengoperasikan blower tergantung pada variabel kecepatan yang mana hamparan pasir terfluidisasi. Kecepatan pengoperasian sebaiknya paling sedikit 1,3 sampai 2 kali U_{mf} untuk memastikan hamparan pasir terfluidisasi [Howard J.R., hal.12, 1983]. Jika U_{mf} pada kondisi ambien 0,113 m/s , maka sebaiknya kecepatan pengoperasiannya sebesar dua kali U_{mf} yakni 0,226 m/s . Sehingga debit aliran udara minimum yang harus dapat dialirkan blower adalah 4,29 m^3/min .

Besar tekanan yang mana blower berikan harus dapat mengatasi besar penurunan tekanan melintas hamparan dan penurunan tekanan melintas distributor. Penurunan tekanan melintas hamparan pada kondisi ambien 2353 Pa dan penurunan tekanan melintas distributor pada kondisi ambien 14,74 Pa , maka sekurangnya blower harus dapat memberikan tekanan sebesar 2400 Pa .

Maka digunakanlah blower dengan jenis *ring blower* seperti pada gambar 5.6. Blower ini memenuhi kedua parameter kecepatan pengoperasian dan tekanan. Blower ini mampu mengalirkan debit aliran udara maksimum sebesar 6,2 m^3/min , dan memberikan tekanan maksimum sebesar 27440 Pa . Spesifikasi teknis *ring blower* ini dapat kita lihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5. 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 H₂O)</i>	2800
<i>Air Flow (max) (m³/min)</i>	6,2
<i>Inlet / Outlet Pipe</i>	2"
<i>Weight (kg)</i>	35



Gambar 5.5. *Ring blower*

5.1.7 Perlengkapan dan Peralatan

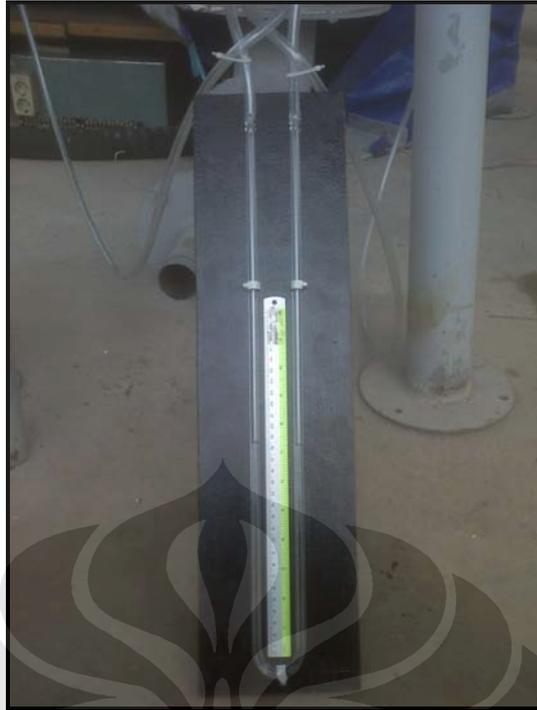
Dalam melakukan pengujian *cold flow*, diperlukan beberapa peralatan dan perlengkapan untuk mendukung dan memastikan pengujian ini dapat berjalan dengan baik. Peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Manometer

Manometer, seperti tampak pada gambar 5.7, digunakan untuk mengukur penurunan tekanan melintas distributor dan hamparan. Selang pertama dimasukkan melalui lubang termokopel 1, sedangkan selang kedua dimasukkan melalui lubang termokopel 2.

2. *Inverter*

Inverter, seperti tampak pada gambar 5.8, digunakan pada blower untuk mengatur putaran blower. *Inverter* atau yang dikenal juga sebagai *variable-frequency drives* merupakan alat untuk pengontrol kecepatan yang akurat dan pengontrol putaran dari motor tiga fase. Inverter bekerja dengan merubah sumber tegangan menjadi DC dan merubah DC menjadi sumber listrik tiga fase yang sesuai untuk motor. Inverter yang digunakan bermerk LG dengan tipe SV040iG5A-2, spesifikasinya untuk listrik AC 200 – 230 V dan untuk daya motor sampai 5,4 *hp*.



