

## EVALUASI KEKUATAN CEROBONG DARI BEBAN TERMAL DAN ANGIN PADA INSINERATOR TIPE CCB 200 DI VICO INDONESIA BADAK 58 KALIMANTAN TIMUR

Mamat

Pusat Penelitian Fisika – LIPI

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

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

### ABSTRAK

Suatu insinerator tipe YT – GF CCB 200 untuk pembakaran sampah domestik mempunyai kapasitas adalah 200 kg/jam dan kandungan air sampah rata – rata adalah 60 %. Laju massa gas buang ke luar ruang bakar adalah 3881.3 kg/jam dan temperaturnya adalah 900 °C. Temperatur gas buang yang mengalir di dalam cerobong adalah 473 °C dan temperatur udara lingkungan adalah 30 °C, maka temperatur rata – rata plat cerobong adalah 251.5 °C < material SA 516 pada temperatur 329 °C *tensile stress* yang diijinkan ( $\sigma_i$ ) adalah 1090 kg/cm<sup>2</sup>. Kecepatan angin kritis adalah 60 km/jam, tinggi kritis cerobong adalah 15600 mm, defleksi yang terjadi pada cerobong adalah 76 mm < defleksi yang diijinkan adalah 78 mm. *Bending momoent* adalah 474552 kgcm, momen tahan bengkok adalah 3539 cm<sup>3</sup>, maka *tensile stress* pada cerobong ( $\sigma_c$ ) adalah 134 kg/cm<sup>2</sup> <  $\sigma_i$ . Sambungan antara modul cerobong menggunakan *flange* yang diikat dengan 12 buah baut berdiameter  $\phi \frac{3}{4}$ ". Material baut SA193 *tensile stress* yang diijinkan ( $\sigma_i$ ) adalah 1360 kg/cm<sup>2</sup> dan *shear stress*-nya ( $\tau_i$ ) adalah 962 kg/cm<sup>2</sup>. Jari – jari tusuk ( $r_b$ ) adalah 350 mm dan gaya geser pada masing – masing baut ( $F_b$ ) adalah 1130 kg, luas penampang baut adalah 2 cm<sup>2</sup>, maka *shear stress* ( $\tau_b$ ) adalah 565 kg/cm<sup>2</sup> <  $\tau_i$ . Diameter *flange* adalah 900 mm dan tebal *flange* adalah 18 mm, *flange* mempunyai 12 buah lubang baut berdiameter adalah 20 mm dan *shear stress* yang terjadi pada *flange* ( $\tau_f$ ) adalah 157 kg/cm<sup>2</sup> <  $\tau_i$ . Sambungan antara *flange* dan cerobong menggunakan las, elektroda las yang digunakan tipe FOX EV 50-W dan *tensile stress*-nya adalah 5200 kg/cm<sup>2</sup>, *safety factor* adalah 5, *tensile stress* yang diijinkan ( $\sigma_i$ ) adalah 1040 kg/cm<sup>2</sup> dan *shear stress*-nya ( $\tau_i$ ) adalah 736 kg/cm<sup>2</sup>. Jari – jari bidang las adalah 190 mm, sehingga gaya yang bekerja pada bidang las ( $F_{gl}$ ) adalah 24976.4 kg, luas penampang las ( $A_w$ ) adalah 67.5 cm<sup>2</sup> dan *shear stress* ( $\tau_w$ ) adalah 370 kg/cm<sup>2</sup> <  $\tau_i$ . Dengan demikian, cerobong kuat dan aman menahan termal dan beban angin.

