

# ANALISIS DIMENSI CEROBONG UNTUK INSINERATOR TIPE PPF – GF.CCB 1.50

Mamat

Pusat Penelitian Fisika – LIPI

Jln Sangkuriang (komplek LIPI) No. 21/154D, Bandung 40133

Telp : (022) 250 3052, 250 7773 – Fax : (022) 250 3050

E – mail :ir\_mamat@yahoo.com

## Abstrak

*Suatu insinerator tipe PPF – GF CCB 1.50 mempunyai dua ruang bakar yaitu ruang bakar utama untuk pembakaran sampah menjadi abu dan ruang bakar kedua untuk pembakaran gas hidrokarbon menjadi gas karbon dioksida (gas CO<sub>2</sub>). Insinerator tersebut berbahan bakar gas yang beroperasi pada temperatur 800 – 900 (°C) untuk membakar sampah domestik yang mempunyai kapasitas bakar 1.5 m<sup>3</sup>/jam ≈ 337.5 kg/jam dan menghasilkan gas pembakaran sebanyak 3794.13 nm<sup>3</sup>/jam. Ruang bakar insinerator ini harus bertekanan negatif agar supaya tidak terjadi back pressure yang dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem pengendali dan juga merusak dinding ruang bakar. Ukuran ruang bakar utama (0.9 x 1.4 x 1.8)m dan ukuran ruang bakar kedua (0.3 x 0.9 x 1.4)m. Agar supaya tekanan di dalam cerobong negatif besarnya pressure drop dari aliran gas buang harus relatif lebih kecil dari tarikan gas buang ke cerobong. Hasil analisis diperoleh pressure drop diperoleh 77.427 Pa ≈ 7.7427 kg/m<sup>2</sup>, sehingga ukuran plenum gas buang φ 0.3 m, ukuran gas filter (φ 0.5 x 1) m, maka ukuran diameter cerobong diperoleh φ 0.385 m dan tinggi cerobong 16 m. Dengan pertimbangan teknis, tinggi cerobong aktual dibuat 17 m.*

*Kata kunci : cerobong, dimensi cerobong, gas buang, pressure drop*

## PENDAHULUAN

Insinerator ini dirancang untuk pembakaran sampah domestik beroperasi pada temperatur 800 – 900 (°C) dan produk pembakarannya berupa gas panas dan abu. Gas hidrokarbon yang terkandung di dalam gas buang yang paling dominan umumnya gas karbon monoksida (gas CO) dan mempunyai temperatur bakar 620 °C. Gas CO merupakan salah satu jenis gas beracun yang dihasilkan dari proses pembakaran di dalam ruang bakar utama. Gas CO tersebut dialirkan ke ruang bakar kedua dan dicampur dengan udara secara homogen kemudian dibakar pada temperatur 900 °C, maka gas CO berubah menjadi gas karbon dioksida (gas CO<sub>2</sub>). Besar-besarnya kandungan gas hidrokarbon di dalam gas buang sangat dipengaruhi oleh suplai udara ke dalam ruang bakar. Supaya kualitas produk pembakaran tidak dipengaruhi oleh kualitas sampah yang ditumpukan ke ruang bakar temperatur operasi di ruang bakar harus di atas 800 °C dan juga stabil. Dengan temperatur operasi 785 °C selama 0.3 detik mampu mereduksi gas CO sebanyak 90 %, maka residence time dua detik gas hidrokarbon yang terkandung di dalam gas buang berubah menjadi gas CO<sub>2</sub>.

Konstruksi insinerator dibuat harus mengacu kepada Peraturan Pemerintah Nomor. 18 Tahun 1999 Pasal 34 dan produk pembakaran mengacu Peraturan

Pemerintah Nomor :13/MenLH/3/1995, sehingga produk gas dari hasil pembakaran dapat memasuki beca mutu lingkungan. Insinerator ini dilengkapi suatu wet scrubber, sehingga abu yang terbawa oleh gas buang mengendap di dalam scrubber, maka gas buang bersih yang ke luar dari cerobong dan ramah terhadap lingkungan. Sesuai peraturan pemerintah insinerator dipersyaratkan mempunyai CE (Combustion efficiency) dan DRE (Destruction and Removal Efficiency) mencapai 99.99 %.

