

## Modifikasi Rancangan Incinerator Gas Asam

Ihsan Saputra\*

Politeknik Negeri Batam  
Mechanical Engineering study Program  
Parkway Street, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia  
E-mail: ihsan@polibatam.ac.id

### Abstrak

Incinerator digunakan untuk membakar gas asam menjadi gas-gas yang tidak berbahaya sehingga tidak mencemari lingkungan. Dari hasil pengukuran dilapangan didapat temperatur casing beberapa peralatan telah melewati batas maksimum temperatur yang diizinkan sehingga akan merusak material casing. Selain itu dikarenakan tingginya temperatur di casing ini, rugi-rugi panas yang terjadi akan besar dan berakibat pada pemborosan energi. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja termal incinerator suatu pabrik LNG dan memperbaikinya agar sesuai dengan persyaratan teknis yang umum berlaku seperti kualitas gas hasil pembakaran, temperatur dinding peralatan, efisiensi proses dan kehandalan serta kemudahan perawatannya.

**Kata Kunci:** Incinerator, gas asam

### Abstract

*Incinerator is used to burn the acid gas into gases that are not pollute the environment. From the results obtained in the field measurements of temperature casing some of the equipment has passed the maximum permissible temperature that would damage the casing material. In addition due to the high temperatures in this case, the heat losses will occur and result in a huge loss of energy. Main objective of this study was to evaluate the thermal performance of an LNG plant incinerator and fix it so that in accordance with the technical requirements that apply generally like the quality of combustion gases, the temperature of the walls of the equipment, process efficiency and reliability as well as ease of maintenance.*

**Keyword:** Incinerator, acid gas

### 1. Pendahuluan

Beberapa tahun belakangan, isu lingkungan mendapat perhatian komunitas internasional yang berdampak dikeluarkan peraturan untuk mengontrol dan mengurangi ancaman polusi ke lingkungan. Isu lingkungan ini melatarbelakangi perusahaan untuk mengontrol polusi udara. Salah satu polusi udara yang berbahaya bagi lingkungan adalah *acid gas* yang merupakan produk sampingan dalam pembuatan LNG. *Acid gas* ini perlu diubah menjadi gas-gas yang tidak berbahaya bagi lingkungan dengan cara membakarnya. Komposisi gas asam yang diizinkan di udara setelah dibakar ini di atur dalam peraturan pemerintah No.41 tahun 1999 [1].

Proses reaksi pembakaran ini terjadi dalam incinerator dan menghasilkan gas buang CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan zat lainnya. Panas gas buang ini masih dapat dimanfaatkan sebagai pemanas mula udara pembakaran dan gas asam. Untuk memanfaatkan gas buang ini digunakan *heat exchanger* dimana terdapat dua jenis *heat exchanger* yang digunakan pada peralatan ini yaitu *air preheater* (APH) dan *acid gas preheater* (AGPH).

Sistem pembakaran gas asam harus dirancang agar memenuhi berbagai kriteria antara lain temperatur dinding tidak terlalu tinggi, efisien dalam pemakaian energi, handal dan awet, dan mudah dirawat. Dari hasil pengukuran dilapangan didapat temperatur casing beberapa peralatan telah melewati batas maksimum temperatur yang diizinkan sehingga tidak memenuhi kriteria rancangan yang diinginkan.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja termal incinerator suatu pabrik LNG dan memperbaikinya agar sesuai dengan persyaratan teknis yang umum berlaku antara lain kualitas gas hasil pembakarannya, temperatur dinding peralatan, efisiensi proses dan kehandalan serta kemudahan perawatannya.

### 2. Landasan Teori

Gas asam dibakar di incinerator dengan menggunakan gas alam sebagai bahan bakarnya. Reaksi pembakaran di incinerator ini disimulasi dengan menggunakan software *computational fluid dynamic* (CFD). Simulasi

menjadi sangat penting karena dapat mengurangi biaya dan waktu.