Kata kunci: Cerobong, gas buang, kecepatan angin, kekuatan material, temperatur

### ABSTRACT

An incinerator type is YT – GF CCB 200 to burn domestic waste which its burn capacity is about 200 kg/hour and average waste water content is about 60 %. Flow rate flue gasses out from firing chamber is about 3881.3 kg/hour and its temperature is 900 °C. The flue gasses temperature which flowing inside the chimney is 473 °C, around temperature is 30 °C and average temperature is 251,5 °C < material kind of SA 516 on temperature 329 °C has permissible tensile stress ( $\sigma_i$ ) is 1090 kg/cm<sup>2</sup>. Critical wind velocity is 60 km/hour, critical height of the chimney is 15600 mm, chimney deflection from wind loading is 76 mm < permissible deflection is 78 mm. Bending moment is 474552 kg cm, moment of bending resistance is 3539 cm<sup>3</sup> and tensile stress on the chimney ( $\sigma_c$ ) is 134 kg/cm<sup>2</sup> <  $\sigma_i$ . Connecting between chimney module uses flange is tighten by 12 bolts and its diameter of  $\phi \frac{3}{4}$  inch, Bolt material is carbon steel kind of SA 193 has permissible tensile stress ( $\sigma_{ib}$ ) is 1360 kg/cm<sup>2</sup>, shear stress ( $\tau_{ib}$ ) is 962 kg/cm<sup>2</sup>. Radius of bolt group ( $r_b$ ) is 350 mm and shear force on each bolt is 1130 kg, bolt section area is 2 cm<sup>2</sup> and shear stress on the bolt ( $\tau_b$ ) is 565 kg/cm<sup>2</sup> <  $\tau_{ib}$ . Flange diameter is 900 mm, thick flange is 18 mm, flange has 12 bolt holes which its diameter 20 mm and shear stress on the flange ( $\tau_f$ ) is 157 kg/cm<sup>2</sup> <  $\tau_{if}$ . Connecting between flange and chimney welded, welding electrode which is used by FOX EV 50-W and its tensile stress ( $\sigma_w$ ) is 5200 kg/cm<sup>2</sup>, safety factor 5, permissible tensile stress ( $\sigma_{iw}$ ) is 1040 kg/cm<sup>2</sup>, permissible shear stress ( $\tau_{iw}$ ) is 736 kg/cm<sup>2</sup>. Rdius of welding field ( $r_w$ ) is 190 mm, force who acting welding field is 24976.4 kg, welding section area is 67.5 cm<sup>2</sup> and shear stress who acting on the welding field ( $\tau_w$ ) is 370 kg/cm<sup>2</sup> <  $\tau_{iw}$ . Based analysis result the chimney is strong and safe sustain thermal and wind loading.

Keywords: Chimney, flue gasses, wind velocity, strength of material, temperature

## 1. PENDAHULUAN

Suatu insinerator tipe YT – GF CCB 200 untuk pembakaran sampah domestik yang berasal dari *camp services* di suatu industri gas dan minyak PT.VICO Indonesia di Muara-Badak Kalimantan Timur. Insinerator mempunyai kapasitas bakar 200 kg/jam, kandungan air sampah rata – rata adalah 60 % dan temperatur operasinya adalah 800 – 900 (°C). Sumber panas untuk pembakaran sampah di dalam ruang bakar insinerator berasal dari empat unit *gas burner* dan masing – masing *gas burner* mengkonsumsi bahan bakar *Liquid Natural Gas* (LNG) sebanyak 19 nm<sup>3</sup>/jam. Laju alir gas buang dari hasil pembakaran sampah adalah 3881.3 kg/jam. Untuk mereduksi jumlah partikulat, gas buang dialirkan ke dalam *water scrubber*, sehingga gas buang bersih yang ke luar dari cerobong dan diharapkan dapat memenuhi baku mutu lingkungan.

Selain itu, *water scrubber* ini berfungsi untuk menurunkan temperatur gas buang, agar temperatur operasi pada plat cerobong relatif lebih rendah dari temperatur kritisnya, sehingga umur pakai cerobong lebih tahan lama. Kebutuhan air untuk operasional *water scrubber* ini disuplai oleh suatu pompa yang mempunyai kapasitas 2 m<sup>3</sup>/jam dan tekanan airnya adalah 10 barg. Dengan demikian, temperatur gas buang ke luar dari ruang bakar adalah 900 °C, berdasarkan analisis temperatur gas buang setelah ke luar dari *water scrubber* 500 °C, namun temperatur gas buang dari hasil pengukuran adalah 473 °C dan temperatur lingkungan adalah 30°C, maka temperatur operasi rata – rata plat cerobong adalah 251.5 °C.