Gambar 5.6. Manometer



Gambar 5.7. Inverter

3. Generator set

Generator set diesel digunakan sebagai sumber tegangan untuk pengoperasian alat *fluidized bed incinerator* UI ini. Genset ini dapat memberikan daya listrik sebesar 8 *kVA*.

5.2 PROSEDUR PENGUJIAN ALIRAN DINGIN (*COLD FLOW*)

Pengujian aliran dingin yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan karakteristik fluidisasi pada alat *fluidized bed incinerator* UI dengan melihat hubungan penurunan tekanan melintas hamparan dan distributor terhadap

kecepatan superfisial. Pengujian *cold flow* ini membutuhkan metode yang optimal sehingga didapatkan hasil yang baik.

Prosedur pengujian *cold flow* adalah sebagai berikut:

1. Pasir silika dituang ke dalam reaktor

Sebanyak kurang lebih 75 kg pasir silika dituang ke dalam reaktor *fluidized bed incinerator* UI. Tinggi hamparan pasir dalam reaktor akan menjadi setinggi kira-kira 15 cm.

2. Manometer disiapkan

Sebuah manometer H_2O disiapkan untuk mengukur penurunan tekanan yang melintas hamparan pasir dan distributor. Kedua selang sambungan dimasukkan ke dalam reaktor melalui lubang termokopel. Selang pertama dimasukkan melalui lubang termokopel 1, sedangkan selang kedua melalui lubang termokopel 2 seperti tampak pada gambar 5.8.



Gambar 5.8. Selang sambungan manometer menuju reaktor

3. Blower dinyalakan

Blower mulai dinyalakan untuk proses fluidisasi. Namun blower tidak dioperasikan langsung pada putaran maksimum. Putaran motor blower diatur dari putaran rendah dulu baru kemudian secara bertahap dinaikkan sampai putaran maksimum. Untuk mengatur putaran motor blower tersebut dilakukan dengan menggunakan sebuah *inverter*.

4. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan dengan mencatat besar nilai penurunan tekanan setiap putaran motor blower dari putaran rendah secara bertahap dinaikkan sampai putaran maksimum.