Proses pembakaran sampah dan output panas dari burner di dalam ruang bakar sangat dipengaruhi oleh tekanan ruang bakar, karena semakin besar tekanan positif di dalam ruang bakar menimbulkan hambatan suplai udara dari nozzle dan juga semakin kecil juga output panas dari burner, sehingga memungkinkan index oksigen pembakaran tidak dapat dipenuhi, maka pembakaran sempurna tidak terjadi. Agar supaya tidak terjadi tekanan positif di dalam ruang bakar, maka pressure drop harus relatif lebih kecil dari tarikan cerobong, sehingga tekanan di ruang bakar menjadi negatif. Jadi ukuran diameter dan juga tinggi cerobong harus dianalisis berdasarkan besarnya pressure drop.

## ANALISIS KEBUTUHAN UDARA

Data – data sampah yang diperoleh di Daerah kotamadya Bandung tahun 2005 memungkinkan dapat mewakili produk sampah di kota – kota yang lainnya

karena umumnya yang berbeda hanya kuantitas sampah saja, namun kualitasnya relatif sama. Data sampah tahun 2005 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data sampah tahun 2005

No	Jenis Sampah	Kandungan Sampah (%)
01	Kertas	3.13
02	Kayu	0.30
03	Kain	0.48
04	Karet	0.55
05	Plastik	7.86
06	Logam	2.04
07	Glass	1.75
08	Organik	22.73
09	Cello	0.29
10	Tulang	0.0
11	Lain - lain	0.86
Total		100.00
LHV		4136 kJ/kg
Komposisi Kimia		
Nama Atom	Atom	Kandungan (%)
Karbon	C	54
Hidrogen	H	6.9
Oksigen	O <sub>2</sub>	34
Nitrogen	N <sub>2</sub>	2.85
Sulfur	S	2.5
Air	W	60
Abu	A	1

Komposisi udara yang paling dominan di alam ini yaitu 76.8 % Nitrogen (N<sub>2</sub>) dan 23.2 % Oksigen (O<sub>2</sub>), udara yang diperlukan untuk pembakaran bahan bakar dengan reaksi kimia untuk pembakaran sempurna disebut kebutuhan udara teoritik atau *stoichiometry burning* dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$L_p = 11.51(C) + 34.48\left(H - \frac{O}{8}\right) + 4.31(S) \quad (1)$$

diperoleh 7.14 kg udara/kg sampah, kondisi alam ini mempunyai kelembaban, sehingga kebutuhan udara untuk pembakaran harus diperhitungkan faktor koreksi yang sangat dipengaruhi oleh temperatur, faktor koreksi pada kelembaban udara 80 % dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor koreksi

No	Temperatur (°C)	Faktor Koreksi
01	0	1.0049
02	10	1.0098
03	20	1.019
04	30	1.035
05	40	1.063

Temperatur lingkungan diestimasi 30 °C dapat dilihat pada Tabel 2, faktor koreksinya dapat diperoleh 1.035. *Excess air* untuk pembakaran sampah 100 – 200 (%), namun dengan pertimbangan teknis untuk kecepatan kenaikan temperatur pembakaran, sehingga *excess air* diestimasi 125 %, maka *ratio* bahan bakar dan udara diperoleh 9.24. Kebutuhan udara sangat dipengaruhi oleh berat sampah yang dibakar dan densitas berbagai kondisi kandungan air pada sampah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Densitas variasi kandungan air sampah

No	Kandungan Air Sampah (%)	Densitas Sampah
01	10 – 20	37.5
02	20 – 30	75
03	30 – 40	112.5
04	40 – 50	150
05	50 – 60	187.5
06	60 – 70	225
07	70 – 80	262.5
08	80 – 90	300

Dengan melihat Tabel 3, untuk kandungan air sampah 60 – 70 (%) setiap meter kubik sampah mempunyai berat 225 kg, maka berat sampah yang dibakar setiap jamnya diperoleh 337.5 kg. Jadi kebutuhan udara aktual untuk pembakaran sampah sebanyak 337.5 kg/jam diperoleh 3048.3 kg/jam atau 2561.6 nm<sup>3</sup>/jam.

Untuk memenuhi kebutuhan panas pada ruang bakar insinerator disuplai oleh empat unit burner dengan menggunakan bahan bakar *Liquid Natural Gas (LNG)* dan masing – masing burner mengkonsumsi bahan bakar sebanyak 15 mm<sup>3</sup>/jam, maka kebutuhan bahan bakar untuk mengoperasikan empat unit burner tersebut sebanyak 60 mm<sup>3</sup>/jam. *Ratio* antara bahan bakar gas *LNG* dan udara 1 : 9.85, maka jumlah udara yang dibutuhkan untuk operasional burner diperoleh 591 mm<sup>3</sup>/jam. Jadi total kebutuhan udara sebanyak 3090.3 mm<sup>3</sup>/jam ≈ 3677.5 kg/jam.