Konstruksi cerobong dibuat dari material SA 516 (*carbon steel*), temperatur operasi - 33 sampai 329 °C *tensile stress* yang diijinkan maksimum ( $\sigma_i$ ) adalah 1090 kg/cm<sup>2</sup> dan *shear stress* ( $\tau_i$ ) adalah 842 kg/cm<sup>2</sup>. Temperatur operasi rata – rata plat cerobong adalah 251.5 °C < 329 °C, sehingga *tensile stress* material tersebut adalah 1090 kg/cm<sup>2</sup>. Konfigurasi sambungan antara cerobong menggunakan sambungan las dan sambungan mur-baut. Agar umur pakai cerobong lebih tahan lama perlu diberikan faktor kelelahan las dan juga korosi. Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis konstruksi cerobong ini mempunyai diameter 380 mm, tebal plat cerobong 4 mm dan tinggi cerobong adalah 18000 mm. Agar memudahkan mobilisasi cerobong ke lokasi pemasangan, sehingga konstruksi cerobong dibuat sistem modul, sambungan antara modul cerobong menggunakan sambungan *flange* yang diikat dengan mur-baut. Cerobong tersebut akan dipasang pada insinerator yang dioperasikan di daerah Badak 58. Berdasarkan informasi dari Bagian Meteorologi VICO Indonesia di daerah Badak 58, kecepatan angin rata – rata adalah 905 m/jam atau 0.25 m/detik, namun kecepatan angin dalam analisis desain cerobong adalah 60 km/jam. Cerobong tersebut telah difungsikan secara kontinyu sejak tahun 2006 dan sampai saat ini masih berfungsi dengan baik.

## 2. 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 ( $G_T$ ) adalah 9.44 kg gas/kg sampah  $\cong$  6.66 nm<sup>3</sup>/kg sampah. Dengan demikian, gas buang aktual adalah 11.5 kg gas/kg sampah, maka jumlah gas buang dari suatu proses pembakaran sampah adalah 3794.13 m<sup>3</sup>/jam  $\cong$  3881.3 kg/jam  $\cong$  1.078 kg/det.

### 2.1. Energi Panas

#### 2.1.1. Ruang Bakar Utama

Sampah dapat dibakar secara efektif pada kandungan air sampah adalah 10 %, kandungan air rata – rata sampah adalah 60 % dan *critical moisture content* adalah 100 %, maka massa air yang harus dievaporasikan selama proses pembakaran berlangsung dapat diperoleh 187.5 kg/jam, panas jenis air 4.186 kJ/kg °C dan entalpi penguapan 2256.7 kJ/kg. Jadi kebutuhan panas untuk proses evaporasi adalah 669356.6 kJ/jam  $\cong$  186 kW<sub>h</sub>. Temperatur pembakaran sampah adalah 650 °C dan panas jenisnya 1.8 kJ/kg dan berat sampah pada kandungan air 60 sampai 70 % adalah 337.5 kg. Berat sampah pada kandungan air 10 % diperoleh 150 kg, maka panas yang dibutuhkan untuk pembakaran sampah adalah 46.5 kW<sub>h</sub>, maka total panas yang dibutuhkan untuk pembakaran sampah ( $Q_{ps}$ ) adalah  $\cong$  232.5 kW<sub>h</sub>. Pada ruang bakar utama insinerator ini menggunakan dua unit *burner* yang mempunyai *output* panas 232 kW<sub>h</sub> dan efektifnya hanya digunakan 90 % dari kapasitasnya, sehingga *output* panas masing – masing *gas burner* adalah 208.8 kW, maka total suplai panas pada ruang bakar utama adalah 626.4 kW<sub>h</sub>. Abu yang terbentuk dari pembakaran sampah tersebut sebanyak 2 %, *heating value* sampah rata – rata diperoleh 4136 kJ/kg, maka panas yang diperoleh dari pembakaran sampah adalah 387.8 kW<sub>h</sub>, maka total suplai panas ke ruang bakar ( $Q_{sp}$ ) diperoleh 1014.2 kW<sub>h</sub>. Dengan panas jenis dari gas buang 1.15 kJ/kg °C dan massa gas buang 1.078 kg/det, maka temperatur gas buang dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut :

$$T_{GB} = \frac{Q_{SP} - Q_{PS} + Q_e}{m_g \cdot c_p} + T_{UL} \quad (1)$$

diperoleh 724 °C.

