



## **PENENTUAN DISTRIBUSI SIFAT PADA *FURNACE BOILER* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP**

### ***DETERMINATION OF PROPERTIES DISTRIBUTION IN THE STEAM POWER PLANT FURNACE BOILER***

Fardin Hasibuan

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan  
Jln. Pahlawan No. 99 Batu Aji Kota Batam, Indonesia  
*E-mail: fardin@yahoo.com*

#### **Abstrak**

Listrik merupakan kebutuhan rakyat yang wajib disediakan oleh negara. Salah satu subsistem dalam menghasilkan tenaga listrik adalah proses pembangkitan tenaga listrik. Listrik dapat dihasilkan dengan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap, Hidro, Gas, Panas Bumi, dll. Pembangkit Listrik Tenaga Uap Lati merupakan salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara. Lati Coal-Fired Power Plan harus beroperasi secara konsisten dan efisien sehingga pelayanan listrik ke konsumen dapat dilakukan setiap saat. Salah satu peralatan utama pada pembangkit listrik adalah boiler dan salah satu komponen boiler adalah evaporator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran properti pada tungku boiler pada PLTU Lati Coal-Fired Power Plan. Tesis ini juga dalam rangka membantu pola operasional yang paling efisien. Penentuan distribusi simulasi tersebut divalidasi dengan hasil pengukuran di lapangan sehingga diketahui tingkat akurasi model ini. Penentuan distribusi tersebut menunjukkan adanya penyimpangan antara hasil simulasi dengan pengukuran sebesar 3%. Pengoperasian pembebanan memberikan 75% lebih efisien dibandingkan beban 50%.

Kata kunci: PLTU Batubara; Distribusi properti; CFD, Beban; Efisien

#### *Abstract*

*Electricity is a people's need that must be provided by the state. One of the subsystems in generating electricity is the process of generating electricity. Electricity can be generated using Steam, Hydro, Gas, Geothermal, etc. Lati Steam Power Plant is one of the Coal Steam Power Plants. The Lati Coal-Fired Power Plan must operate consistently and efficiently so that electricity services to consumers can be carried out at any time. One of the main equipment in the power plant is the boiler and one of the components of the boiler is the evaporator. This research aims to determine the property distribution of the boiler furnace in the Lati Coal-Fired Power Plan PLTU. This thesis is also in order to assist the most efficient operational pattern. The determination of the simulation distribution is validated with the results of measurements in the field so that the accuracy of this model is known. The determination of the distribution shows that there is a deviation between the simulation results and measurements of 3%. Loading operation provides 75% more efficiency than 50% load.*

*Keywords: Coal Power Plant; Property distribution; CFD, Expenses; Efficient*

## **PENDAHULUAN**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan aplikasi teknologi yang sudah banyak dipakai untuk sistem pembangkit listrik di Indonesia.

Sistem pembakaran PLTU Lati menggunakan *boiler stoker* untuk pembakarannya, dengan bahan bakar batu bara. Kualitas batu bara, diukur mengacu standard ASTM, sebagai berikut:

Nilai kalor gross	: 4.800 kcal/kg
<i>Total Moisture</i>	: 25,60 %
<i>Ash Content</i>	: 7 %
<i>Sulphur Content</i>	: 1 %
<i>Volatile Matter</i>	: 33,01 %
<i>Fixed Carbon</i>	: 35,07 %

Proses pembangkitan listrik dimulai dari pembakaran batu bara. Batu bara dari tempat penimbunan (*stock yard*) ditransportasikan menggunakan *belt conveyor* dan ditampung di *coal bunker*, dengan gaya gravitasi batu bara yang berada di *coal bunker* masuk ke ruang bakar dengan menggunakan *stoker*, laju batu bara yang masuk ke ruang bakar diatur dengan menggunakan pengaturan pada *stoker* tersebut.