### PRODUK GAS PEMBAKARAN

Gas buang dari hasil pembakaran sempurna yaitu karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), uap air (H<sub>2</sub>O) dan sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>). Jadi jumlah gas buang teoritis dari proses pembakaran dapat diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut:

$$G_r = 12.51(C) + 35.48 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 1.25(O) + 5.31(S) + W \quad (2)$$

diperoleh 9.44 kg gas/kg sampah ≈ 6.66 mm<sup>3</sup>/kg sampah. Jadi gas buang aktual dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$G_s = (f - 1)L_r + G_r \quad (3)$$

diperoleh 11.5 kg gas/kg sampah, maka jumlah gas buang yang terbentuk dari suatu proses pembakaran diperoleh 3795 kg/jam ≈ 6159.3 mm<sup>3</sup>/jam ≈ 1.7109 mm<sup>3</sup>/det.

### ANALISIS PRESSURE DROP

Luas penampang ruang bakar utama 1.26 m<sup>2</sup>, maka kecepatan gas buang di dalam ruang bakar utama diperoleh 1.36 m/det. Densitas gas pada temperatur 800 °C diperoleh 0.4084 x 10<sup>3</sup>, maka bilangan *Reynold* diperoleh 1.1 x 10<sup>5</sup>, bilangan *Prandtl (Pr)* diperoleh 0.75, sehingga faktor gesekan diperoleh 0.0174, dan faktor belokannya diperoleh 0.5, maka *pressure drop* pada ruang bakar utama diperoleh 0.274 Pa.

Lubang lintasan antara ruang bakar utama dan ruang bakar kedua 0.12 m<sup>2</sup>, kecepatan aliran gas yang melewati lubang lintasan diperoleh 14 m/det, faktor pengecilan penampang dapat diperoleh 0.623, koefisien gesekan diperoleh 0.366, maka *pressure drop* yang pada lubang lintasan diperoleh 12 Pa.

Ruang bakar kedua mempunyai luas penampang 0.45 m<sup>2</sup>, sehingga kecepatan aliran gas buang di dalam ruang bakar kedua diperoleh 4.2 m/det, bilangan *Reynold* pada ruang bakar kedua diperoleh 1.84 x 10<sup>5</sup>, faktor gesekan diperoleh 0.015, maka *pressure drop* di dalam ruang bakar kedua diperoleh 0.31 Pa.

Planum *gas filter* mempunyai luas penampang diperoleh 0.0491 m<sup>2</sup>, kecepatan gas buang melewati planum diperoleh 38.3 m/det, sehingga bilangan

*Reynold* diperoleh 7 x 10<sup>5</sup>, faktor gesekan diperoleh 0.0109, panjang planum 0.6 m, faktor pengecilan penampang 0.623, koefisien *losses* diperoleh 0.36, karena *filter* r > 0.2 d, sehingga harga koefisiennya 0.01, maka *pressure drop* di dalam planum diperoleh 9.87 Pa.

Temperatur gas buang di dalam *gas filter* 400 °C dan densitas diperoleh 0.4885 kg/m<sup>3</sup>, laju gas buang di dalam *gas filter* diperoleh 1.16 m<sup>3</sup>/det, luas penampang *gas filter* diperoleh 0.283 m<sup>2</sup>, kecepatan gas buang di dalam *gas filter* 4.1m/det dan bilangan *Reynold* diperoleh 3.7 x 10<sup>5</sup>, faktor gesekan diperoleh 0.0128, faktor pembesaran penampang diperoleh 0.644, koefisien *losses* diperoleh 0.306, kecepatan di dalam planum cerobong diperoleh 16.35 m/det, maka *pressure drop* di dalam *gas filter* diperoleh 20.5 Pa.

Temperatur air ke luar *water jacket* 60 °C, panas jenis air pada tekanan tetap 4.179 kJ/kg°C, sehingga temperatur gas buang setelah melewati *water jacket* diperoleh 255 °C, maka densitas gas buang diperoleh 0.62 kg/m<sup>3</sup>. Dengan demikian, laju gas buang di dalam cerobong diperoleh 0.913 m<sup>3</sup>/det, diameter planum cerobong 0.3 m dan luas penampangnya diperoleh 0.07095 m<sup>2</sup>, kecepatan aliran gas buang di dalam planum cerobong diperoleh 13 m/det, sehingga bilangan *Reynold* diperoleh 9.2 x 10<sup>5</sup>, faktor gesekan diperoleh 0.011, faktor kontraksi diperoleh 0.644, koefisien *losses* diperoleh 0.306, sudut planum 60° dan koefisien elevasinya diperoleh 0.76, maka *pressure drop* di dalam cerobong diperoleh 46.5 Pa. Jadi *pressure drop* keseluruhan diperoleh 77.427 Pa.