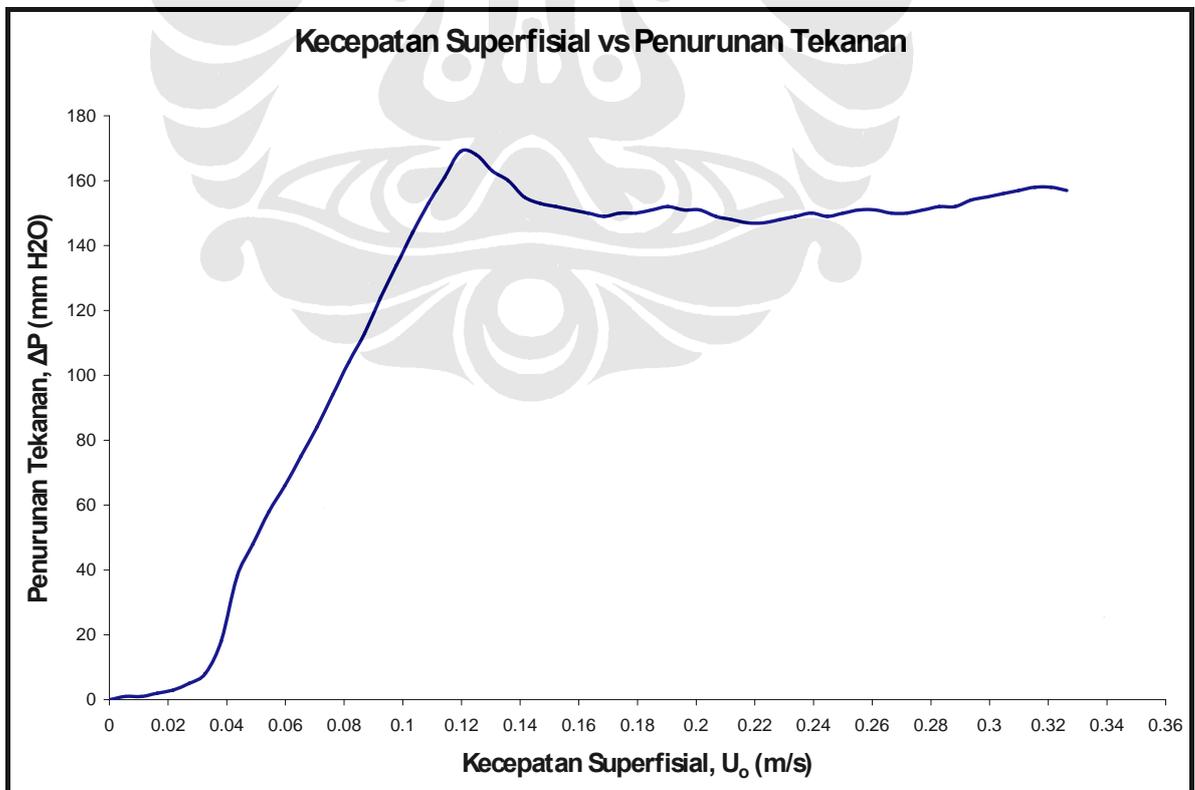
5.3 DATA PENGUJIAN

Berdasarkan pengujian aliran dingin yang dilakukan maka didapatkan data pengujian berupa nilai penurunan tekanan yang melintas distributor dan hamparan pasir dengan variabel putaran motor blower.

Putaran	Kecepatan Superfisial, U_o	Penurunan Tekanan, ΔP
<i>rpm</i>	<i>m/s</i>	<i>mm H₂O</i>
0	0	0
47	0.005438	1
93	0.010876	1
140	0.016314	2
187	0.021753	3
233	0.027191	5
280	0.032629	8
327	0.038067	18
373	0.043505	38
420	0.048943	48
467	0.054382	58
513	0.05982	66
560	0.065258	75
607	0.070696	84
653	0.076134	94
700	0.081572	104
747	0.087011	113
793	0.092449	124
840	0.097887	134
887	0.103325	144
933	0.108763	153
980	0.114201	161
1027	0.119639	169
1073	0.125078	167
1120	0.130516	163
1167	0.135954	160
1213	0.141392	155
1260	0.14683	153
1307	0.152268	152
1353	0.157707	151
1400	0.163145	150
1447	0.168583	149
1493	0.174021	150
1540	0.179459	150
1587	0.184897	151
1633	0.190336	152
1680	0.195774	151
1727	0.201212	151
1773	0.20665	149
1820	0.212088	148
1867	0.217526	147

1913	0.222964	147
1960	0.228403	148
2007	0.233841	149
2053	0.239279	150
2100	0.244717	149
2147	0.250155	150
2193	0.255593	151
2240	0.261032	151
2287	0.26647	150
2333	0.271908	150
2380	0.277346	151
2427	0.282784	152
2473	0.288222	152
2520	0.293661	154
2567	0.299099	155
2613	0.304537	156
2660	0.309975	157
2707	0.315413	158
2753	0.320851	158
2800	0.32629	157

Bila data pengujian aliran dingin di atas diplot dalam grafik maka didapatkan grafik hubungan antara kecepatan superfisial dan penurunan tekanan.