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui distribusi sifat berupa besar kecepatan, tekanan dan temperatur yang terjadi pada dinding boiler berdasarkan pemodelan dan simulasi.
2. Membandingkan hasil pemodelan dengan kondisi di lapangan sehingga didapat keakuratan pemodelan tersebut.

Batasan penelitian sebagai berikut:

1. Pemodelan dan simulasi dilakukan dengan bantuan perangkat *Computational fluid dynamic* (CFD) Fluent 6.2.16 yang termasuk bersamanya program Gambit 2.2.30.
2. Dari dua aliran fluida yang ada pada boiler, air dan gas buang, yang dijadikan komponen pemodelan.
3. Sumber data pemodelan diambil pada kondisi pembebanan PLTU 75 %.

#### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode yang dilaksanakan dalam beberapa tahap, yaitu:

1. Pelaksanaan Pemodelan sistem

Melakukan pemodelan dan pendefinisian sistem menggunakan perangkat Gambit 2.2.30.

2. Pelaksanaan Simulasi

Melakukan simulasi proses untuk mendapatkan sifat-sifat menggunakan perangkat fluent 6.2.16.

3. Pemberian Interpretasi

Memberikan interpretasi terhadap hasil yang diperoleh dari hasil simulasi.

4. Pengambilan Kesimpulan

Mengambil kesimpulan terhadap analisis yang telah dilakukan.

5. Melakukan pemodelan ulang dengan mengubah kondisi operasi

Pemodelan ulang dilakukan dengan mengubah kondisi operasi pada pembebanan 50 % kapasitas.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Boiler atau ketel uap merupakan salah satu komponen pada sistem pembangkit listrik tenaga uap, yang berfungsi memproduksi uap air. Uap air ini selanjutnya akan digunakan sebagai fluida penggerak turbin uap. Pada boiler terdapat bagian-bagian pemanas, yaitu: *economizer*, *drum*, *furnace* (ruang bakar), *super heater*, *reheater*. Pada thesis ini topik kajian yaitu pada bagian *furnace* (ruang bakar), yang berfungsi sebagai tempat mengubah air dari fase cair menjadi fase uap jenuh.

Diketahui secara umum, ketel uap merupakan salah satu aplikasi dari alat penukar panas (*heat exchanger*), dikategorikan sebagai alat penukar panas dimana terjadi proses penguapan air.

Mekanisme perpindahan panas yang terjadi pada pipa-pipa penukar panas adalah gabungan antara mekanisme konveksi paksa aliran di dalam pipa, konduksi melalui dinding pipa dan konveksi paksa aliran di luar berkas pipa, dengan berjalannya waktu, pada permukaan-permukaan pemanas timbul pengerakan, diakibatkan adanya pengotor dalam fluida kerja atau reaksi antara fluida dengan dinding kerja. Kerak yang terjadi dapat meningkatkan nilai hambatan thermal antar fluida. Efek ini biasa disebut sebagai faktor pengerakan (*fouling factor*),  $R_f$ .

Besarnya nilai faktor pergerakan ini sangat bergantung pada temperatur operasi, kecepatan fluida kerja, jenis fluida dan jenis material pipa yang dipakai. Besarnya faktor pergerakan pada beberapa negara maju telah distandardkan sesuai dengan kualitas fluida yang ada. Misalnya untuk air, pada beberapa negara maju terjadi perbedaan dalam menentukan besarnya faktor pergerakan karena kualitas air yang ada di masing-masing negara tersebut berbeda antara satu dengan lainnya.

Sirip sering ditambahkan pada pipa untuk memperbesar luas permukaan perpindahan panas. Penambahan luas ini akan mengurangi hambatan thermal perpindahan panas konveksi. Adanya efek pergerakan dan pemakaian sirip maka perpindahan panas keseluruhan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_h A_h} = \frac{1}{U_c A_c} = \frac{1}{(\eta h A)_c} + \frac{R''_{f,c}}{(\eta_o A)_c} + R_w + \frac{1}{(\eta h A)_h} + \frac{R''_{f,h}}{(\eta_o A)_h}$$

Dengan indeks h dan c, menyatakan bagian fluida yang memberikan panas (hot) dan fluida yang menerima panas (cold). Perhitungan nilai koefisien ini sangat bergantung pada sisi permukaan yang ditinjau, sisi fluida yang memanaskan atau dipanaskan.