### 2.1.2. Ruang bakar Kedua

Pembakaran sampah di dalam ruang bakar utama terjadi tiga proses yaitu proses evaporasi, proses gasifikasi dan pembakaran sampah menjadi abu. Gas hidrokarbon yang terbentuk di dalam ruang bakar utama antara lain gas metan (CH<sub>4</sub>), gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dan karbon monoksida (CO). Estimasi komposisi gas CH<sub>4</sub> adalah 0.1 % ≈ 3.79413 nm<sup>3</sup>/jam, gas H<sub>2</sub> adalah 0.1 % ≈ 3.79413 nm<sup>3</sup>/jam dan gas CO adalah 1 % ≈ 37.9413 nm<sup>3</sup>/jam. *Heating value* gas CO adalah 11.9 MJ/m<sup>3</sup>, gas H<sub>2</sub> adalah 12.1 MJ/m<sup>3</sup> dan gas CH<sub>4</sub> adalah 90.6 MJ/m<sup>3</sup>. Gas – gas tersebut dialirkan ke dalam ruang bakar kedua dan campur lagi dengan udara, *ratio* masing – masing adalah 9.85 untuk LNG, 9.85 gas CH<sub>4</sub>, 2.4 untuk gas CO, 2.4 untuk gas H<sub>2</sub>, maka total kebutuhan udara pembakaran adalah 137.6 m<sup>3</sup>/jam. Jadi jumlah gas buang terbentuk di dalam ruang bakar kedua diperoleh 3834.66 nm<sup>3</sup>/jam ≈ 1.065 m<sup>3</sup>/det.

Panas yang diperoleh pembakaran gas CO adalah 125.4 kW, panas yang diperoleh pembakaran gas H<sub>2</sub> adalah 12.7 kW dan panas yang diperoleh pembakaran gas CH<sub>4</sub> adalah 95.5 kW, maka total panas yang diperoleh dari pembakaran gas CO, gas H<sub>2</sub> dan gas CH<sub>4</sub> diperoleh 233.6 kW. Kebutuhan panas pada ruang bakar disuplai oleh suatu *gas burner* dan *output* panasnya adalah 208.8 kW, maka total panas yang terbentuk di dalam ruang bakar kedua adalah 1224.1 kW. Jadi temperatur di dalam ruang bakar kedua diperoleh 1029 °C, namun temperatur dibatasi 900 °C dan histerisnya 20 °C, maka temperatur maksimum 920 °C, pada kondisi *burner* pada ruang bakar kedua “OFF” dan pada temperatur 880 °C *burner* pada ruang bakar “ON” kembali.

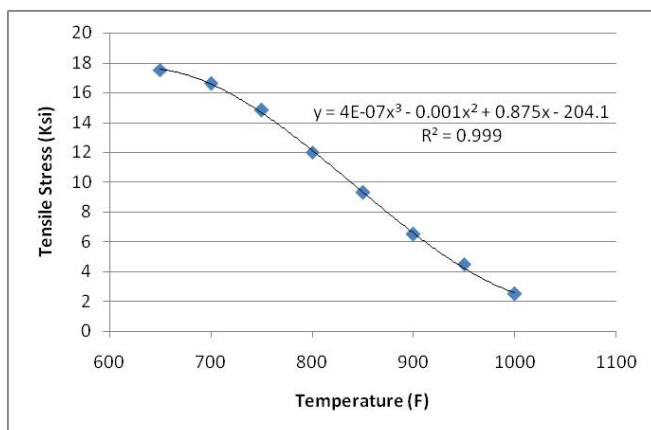
## 2.2. PENGUKURAN GAS BUANG

Metode pengukuran temperatur di ruang bakar utama dan ruang bakar kedua dilakukan pada beban normal, sampah ditimbang terlebih dahulu sebelum diumpankan ke ruang bakar, pengumpanan sampah ke ruang bakar dilakukan secara konstan adalah 50 kg dalam selang waktu sepuluh menit, dan pengukuran waktu menggunakan *stop watch*. Untuk memonitor temperatur masing – masing ruang bakar, maka masing – masing ruang bakar dipasang suatu sensor. Temperatur yang terjadi di dalam ruang bakar utama dan kedua dapat dilihat pada layar monitor panel kontrol dan dicatat selang waktu sepuluh menit. Pengukuran parameter yang diukur masing – masing ruang bakar dilakukan pada kondisi *steady state*. Pengukuran parameter ini dilakukan oleh PT.Corelab dan hasil pengukuran disusun di dalam suatu tabel dan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran emisi gas buang