Gambar 5.9. Grafik “Kecepatan Superfisial vs Penurunan Tekanan”

BAB VI

HASIL DAN DISKUSI

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk memodifikasi *fluidized bed incinerator* UI yang sudah ada untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dan lebih efisien, khususnya sistem burner. Selanjutnya untuk mempelajari karakteristik fluidisasi *fluidized bed incinerator* UI ini. Modifikasi sistem burner telah dibahas secara rinci pada bab empat.

6.1 HASIL MODIFIKASI

Modifikasi sistem burner, seperti tampak pada gambar 6.1, telah selesai dilakukan yang meliputi modifikasi burner yang digunakan dan modifikasi mekanisme pemanasan awal dengan membuat lubang baru untuk burner tersebut langsung ditembakkan ke dalam reaktor. Pembahasan modifikasi sistem burner secara terperinci dapat disimak pada bab empat. Modifikasi ini memerlukan waktu yang cukup lama karena proses modifikasi ini dilakukan secara detil dan tidak terburu-buru agar hasil yang diharapkan maksimal. Secara keseluruhan modifikasi sistem burner ini sudah berjalan sesuai dengan yang diharapkan.

Semua permasalahan yang dijabarkan pada sub bab 4.1.3 sudah diatasi dengan modifikasi sistem burner ini. Sistem burner hasil modifikasi ini memiliki metode penyalaan yang sangat aman karena metode penyalaannya menggunakan sebuah *spark plug* (busi) sehingga tidak perlu lagi untuk melakukan penyalaan secara manual menggunakan korek api gas. Proses penyalaan ini tidak berbahaya lagi karena penyalaan tersebut dilakukan secara otomatis yang berasal dari busi. Nyala api burner yang dihasilkan lumayan panjang, kurang lebih dapat mencapai 60 cm. Suplai udara tidak berasal dari udara bebas di lingkungan lagi seperti burner sebelumnya, namun suplai udara pada sistem burner hasil modifikasi berasal dari sebuah blower jenis sentrifugal. Hal ini menyebabkan terbentuknya

aliran yang turbulen saat pencampuran bahan bakar gas dan udara sehingga nyala api yang dihasilkan dari burner lumayan panjang. Nyala api burner hasil modifikasi sudah stabil. Letak burner hasil modifikasi sekarang sudah terintegrasi dengan reaktor dan tidak ada celah lagi dengan udara luar serta lidah api yang dihasilkan dari burner berkarakter *turbulent premixed flame* sehingga nyala api yang dihasilkan stabil. Nyala api dari burner hasil modifikasi sekarang dapat terdeteksi. Burner hasil modifikasi ini memiliki sensor terhadap nyala api, yakni sebuah *uv sensor*, sehingga dapat mendeteksi nyala api dari burner. Sensor ini berhubungan dengan sebuah *solenoid valve* sehingga ketika nyala api mati maka sensor akan memberikan sinyal untuk kemudian solenoid valve akan menutup aliran bahan bakar gas pada pipa. Mekanisme pemanasan awal sistem burner hasil modifikasi sudah efisien. Pemanasan burner tidak dilakukan melalui lubang utama (*manhole*) ruang bakar yang mana pintu manhole tersebut masih terbuka dan menghasilkan celah sehingga menyebabkan adanya kalor yang hilang ke lingkungan melalui celah tersebut. Namun sekarang pemanasan pasir dilakukan melalui sebuah lubang khusus dirancang untuk burner *hi-temp premixed burner* sehingga tidak ada lagi kalor yang hilang ke lingkungan. *Hi-temp premixed burner* ini mampu memberikan kalor dengan kapasitas sampai 75000 kkal/jam.