Besarnya hambatan konduksi pada dinding ( $R_w$ ) diperoleh dengan mempergunakan persamaan berikut

Untuk dinding datar

$$R_w = \frac{L}{kA}$$

Untuk dinding melingkar

$$R_w = \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi Lk}$$

Nilai hambatan karea faktor pergerakan dapat dilihat pada tabel dibawah berikut:

Tabel 1 Data faktor pergerakan untuk berbagai fluida

Fluida	$R''_f (m^2 K / W)$
Air laut dan air umpan untuk boiler (<50°C)	0,0001
Air laut dan air umpan untuk boiler (>50°C)	0,0002
Air sungai (<50°C)	0,0002-0,0001
Bahan baker minyak	0,0009
Fluida refrigerasi	0,0002
Uap air	0,0001

Boiling heat transfer terjadi ketika temperatur permukaan sebuah benda padat secara signifikan lebih tinggi dari temperatur saturasi suatu fluida cair yang kontak dengan benda padat tersebut. Perpindahan panas solid-liquid diwujudkan dengan transformasi sejumlah fluida cair berubah menjadi uap, dan pembentukan gelembung uap air yang beda, jets dan film. Uap dan lingkungan dari air yang dipanasi terbawa menjauh akibat efek pengapungan (natural convection, atau pool boiling) atau oleh kombinasi gaya apung dan aliran paksa dari fluida cair yang melintasi benda padat panas tersebut. Gambar dibawah melihat fenomena boiling heat transfer.

Boiling heat transfer koefisien dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$h = \frac{q_w''}{T_w - T_{sat}}$$

Sejumlah riset telah dilaksanakan dan dipublikasikan untuk mengukur dan mengkorelasikan antara nucleate boiling dan heat transfer coefficient. Salah satu yang terkenal diajukan oleh Rohsenow, dengan formulanya sebagai berikut:

$$T_w - T_{sat} = \frac{h_{fg}}{C_{p,l}} Pr_l^5 C_{sf} \left[ \frac{q_w''}{\mu_l h_{fg}} \left( \frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)} \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

Korelasi ini diaplikasikan untuk permukaan yang bersih dan pendekatan secara engineering yang tidak dipengaruhi oleh bentuk dan orientasi permukaan dimana:

$h$  adalah heat transfer koefisien

$q_w''$  adalah heat flux

$T_w$  adalah Temperatur permukaan benda padat

$T_{sat}$  adalah Temperatur jenuh fluida cair

$h_{fg}$  adalah enthalpi fluid-gas fluida cair

$c_{p,l}$  adalah specific heat at constant pressure fluida cair

$C_{sf}$  adalah konstanta

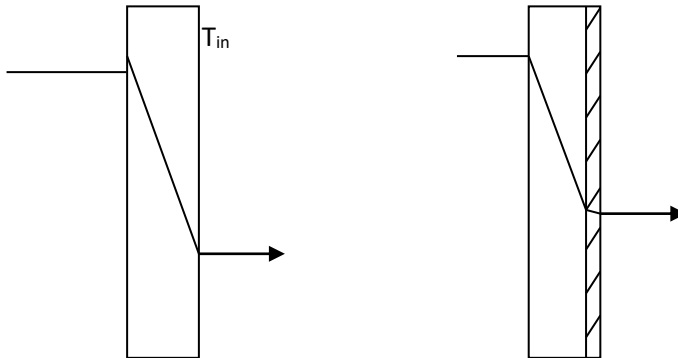
$\sigma$  adalah surface tension

$g$  adalah gravitasi

$\rho$  adalah massa jenis fluida

Pr adalah bilangan Prandtl

Lapisan oksida internal yang terbentuk, dapat menghambat perpindahan panas sepanjang dinding pipa dan menyebabkan temperatur metal pipa naik terhadap kenaikan tebal pipa sepanjang operasi. Gambar 2-1 memperlihatkan Ilustrasi perbedaan temperatur pada dinding pipa dengan dan tanpa lapisan oksida.