No	Uraian Pengukuran	Hasil Pengukuran	Satuan Ukur
01	Jenis sampah	organik	–
02	Berat sampah	50	kg
03	Suhu TIC – 1	779	°C
04	Suhu TIC – 2	885	°C
05	Asap	Jernih	–
06	Suhu rata – rata aliran gas	437	°C
07	Tekanan statis rata – rata	761.76	mmHg
08	Kecepatan aliran gas	25.8933	m/s
09	Volume	1.2	Nm <sup>3</sup> /s
10	Fraksi air dalam gas	19.4 x 10 <sup>-6</sup>	-
11	Oksigen O <sub>2</sub> di cerobong	11.35	%
12	Berat molekul aliran gas	29.3118	Kg/mol
13	Efisiensi pembakaran	99.97	%

Pengukuran ini dilakukan pada kondisi bukaan *valve* air yang masuk ke *water scrubber* 50 % dan temperatur aliran gas buang yang terukur di dalam cerobong adalah 473 °C < temperatur aliran gas buang di dalam cerobong yang direncanakan adalah 500 °C. Grafik hubungan *tensile stress* yang diijinkan dari material baja karbon SA 516 dengan temperatur dapat dilihat pada Gambar 1.

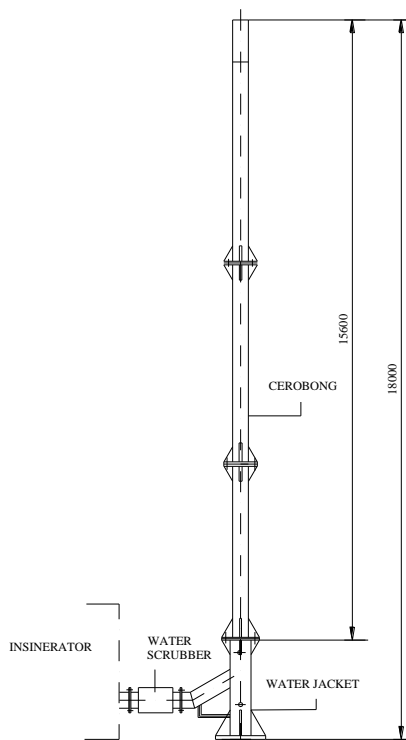


Gambar 1. Grafik temperature vs tensile stress

### 3. CEROBONG

#### 3.1. Konfigurasi Cerobong

Lokasi insinerator pada daerah terbuka dan tidak jauh dari panatai, sehingga angin pada daerah tersebut dapat diasumsikan pada kondisi kecepatan laminar dan beban yang terjadi pada *body* cerobong merupakan beban merata. Momen yang paling besar yang diterima konstruksi cerobong adalah pada sambungan *flange* modul cerobong kedua, sehingga dapat dipakai sebagai dasar analisis kekuatan konstruksi. Ukuran mur-baut yang digunakan adalah WW 3/4" dan jumlahnya adalah 12 buah. *Flange* dibuat dari material yang sama dengan plat cerobong adalah SA 516, agar supaya tidak terjadi deformasi pada saat pengelasan, maka tebal *flange* yang digunakan adalah 18 mm. Sambungan antara *body* cerobong dan *flange* menggunakan sambungan las listrik dan elektroda yang dipakai adalah jenis FOX EV 50-W, diameter elektroda 3.2 mm dan arus yang digunakan 80 – 140 (Amp). Konstruksi cerobong dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konstruksi cerobong

### 3.2. Pemeriksaan Kekuatan

Kecepatan angin maksimum ( $v_{\text{mak}}$ ) adalah 60 km/jam atau 16.67 m/det, densitas udara ( $\rho_u$ ) pada temperatur 30 °C adalah 1.1774 kg/m<sup>3</sup>, tinggi cerobong kritis ( $h_c$ ) adalah 15.60 m, luas penampang efektif cerobong ( $A_{\text{cr}}$ ) adalah 9.3 m<sup>2</sup>, maka gaya tekan angin ( $P_w$ ) adalah 36.88 kg/m<sup>2</sup>. Modulus elastisitas baja ( $E$ ) adalah 2.100.000 kg/cm<sup>2</sup>, momen inersia ( $I$ ) adalah 8993 cm<sup>4</sup>. Jari – jari cerobong ( $R_{\text{cr}}$ ) adalah 19 cm > 10 tebal (4 cm), maka defleksi maksimum akibat beban angin ( $y_{\text{mak}}$ ) dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$Y_{\text{mak}} = \frac{P_w \cdot DH \sqrt{2H}}{8EI} \quad (2)$$