Hasil nyala api dengan variasi penyetelan burner (sub bab 4.4.2) dari *hi-temp premixed burner* dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 6.1. Hasil modifikasi sistem burner *fluidized bed incinerator* UI

6.2 KARAKTERISTIK FLUIDISASI

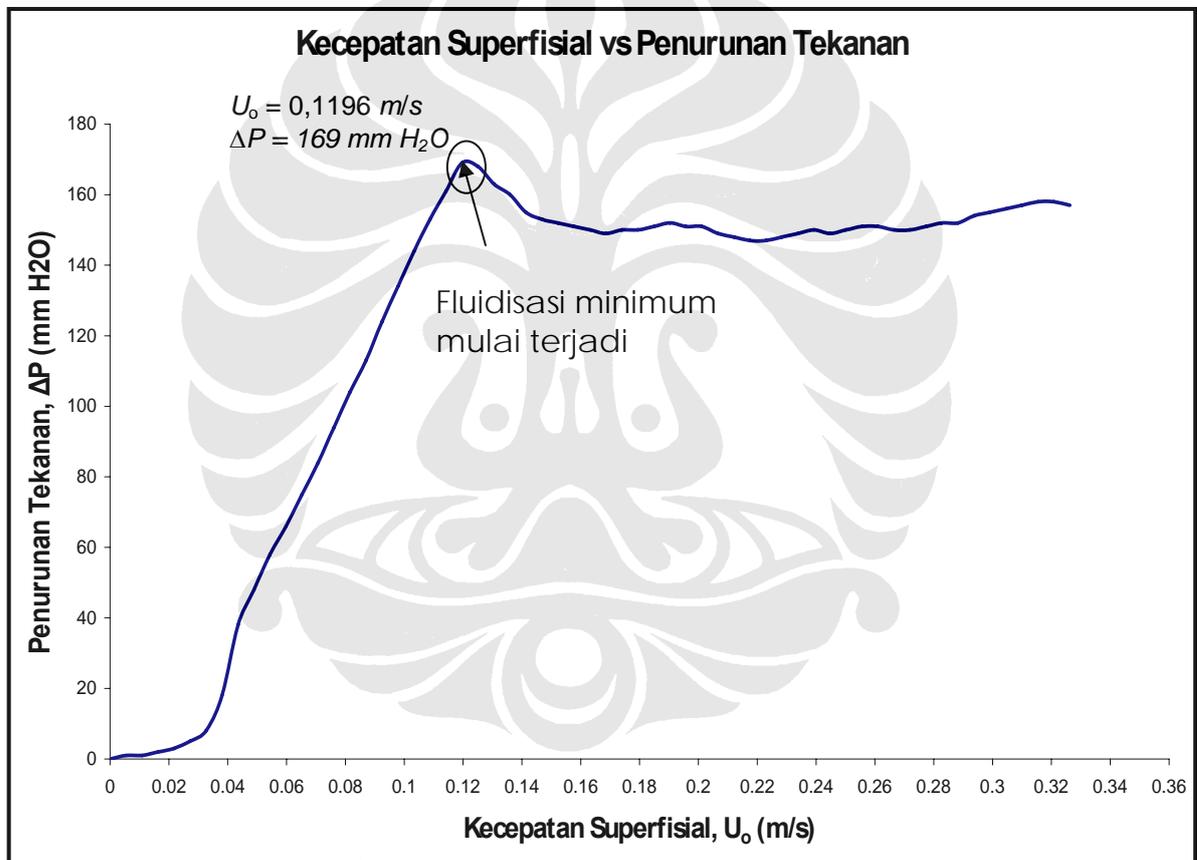
Secara keseluruhan proses fluidisasi sudah terjadi sesuai dengan yang diharapkan. Pasir yang digunakan adalah pasir silika dengan ukuran mesh 30-50 yang mana ukuran partikel pengayakan rata-ratanya (*mean sieve size*), d_p , sebesar $372,56 \mu m$. Distributor yang digunakan dengan jenis *perforated plate* yang mana ukuran lubang orifisnya sebesar $20 mm$ dengan jumlah 89 lubang, sudah dapat memberikan distribusi aliran udara yang merata di seluruh penampang reaktor. Blower yang digunakan dengan jenis ring blower yang mana mampu memberikan aliran udara maksimum sampai sebesar $6,2 m^3/min$ dan memberikan tekanan maksimum sampai sebesar $2800 mm H_2O$, sudah mampu memenuhi kebutuhan suplai aliran udara untuk kondisi fluidisasi minimum. Kondisi fluidisasi minimum menurut perhitungan dapat dipenuhi pada kecepatan aliran udara $0,113 m/s$ dari blower pada kondisi ambien, $T = 27 ^\circ C$.