Pemodelan proses pembakaran melibatkan banyak persamaan matematika diferensial parsial. Untuk menyederhanakan persamaan matematika diferensial digunakan metode numerik yaitu metode perhitungan aproksimasi persamaan diferensial dengan persamaan aritmatika biasa atau persamaan diskrit yang mudah diselesaikan dan menghasilkan solusi aproksimasi pada titik-titik diskrit. Penyelesaian metode numerik dapat dilakukan dengan berbagai metode, yaitu metode *finite-difference*, *finite-element*, dan *finite-volume*.

Pada simulasi numerik, persamaan kekekalan masa dan momentum, kekekalan energi, dan lain-lain diselesaikan dengan perhitungan secara iterasi. Hasil perhitungan iterasi terakhir,  $\phi_{n+1}$ , diperoleh apabila hasil iterasi menunjukkan nilai yang konvergen, yaitu ketika nilai residu,  $\zeta$ , mendekati nol:

$$\zeta = \phi_{n+1} - \phi_n \approx 0 \quad (1)$$

Persamaan kekekalan masa (kontinuitas), kekekalan momentum, dan kekekalan energi yang digunakan pada simulasi numerik ini diformulasikan pada persamaan (2), (3), dan (4) sebagai berikut:

Persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \cdot u_i) = S_m \quad (2)$$

Persamaan kekekalan momentum :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \cdot u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \cdot u_i \cdot u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial T_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (3)$$

Persamaan kekekalan energi :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \cdot E) + \frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho \cdot E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_i} (k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j J_j) + S_h \quad (4)$$

Pada simulasi ini, model turbulensi yang digunakan adalah model  $k$  &  $\omega$  dan untuk model radiasi digunakan model P1.

Dengan menggunakan hasil simulasi reaksi pembakaran dilakukan evaluasi kinerja termal pada peralatan pembakaran gas asam. Dari evaluasi ini akan diperoleh besar rugi-rugi panas dan temperatur *casing* peralatan. Besar rugi-rugi panas dan temperatur *casing* ini dipengaruhi oleh pemilihan isolasi. Isolasi yang sesuai dapat mengurangi besarnya rugi-rugi panas ke lingkungan dan membatasi temperatur permukaan *casing* incinerator. Salah satu contoh material isolator yang umum dipakai untuk bahan isolasi dinding incinerator adalah castable dan bata tahan api [2].

Untuk evaluasi kinerja termal di incinerator digunakan teori perpindahan panas. Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya rugi-rugi panas di incinerator dirumuskan pada persamaan (5):

$$q = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,5}}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_{D,1}} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_{eff} L} + \frac{\ln(r_5/r_4)}{2\pi k_C L} + \frac{1}{2\pi r_5 L h_{D,5}}}$$

Pada sisi terluar casing, perpindahan panas terjadi melalui konveksi bebas.

Persamaan konveksi bebas ini diformulasikan oleh Churchill dan Chu sebagai berikut [3].

$$\overline{Nu}_D = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (6)$$

Panas gas buang hasil pembakaran masih dapat dimanfaatkan sebagai pemanas mula udara pembakaran dan gas asam. Untuk merancang pemanas mula ini diperlukan data sebagai berikut; kapasitas penukar kalor, perbedaan temperatur rata-rata, laju aliran fluida, dan sifat fisik fluida.

Jika data – data seperti yang disebutkan sebelumnya telah diketahui, koefisien perpindahan panas keseluruhan dapat dihitung dengan persamaan berikut [4].

$$U = \frac{1}{(1/h_{inner}) + (1/h_{outer})} \quad (7)$$

Dengan menggunakan nilai koefisien perpindahan panas ini, luas permukaan perpindahan panas diperoleh dengan persamaan berikut.

$$A = \frac{Q}{FU\Delta T_{lm}} \quad (8)$$

Untuk geometri penukar kalor berupa kumpulan pipa (tube bundle), jumlah pipa yang digunakan didapat dengan persamaan (9).

$$N = \frac{A}{\pi DL} \quad (9)$$

Temperatur *casing* penukar kalor harus memenuhi kriteria rancangan dimana temperatur *casing* tidak boleh melebihi temperatur maksimum material *casing* sehingga tidak merusak material *casing*. Temperatur *casing* ini dievaluasi dengan persamaan (10).