adalah 76 mm < defleksi yang diijinkan ketinggian cerobong 1560 cm adalah 78 mm. *Bending moment* pada cerobong adalah 474552 kgcm, momen tahan bengkok cerobong adalah 3539 cm<sup>3</sup>, maka *tensile stress* yang terjadi pada cerobong ( $\sigma_c$ ) adalah 134 kg/cm<sup>2</sup> <  $\sigma_i$ . Sambungan antara modul cerobong menggunakan *flange* yang diikat dengan 12 buah mur-baut berdiameter  $\phi \frac{3}{4}$ ". Material mur-baut SA193 (*carbon steel*) *tensile stress* maksimum ( $\sigma_i$ ) yang diijinkan 1360 kg/cm<sup>2</sup>, *shear stress* yang diijinkan ( $\tau_i$ ) adalah 962 kg/cm<sup>2</sup>. Jari – jari girasi ( $r_g$ ) adalah 350 mm dan gaya geser pada masing – masing baut ( $F_b$ ) adalah 1130 kg, luas penampang baut adalah 2 cm<sup>2</sup>, maka *shear stress* ( $\tau_b$ ) adalah 565 kg/cm<sup>2</sup> <  $\tau_i$ . Diameter *flange* adalah 900 mm, tebal *flange* adalah 18 mm dan mempunyai 12 lubang baut dan masing – masing berdiameter 20mm. *Shear stress* yang terjadi pada *flange* ( $\tau_f$ ) adalah 157 kg/cm<sup>2</sup> <  $\tau_i$ . Elektroda las yang digunakan tipe FOX EV 50-W dan *tensile stress* adalah 5200 kg/cm<sup>2</sup>, *safety factor* adalah 5, *tensile stress* yang diijinkan ( $\sigma_i$ ) adalah 1040 kg/cm<sup>2</sup> dan *shear stress* ( $\tau_i$ ) adalah 736 kg/cm<sup>2</sup>. Jari – jari bidang las adalah 190 mm, gaya pada bidang las ( $F_{gl}$ ) adalah 24976.4 kg, luas penampang las ( $A_w$ ) adalah 67.5 cm<sup>2</sup>, maka *shear stress* ( $\tau_w$ ) adalah 370 kg/cm<sup>2</sup> <  $\tau_i$ . Dengan demikian, cerobong kuat dan aman menahan termal dan beban angin.

### 5. ANALISIS DAN DISKUSI

Hasil analisis laju gas buang adalah 1.065 nm<sup>3</sup>/det dan temperaturnya adalah 500 °C, namun hasil pengukuran laju gas buang adalah 1.2 nm<sup>3</sup>/det atau 12.7 % lebih besar dari hasil analisis, temperatur hasil pengukuran adalah 473 °C atau 10.5 % lebih rendah dari temperatur hasil analisis. Dengan jumlah energi panas yang tersedia sama, laju gas gas hasil pengukan > laju gas buang hasil analisis, maka temperatur gas buang pengukuran < temperatur gas buang hasil analisis. Faktor terjadinya selisih antara hasil pengukuran dan hasil analisis yaitu pengambilan *excess air* terlalu rendah, kandungan air sampah lebih besar dari 60 % dan *heating value* dari sampah tidak sama.

Temperatur rata – rata hasil analisis adalah 265 °C > temperatur rata – rata hasil pengukuran 251.5 °C, karena material SA 516 pada temperatur – 33 °C sampai 329 °C *tensile stress* yang diijinkan adalah 1090 kg/cm<sup>2</sup>. Dengan demikian, temperatur hasil pengukuran (251.5 °C) < temperatur hasil analisis (265 °C) < temperatur uji (329 °C), maka maksimum *tensile stress* yang diijinkan adalah 1090 kg/cm<sup>2</sup>. Dengan adanya *water scrubber* yang dipasang sebelum cerobong, sehingga terjadi penurunan temperatur gas buang yang cukup signifikan, maka temperatur aliran gas buang di dalam cerobong tidak mempunyai dampak negatif terhadap kekuatan material cerobong.