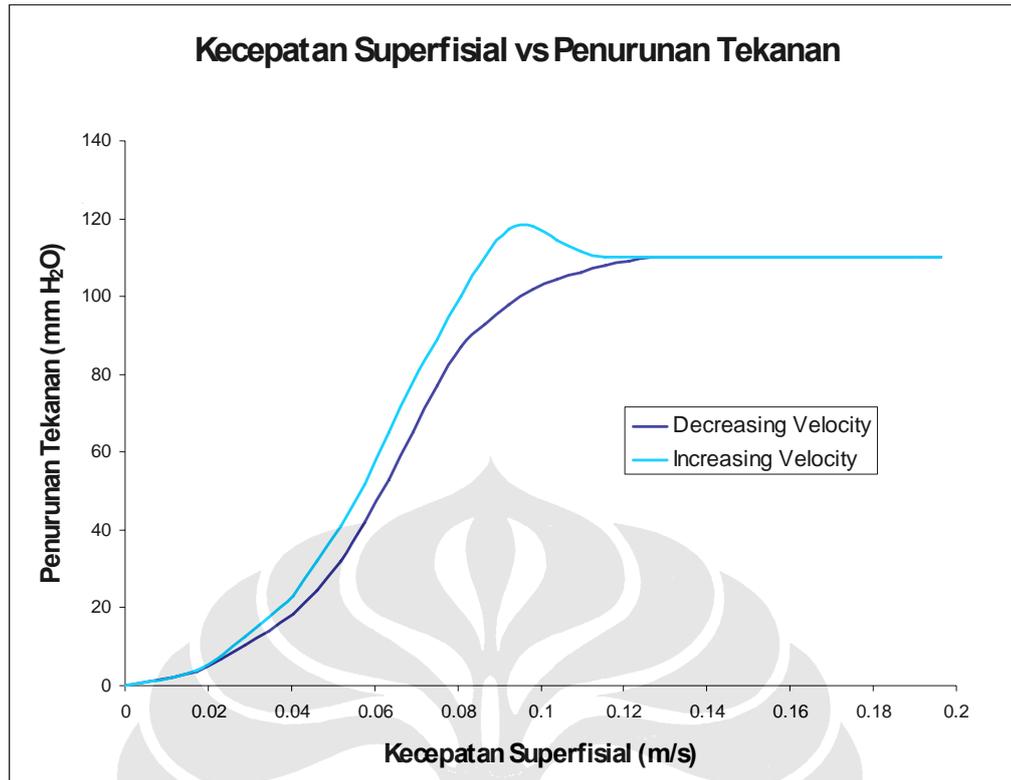
Gambar 6.2. Fluidisasi yang terjadi pada *fluidized bed incinerator* UI

Dalam pengujian *cold flow* yang dilakukan dapat dilihat karakteristik fluidisasi pada alat *fluidized bed incinerator* UI ini. Hubungan antara kecepatan superfisial dan penurunan tekanan yang melintas distributor dan hamparan pasir, seperti yang diilustrasikan pada gambar 6.3, sudah menggambarkan karakteristik

fluidisasi alat *fluidized bed incinerator* UI ini. Bila dibandingkan antara data perhitungan dengan data pengujian ternyata memiliki korelasi yang sangat signifikan. Berdasarkan pengujian aliran dingin (*cold flow*) yang telah dilakukan, diperoleh bahwa kondisi fluidisasi minimum mulai terjadi pada kecepatan superfisial aliran udara, $U_o = 0,1196 \text{ m/s}$, sedangkan berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan bahwa kondisi fluidisasi minimum mulai terjadi pada kecepatan aliran udara, $U_{mf} = 0,113 \text{ m/s}$. Dapat dilihat bahwa besar perbedaannya kurang dari 6 %, sehingga dapat dipastikan bahwa kondisi fluidisasi minimum mulai terjadi pada kecepatan aliran udara kisaran $0,11 \text{ m/s}$.