$$q_s = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\frac{1}{h_{1A}} + \frac{L_A}{k_{AA}} + \frac{L_B}{k_{BA}} + \frac{L_C}{k_{CA}} + \frac{1}{h_{4A}}} \quad (10)$$

Perpindahan panas dari casing penukar kalor ke lingkungan sekitar terjadi melalui konveksi bebas dimana persamaan konveksi bebas untuk pelat vertikal dan horizontal diformulasikan oleh Churchill dan Chu pada persamaan (11) dan (12) [5].

Pelat horizontal:

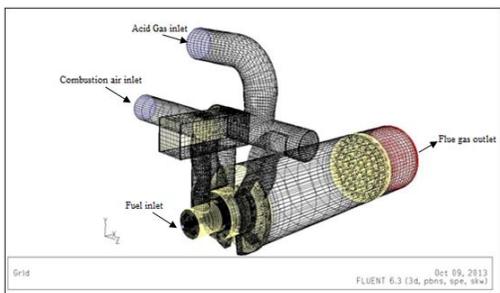
$$\overline{Nu}_L = 0,27 Ra_L^{1/4} \quad (11)$$

Pelat vertikal :

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{(1 + (0,492/Pr)^{9/16})^{8/27}} \right\}^2 \quad (12)$$

### 3. Evaluasi rancangan incinerator

Sebelum melakukan simulasi, geometri incinerator dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang saling berkesinambungan (*grid meshing*). Setiap elemen digunakan untuk tempat menerapkan persamaan-persamaan konservasi. Hasil meshing untuk incinerator ditampilkan pada gambar berikut.



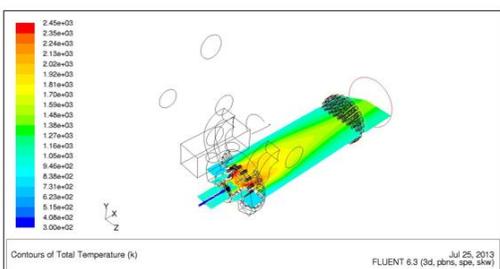
Gambar 1 Geometri incinerator setelah dilakukan meshing

Kondisi batas yang digunakan pada simulasi reaksi pembakaran ini ditampilkan pada tabel berikut.

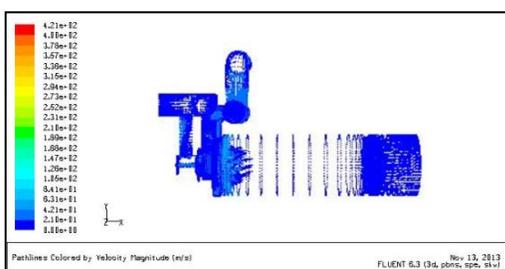
Tabel.1 Kondisi batas pada simulasi reaksi pembakaran

| Parameter           | Tipe kondisi batas | Besar parameter   |
|---------------------|--------------------|---|
| Bahan bakar         | inlet              | Laju aliran = 0,76 kg/s<br>Temperatur = 27 °C<br>Komposisi :<br>CH <sub>4</sub> (83,96 mol%)<br>C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (1,10 mol%)<br>CO <sub>2</sub> (12,18 mol%)<br>N <sub>2</sub> (2,12 mol%) |
| Gas Asam            | inlet              | Laju aliran = 54,22 kg/s<br>Temperatur = 550 °C<br>Komposisi :<br>CO <sub>2</sub> (100 mol%)  |
| Udara Pembakaran    | inlet              | Laju aliran = 16,46 kg/s<br>Temperatur = 700 °C<br>Komposisi :<br>N <sub>2</sub> (75 mol%)<br>O <sub>2</sub> (19,9 mol%)<br>H <sub>2</sub> O (4,8 mol%)   |
| Sisi keluar         | outlet             | Tekanan = 0 Pa  |
| Dinding incinerator | Wall               | Heat flux = 0 W/m <sup>2</sup><br>Heat generation rate = 0 W/m <sup>3</sup>   |
| Dinding ducting     | Wall               | Heat flux = 0 W/m <sup>2</sup><br>Heat generation rate = 0 W/m <sup>3</sup>   |

Dengan menggunakan model geometri dan kondisi batas seperti dijelaskan sebelumnya dari simulasi didapat distribusi temperatur dan variasi kecepatan seperti ditampilkan pada Gambar 2 dan 3 berikut.