### DIMENSI CEROBONG

Material cerobong dibuat dari SA 34 dan menggunakan sistem modul untuk mempermudah mobilisasinya. Sambungan cerobong menggunakan las dan sambungan antara modul menggunakan sambungan mur baut. Densitas udara sekitar cerobong diperoleh 1.173 kg/m<sup>3</sup>, densitas gas buang yang ke luar dari cerobong diperoleh 0.62 kg/m<sup>3</sup> dan *pressure drop* total dari sistem insinerator diperoleh 77.427 Pa, maka tinggi cerobong dapat diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut:

$$H_c = \frac{\Delta P}{(\rho_{UD} - \rho_{GB})} \quad (4)$$

Diperoleh 14 m. Konstruksi cerobong terpasang pada casing insinerator dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Cerobong pada cacing insinerator

Pemeriksaan dimensi cerobong perlu dilakukan, kecepatan udara di dalam cerobong diperoleh 15,64 m/det, sehingga diameter plenum cerobong diperoleh 0,273 m, maka diameter cerobong diperoleh 0,385 m dan luas penampangnya adalah 0,116 m<sup>2</sup>. Kecepatan gas di dalam cerobong diperoleh 7,87 m/det dan bilangan *Reynold* diperoleh 6,8 x 10<sup>6</sup>, faktor gesekan di dalam cerobong 0,0124, koefisien *losses* diperoleh 0,048, maka *pressure drop* di dalam cerobong diperoleh 11 Pa. Jadi total *pressure drop* diperoleh 88,427 Pa, sehingga tinggi cerobong aktual diperoleh 16 m. Dengan pertimbangan faktor bentuk, faktor sambungan dan untuk melewati jumlah potongan material, maka tinggi cerobong dibuat 17 m.

## ANALISIS KEKUATAN

### Analisis Defleksi

Kecepatan angin berdasarkan data dari *station* meteorologi PT.VICO Indonesia di Muara Badak Kalimantan Timur diperoleh 80 m/jam, dalam perencanaan diambil 5 kali lebih besar dari data tersebut, maka kecepatan angin diperoleh 0,112 m/det. Kondisi kecepatan angin *steady state* pada ketinggian 13 m keatas, densitas pada temperatur 25 °C adalah 1,1774 kg/m<sup>3</sup>, maka gaya tekan angin pada penampang cerobong diperoleh 0,036 N. Penampang cerobong bervariasi yaitu 2,4 m dari dasar berdiameter 0,5 m dan dari 2,4 m ke atas mempunyai diameter 0,385 m. Dengan demikian, perhitungan pertama ketinggian (17 - 2,4) adalah 14,6 m, sehingga momen bending akibat tekanan angin diperoleh 0,227 Nm. Bahan baut dari baja SA 34 - 3700 kg/cm<sup>2</sup>, faktor keamanan diambil 4, maka tegangan tarik yang diijinkan diperoleh 925 kg/cm<sup>2</sup>. Jumlah baut diambil 12 buah yang mempunyai diameter 12,7 mm, sehingga gaya yang bekerja pada masing - masing baut diperoleh 0,085 N. Ukuran baut tersebut harus diperiksa terhadap tegangan tarik dan tegangan tarik yang terjadi diperoleh 91,2 N/cm<sup>2</sup>, maka tegangan yang diijinkan relatif lebih besar tegangan

tarik yang terjadi, maka konstruksi baut aman terhadap tegangan tarik yang ditimbulkan beban angin.

Cerobong juga harus diperiksa terhadap defleksi akibat beban angin, elastis modulus material cerobong 2100000 kg/cm<sup>2</sup>, momen inersia dari cerobong diperoleh 4479,7 cm<sup>4</sup>, maka defleksi pada modul dua dan seterusnya diperoleh 96 x 10<sup>-6</sup> mm. Momen yang terjadi pada dasar cerobong diperoleh 31,34 Ncm, diameter cerobong 0,5 m, momen inersianya diperoleh 9812,5 cm<sup>4</sup>, maka defleksi yang terjadi diperoleh 29 x 10<sup>-6</sup> mm, maka total defleksi diperoleh 986 x 10<sup>-6</sup> mm. Jadi cerobong dengan dimensi tersebut cukup rigid terhadap beban angin.