Gambar 6.3. Grafik “Kecepatan Superfisial vs Penurunan Tekanan” hasil pengujian *cold flow* alat *fluidized bed incinerator* UI



Gambar 6.4. Grafik “Kecepatan Superfisial vs Penurunan Tekanan” hasil pengujian alat “*Fluidization and Fluid Bed Heat Transfer Unit H692*”

Grafik “Kecepatan Superfisial vs Penurunan Tekanan” hasil pengujian *cold flow* alat *fluidized bed incinerator* UI memiliki *trend* grafik yang hampir serupa dengan hasil pengujian pada alat “*Fluidization and Fluid Bed Heat Transfer Unit H692*” seperti yang diilustrasikan pada gambar 6.4. Grafik “Kecepatan Superfisial vs Penurunan Tekanan” hasil pengujian alat “*Fluidization and Fluid Bed Heat Transfer Unit H692*” yang dibahas pada sub bab 3.2 memberikan hubungan antara kecepatan superfisial dan penurunan tekanan yang melintas hamparan pasir.

6.3 PARAMETER-PARAMETER YANG BERPENGARUH

Banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya fluidisasi, khususnya pada alat *fluidized bed incinerator* UI ini, di antaranya yang terutama yaitu komponen pasir, komponen distributor dan komponen blower yang digunakan. Ketiga komponen ini memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap proses fluidisasi dan saling berhubungan erat antara satu dengan yang lainnya. Ketika salah satu

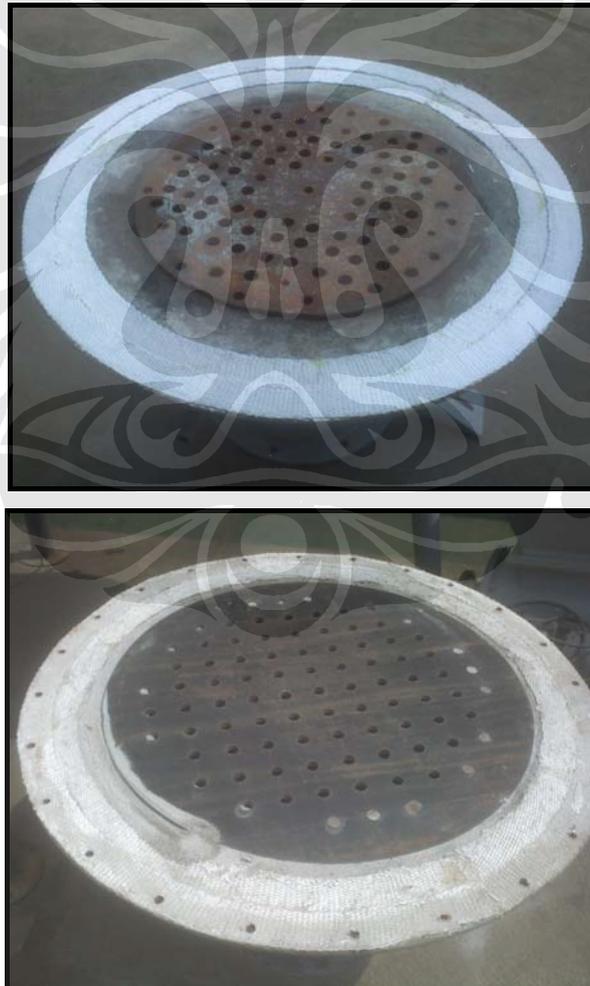
saja dari ketiga komponen yang disebutkan di atas tidak mendukung untuk terjadinya fluidisasi, maka akan menyebabkan gagalnya proses fluidisasi. Oleh karena itu ketiga komponen ini, yakni pasir, distributor, dan blower yang digunakan harus benar-benar diperhatikan.