Gambar 2 Distribusi temperatur pada potongan melintang incinerator



Gambar 3 Variasi kecepatan pada incinerator

Selain itu, komposisi gas buang hasil pembakaran dari hasil simulasi ditampilkan pada Tabel.2

Tabel.2 Komposisi gas buang hasil simulasi reaksi pembakaran

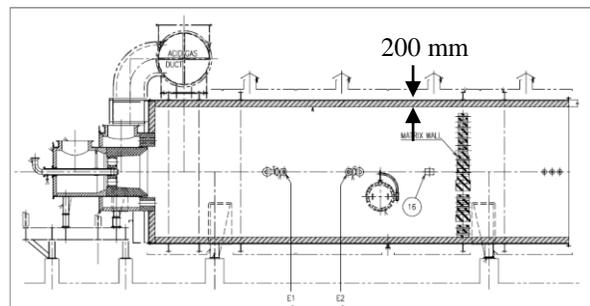
| Parameter        | Nilai (% mol) |
|------------------|---------------|
| CO <sub>2</sub>  | 67            |
| H <sub>2</sub> O | 3             |
| N <sub>2</sub>   | 26,7          |
| O <sub>2</sub>   | 3,3           |

Dengan menggunakan hasil simulasi didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

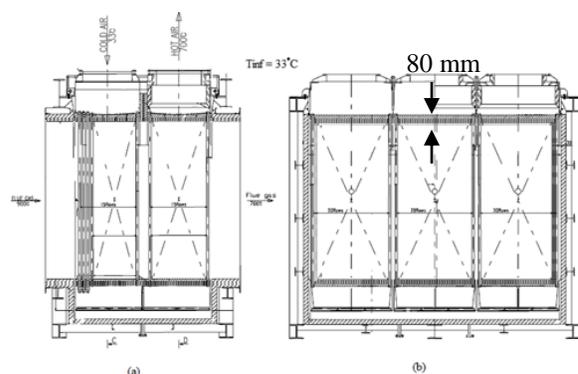
- Temperatur dinding dalam ducting untuk udara pembakaran adalah antara 680-700 °C.
- Temperatur dinding dalam ducting gas asam adalah dalam rentang 520-545 °C
- Temperatur dinding dalam incinerator adalah dalam rentang 790-820 °C.
- Temperatur gas buang keluar Incinerator adalah dalam rentang 890-910 °C.
- Variasi kecepatan aliran gas antara 0 m/s – 21 m/s.
- Komposisi rata-rata gas buang yaitu 67% CO<sub>2</sub>, 3% H<sub>2</sub>O, 26,7% N<sub>2</sub>, dan 3,3% O<sub>2</sub>.

Dengan menggunakan hasil simulasi sebagai acuan, temperatur casing peralatan seperti incinerator, air preheater, dan acid gas preheater dapat dievaluasi.

Geometri incinerator, air preheater, dan acid gas preheater yang akan dievaluasi temperaturnya ditampilkan pada Gambar 4, 5, dan 6 sebagai berikut.

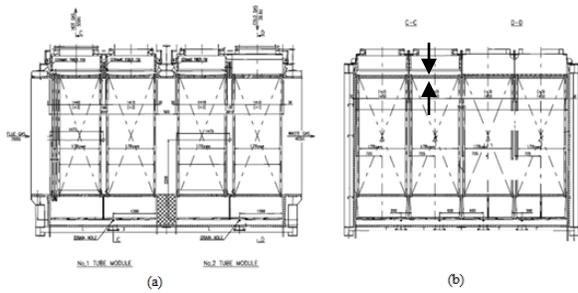


Gambar 4 Tampak samping incinerator



Gambar 5 Tampak samping pemanas mula udara pembakaran

40 mm



Gambar 6 Tampak samping pemanas mula gas asam

Hasil evaluasi temperatur dan rugi-rugi panas untuk rancangan *existing* ini ditampilkan pada Tabel.2.