Cerobong dibuat sistem modul untuk memudahkan mobilisasi ke lokasi, modul pertama dibuat *water jacket* yang mempunyai diameter 500 mm, celah untuk aliran air adalah 60 mm dan tebal plat 3 mm. Diameter cerobong adalah 380 mm, tingginya adalah 18000 mm dan tebal platnya adalah 4 mm. Cerobong modul pertama mempunyai plenum berdiameter 300 mm dan diameter *jacket* nya adalah 380 mm dan disambungkan ke *body* insinerator, sehingga yang paling kritis menahan beban angin adalah sambungan antara modul pertama dan kedua yang mempunyai ketinggian adalah 15600 mm. Kecepatan angin maksimum adalah 60 km/jam, defleksi maksimum yang terjadi adalah 76 mm < defleksi yang yang diijinkan adalah 78 mm, untuk konstruksi cerobong  $\sigma_i > \sigma_c$ . *Flange* dibuat dari material SA 516 mampu menahan *shear stress* karena  $\tau_i > \tau_f$ . Baut dibuat dari material jenis SA 193 yang mempunyai maksimum *tensile stress* yang diijinkan adalah 1360 kg/cm<sup>2</sup> dan hasil analisis adalah  $\tau_i > \tau_b$ . Elektroda las digunakan FOX EV 50-W hasil analisis adalah  $\tau_i > \tau_w$ .

Cerobong ini sudah difungsikan secara penuh sejak tahun 2006 dan sampai saat masih berdirinya kokoh dan masih berfungsi dengan baik. Temperatur operasi rata – rata plat cerobong adalah 233.5 °C < temperatur kritis serangan korosi adalah 367 °C, namun lokasi insinerator kira – kira 6 km dari pantai, kandungan garam di dalam udara tinggi, maka fisik cerobong berkarat. Dengan demikian, material yang digunakan untuk cerobong yang dioperasikan di daerah yang udaranya mempunyai kandungan garam tinggi perlu menggunakan material jenis *alloyed steel* misalnya AISI 304 atau AISI 316 tergantung pada kondisi lingkungan dan jenis zat yang terkandung di dalam gas buang.

## 5. KESIMPULAN

- a. Temperatur gas buang yang mengalir di dalam cerobong adalah 473 °C dan temperatur rata – rata plat cerobong adalah 251.5 °C, sehingga pengaruh temperatur operasi terhadap material cerobong tidak signifikan karena temperatur yang terjadi ( $T_g$ ) <  $T_i$ , dan  $\sigma_i$  >  $\sigma_k$ , maka konstruksi cerobong kuat menahan beban dari angin dan termal.
- b. Konstruksi cerobong dari material jenis SA 516 tidak cocok dipakai di daerah yang udaranya mengandung garam dan asam, sehingga menimbulkan karat pada material tersebut, sebaiknya material cerobong yang digunakan dari material *alloyed steel* misalnya AISI 304 atau AISI 316.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1) Ineropera . Frank P, (1976), *Introduction to Heat Transfer*, Third Edition, Jhon Willey & Son, New York
- 2) Moran.Michale J,Shapiro.Howard N, (2000), *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, Fourth Edition,John Willey&Son,Inc, New York
- 3) Kreith Frank,(1991), *Principles of Heat Transfer*, Second Edition,Harper & Row, Publisher, Inc,
- 4) Fax.Robert W, (1976), *Introduction to Fluid Mechanics*, Fourth Edition, Jhon Willey & Son, Inc, New York
- 5) Holman J.P, (1981),” *Heat Transfer*” Fith edition McGraw – Hill International Company
- 6) Shigley.Joseph R, Mischke. Charles R, 2001, *Mechanical Engineering Design*, Published by McGraw-Hill Book Compony Inc.1221 Avenue of the Americas, New York, NY 10020.
- 7) Anonim, *Bejana Tekanan I – A ,SII. 2203-67*
- 8) Anonim, *Welding Guide*,D-4000 Düsseldorf 11,P.O.Box 11 02 46
- 9) Buthod Paul, Mergyesy.Eugene F, *Pressure Vessel Handbook*,Pressure Vessel Handbook Publishing Inc, Sixth Edition, P.O. Box 35365,Tulsa, OK 74153.