### Analisis Angker

Gaya yang bekerja pada masing - masing angker diperoleh 0,087 N, diameter baut yang digunakan berdiameter satu inci dan diameter taras diperoleh 20,32 mm, sehingga tegangan yang terjadi diperoleh 19,05 N/cm<sup>2</sup>, maka baut angker aman terhadap beban tarikan akibat beban angin karena tegangan tarik yang terjadi relatif lebih kecil dari tegangan tarik yang diijinkan.

### Analisis Kekuatan Las

Las yang digunakan *double layer* dan beban permeter pada las akibat momen diperoleh 160,1 N/m, dan beban gaya gesek diperoleh 0,055 N/m, maka *resultante* beban diperoleh 160,11 N/m. Jadi ukuran tebal las dapat diperoleh 0,024 mm, maka aktual tebal las diperoleh 3 mm, sehingga las pada cerobong aman terhadap beban angin.

## ANALISIS DAN DISKUSI

Pada pembebanan normal temperatur yang dapat dicapai rata - rata di dalam ruang bakar 883 °C dan volume gas yang terbentuk 6159,3 mm<sup>3</sup>/jam dan *pressure drop* yang terjadi 88,427 Pa dengan diameter plenum cerobong 0,3 m dan diameter cerobong 0,385 m dan tinggi cerobong 17 m selama operasi berlangsung tidak terjadi *back pressure* karena *pressure drop* relatif lebih kecil dari tarikan cerobong.

Pada beban pengumpulan sampah ke ruang bakar relatif lebih besar 20 % dari beban normal, sehingga volume gas buang di dalam ruang bakar relatif lebih besar dari volume ruang gas di dalam ruang bakar, sehingga tekanan di dalam ruang bakar naik lebih tinggi dari tekanan atmosfer, maka tekanan gas hasil pembakaran di ruang bakar positif. Dengan tekanan positif gas hasil pembakaran di dalam ruang bakar, sehingga menimbulkan *back pressure* dan gas di dalam ruang bakar ke luar melalui pintu uap dan juga pintu abu. Pada kondisi "OFF" tekanan gas di dalam ruang bakar relatif lebih besar dari tekanan udara bila yang ke luar dari *burner*, sehingga gas bakar masuk ke dalam *burner* dan lepas dari gas bakar melekat pada elektroda dan juga merusak sistem pengendali pada

*burner*. Dengan demikian, *burner* sulit dioperasikan dan juga sistem pengendali pembakaran rusak akibat gas panas masuk ke *box* sistem pengendali. Untuk mencegah terjadinya tekanan positif di dalam ruang bakar, maka besarnya pengumpanan sampah ke ruang bakar disarankan maksimum 60 % dari total volume ruang bakar. Selain itu, sebelum *burner* dioperasikan elektroda dibersihkan terlebih dahulu, sehingga *burner* dapat dioperasikan secara normal.

#### KESIMPULAN

1. Dengan analisis dimensi cerobong berdasarkan dari besarnya *pressure drop* yang terjadi, maka diperoleh diameter cerobong 0,363 m dan tinggi cerobong diperoleh 17 m.
2. *Pressure draft* relatif lebih besar dari pada *pressure drop*, sehingga tekanan di dalam ruang bakar negatif.
3. Kelebihan pengumpanan sampah harus relatif lebih rendah 20 % dari total volume sampah yang dimasukkan ke ruang bakar supaya tidak terjadi *back pressure*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bruner .Calvin R. (1988), "*Handbook of Incineration System*" Second Edition ,McGraw - Hill, Inc - New York.
- [2] Incropera . Frank P, (1976), *Introduction to Heat Transfer*, Third Edition, John Willey & Son, New York
- [3] Moran.Michale J,Shapiro.Howard N, (2000), *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, Fourth Edition,John Willey&Son,Inc, New York
- [4] Kreith Frank,(1991), *Principles of Heat Transfer*, Second Edition,Harper & Row, Publisher, Inc,
- [5] Fax.Robert W, (1976), *Introduction to Fluid Meechanics*, Fourth Edition, John Willey & Son, Inc, New York
- [6] Frass.Arthur P,(1976), *Heat Exchanger Design*, Second Edition, John Willey & Son, New York