Tabel.2 Hasil perhitungan temperatur peralatan sistem pembakaran gas asam

| No | Komponen                       | Temperatur permukaan (°C)          |   |
|----|--------------------------------|------------------------------------|---|
|    |                                | Maksimum temperatur yang diizinkan | Temperatur permukaan dari hasil perhitungan |
| 1  | Secondary air casing           | 250                                | 290 - 305                                   |
| 2  | Casing rain shield Incinerator | 250                                | 147 - 152                                   |
| 3  | Casing APH                     | 250                                | 320 - 328                                   |
| 4  | Casing AGPH                    | 250                                | 265 - 275                                   |

Hasil evaluasi ini perlu diperiksa kebenarannya dengan cara membandingkan dengan hasil pengukuran dilapangan. Perbandingan hasil perhitungan dan hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel.3.

Tabel.3 Perbandingan temperatur hasil perhitungan dan pengukuran.

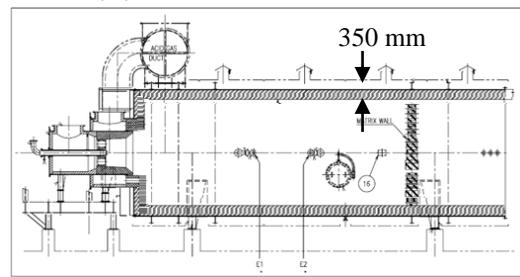
| No | Komponen                       | Temperatur permukaan (°C) |                  |
|----|--------------------------------|---------------------------|------------------|
|    |                                | Hasil perhitungan         | Hasil pengukuran |
| 1  | Secondary air casing           | 290 - 305                 | 342 - 464        |
| 2  | Casing rain shield Incinerator | 147 - 152                 | 126 - 182        |
| 3  | Casing APH                     | 320 - 328                 | 187-397          |
| 4  | Casing AGPH                    | 265 - 275                 | 241-261          |

Dari perbandingan didapat bahwa hasil perhitungan mendekati hasil pengukuran sehingga hasil perhitungan dapat mewakili pengukuran dilapangan.

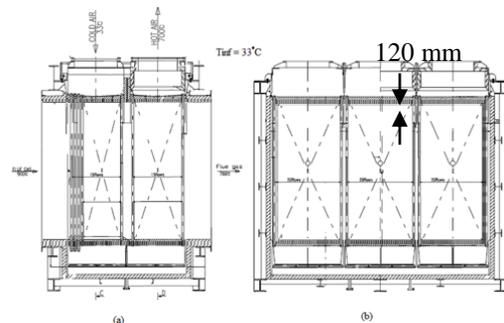
#### 4. Perbaikan rancangan incinerator

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja termal sistem pembakaran gas asam, beberapa peralatan telah melewati batasan kriteria rancangan yang diizinkan seperti temperatur casing terlalu tinggi sehingga perlu dilakukan perbaikan. Contoh perbaikan yang dilakukan pada komponen peralatan ini adalah penggantian material isolasi dan penambahan ketebalan material isolasi. Material isolasi dipilih material dengan konduktivitas termal rendah yaitu LWI-20 ( $k = 0.291 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ).

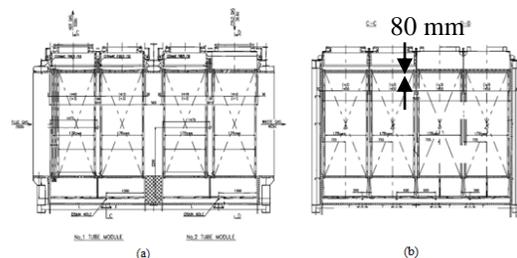
Ketebalan isolasi untuk masing-masing peralatan ditambah seperti ditampilkan pada Gambar 7,8, 9 berikut.