Komponen pasir yang digunakan pada alat fluidized bed incinerator UI ini adalah pasir silika. Namun tidak semua ukuran pasir silika dapat digunakan untuk dapat menghasilkan fluidisasi yang baik. Seperti yang telah dibahas pada sub bab 5.1.1, bahwa klasifikasi pasir untuk tujuan fluidisasi yang baik adalah pada pasir *group B* menurut pengklasifikasian partikel pasir oleh *Geldart*. Partikel pasir kelompok ini berkisar antara 300 μm sampai 500 μm dengan ukuran partikel pasir antara *mesh 35* sampai *mesh 50*. Hal ini sudah terbukti dengan pasir silika yang sekarang digunakan yakni pasir dengan ukuran *mesh 30 – 50* sudah menghasilkan fluidisasi yang baik. Sebelum menggunakan pasir silika ukuran *mesh 30 – 50*, pernah juga menggunakan pasir silika dengan ukuran *mesh 20 – 40*. Namun pasir silika dengan ukuran *mesh 20 – 40* ini terbukti bahwa tidak menghasilkan fluidisasi seperti yang diharapkan sehingga akhirnya harus diganti dengan pasir silika ukuran *mesh 30 – 50*.

Komponen selanjutnya adalah distributor. Sesuai dengan fungsinya distributor harus mampu memberikan distribusi aliran udara yang merata di seluruh permukaan penampang reaktor. Distributor yang dulu pernah digunakan belum mampu memberikan distribusi aliran udara yang merata di sepanjang permukaan penampang reaktor sehingga menghambat terjadinya fluidisasi yang baik. Hal ini disebabkan ukuran lubang-lubang orifis pada distributor tersebut besar diameternya tidak sama dan jarak antar lubang tidak simetris sehingga mengakibatkan aliran udara tidak terdistribusi dengan kecepatan aliran udara yang sama di seluruh penampang distributor. Perbandingan bentuk distributor sebelum dan penggantinya dapat dilihat pada gambar 6.4.

Kemudian komponen yang terakhir adalah blower. Blower yang digunakan sebelumnya sebenarnya sudah mendukung terjadinya fluidisasi. Blower tersebut sudah mampu mengalirkan aliran udara minimal sebesar debit aliran udara yang dibutuhkan untuk kondisi fluidisasi minimum dan dapat mengatasi penurunan tekanan yang melewati distributor dan hamparan pasir.

Namun karena terjadi suatu masalah non teknis sehingga harus dilakukan pemilihan ulang terhadap blower yang akan digunakan pada *fluidized bed incinerator* UI ini. Pemilihan blower ini cukup sulit karena blower yang digunakan harus sesuai dengan karakteristik yang sesuai dengan karakteristik *fluidized bed incinerator* UI dan juga bergantung dengan kedua komponen yang telah dibahas sebelumnya. Seperti yang telah dibahas pada sub bab 5.1.6, debit aliran udara minimum yang harus dapat dialirkan blower adalah $4,29 \text{ m}^3/\text{min}$ dan penurunan tekanan melintas hamparan dan distributor pada kondisi ambient sekurangnya blower harus dapat memberikan tekanan sebesar 2400 Pa . Akhirnya dipilihlah blower jenis *ring blower* yang mana mampu mengalirkan aliran udara maksimum sebesar $6,2 \text{ m}^3/\text{min}$, dan memberikan tekanan maksimum sebesar 27440 Pa .



Gambar 6.4. Distributor sebelum dan pengganti yang digunakan pada *fluidized bed incinerator* UI