Gambar 7 Isolasi incinerator ditambah jadi 350 mm



Gambar 8 Isolasi pemanas mula udara pembakaran ditambah jadi 120 mm



Gambar 9 Isolasi pemanas mula gas asam ditambah jadi 80 mm

Dengan menggunakan perbaikan diatas, temperatur casing rancangan yang baru ditampilkan pada Tabel.4 berikut.

Tabel.4 Hasil perhitungan temperatur peralatan sistem pembakaran gas asam setelah dilakukan perbaikan

| No | Komponen                       | Temperatur permukaan (°C)          |   |
|----|--------------------------------|------------------------------------|---|
|    |                                | Maksimum temperatur yang diizinkan | Temperatur permukaan dari hasil perhitungan |
| 1  | Secondary air casing           | 250                                | 132-137                                     |
| 2  | Casing rain shield Incinerator | 250                                | 80-82                                       |
| 3  | Casing APH                     | 250                                | 240-247                                     |
| 4  | Casing AGPH                    | 250                                | 235-244                                     |

#### 5. Kesimpulan

Hasil evaluasi rancangan *existing* menunjukkan temperatur casing peralatan pembakaran gas asam telah melewati batas kriteria rancangan yang diizinkan sehingga perlu dilakukan perbaikan. Perbaikan yang dilakukan berupa penggantian material isolasi dan penambahan ketebalan isolasi. Material isolasi diganti jadi material LWI-20 yang memiliki konduktivitas termal rendah yaitu  $k = 0,291 \text{ W/m}^2.\text{K}$  sedangkan ketebalan isolasi

ditambah seperti ditampilkan pada Tabel.5 berikut.

Tabel.5 Perbandingan tebal isolasi sebelum dan setelah dilakukan perbaikan

| Isolasi                   | Tebal isolasi rancangan sebelumnya (mm) | Tebal isolasi setelah dilakukan perbaikan (mm) |
|---------------------------|---|--|
| Ruang bakar               | 200                                     | 350  |
| <i>Air preheater</i>      | 80                                      | 120  |
| <i>Acid gas preheater</i> | 40                                      | 80   |

Perbandingan hasil evaluasi rancangan yang baru dengan rancangan yang lama ditampilkan pada Tabel.6 berikut.

Tabel.6 Perbandingan temperatur sebelum dan setelah dilakukan perbaikan

| No | Komponen                              | Temperatur permukaan (°C) |                |
|----|---------------------------------------|---------------------------|----------------|
|    |                                       | Rancangan existing        | Rancangan baru |
| 1  | <i>Secondary air casing</i>           | 290 - 305                 | 132-137        |
| 2  | <i>Casing rain shield Incinerator</i> | 147 - 152                 | 80-82          |
| 3  | <i>Casing APH</i>                     | 320 - 328                 | 240-247        |
| 4  | <i>Casing AGPH</i>                    | 265 - 275                 | 235-244        |

Dari Tabel.6 dapat disimpulkan dengan menggunakan perbaikan berupa penggantian material isolasi dan penambahan ketebalan isolasi, temperatur *casing* peralatan telah memenuhi kriteria temperatur yang diizinkan untuk material *casing* berupa *carbon steell* yaitu sebesar 250°C.

## Daftar Pustaka

- [1] Peraturan pemerintah no.41 (1999): *Pengendalian Pencemaran Udara*, Republik Indonesia.
- [2] Niessen, Walter R. (2002): *Combustion and Incineration Processes*, Marcel Dekker, New York.
- [3] Incropera, F.P., and Dewitt, D.P. (1998) : *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, New York.
- [4] Hewitt, G.F., Shires, G.L., Bott, T.R. (2000): *Process Heat Transfer*, Begell House inc, New York
- [5] Tieszen, S., Ooi, A., Durbin, P., and Behnia, M. (1998): *Modeling of Natural Convection heat Transfer*. Center for turbulence research.