Gambar 1 Ilustrasi perbedaan temperatur pada dinding pipa dengan dan tanpa lapisan oksida

Panas yang berada di luar dinding pipa sebesar  $q$  akan ditransfer ke bagian dalam pipa melalui dinding pipa. Perpindahan panas yang terjadi menurut persamaan umum perpindahan panas secara konduksi pada pipa:

$$q = \frac{2\pi kl}{\ln(r_o / r_i)} (T_o - T_i)$$

Dimana:

- $q$  = Panas
- $K$  = Konduktivitas termal bahan
- $T_i$  = Temperatur dalam pipa
- $T_o$  = Temperatur luar pipa
- $r_i$  = Jari-jari dalam pipa
- $r_o$  = Jari-jari luar pipa

Suku  $\frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi k l}$  dari persamaan di atas disebut Resistansi Termal ( $R_t$ ). Sehingga

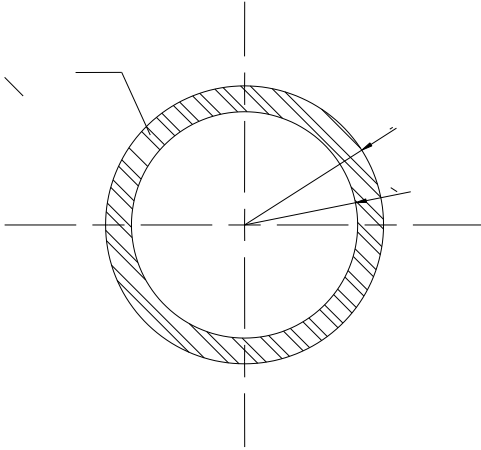
persamaan diatas dapat dituliskan  $q = \frac{T_o - T_i}{R_t}$

maka

$$T_i = T_o - qR_t$$

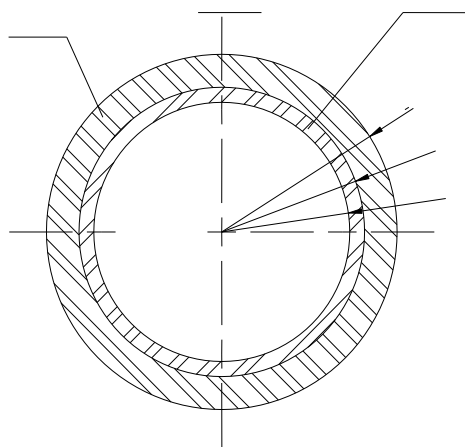
1. Pada dinding pipa tidak terdapat lapisan oksida.

Jika pada dinding pipa tersebut tidak terdapat lapisan oksida maka temperatur dalam pipa sebesar  $T_i$



Gambar 2 Penampang pipa tanpa lapisan oksida

2. Jika pada dinding pipa tersebut terdapat dua bagian, yaitu: dinding pipa, dan lapisan oksida. Kedua bagian tersebut mempunyai, konduktivitas termal dan ketebalan masing-masing . Resistansi Termal keseluruhan yang terjadi yaitu resistansi termal dinding pipa dan resistansi termal oksida.



Gambar 3 Dengan Lapisan Oksida

Penampang pipa dengan lapisan oksida

$$R_t = \frac{\ln(r_1/r_2)}{2\pi k_1 l} + \frac{\ln(r_2/r_3)}{2\pi k_2 l}$$

nilai resistansi termal ( $R_t$ ) pada perpindahan panas yang mempunyai lapisan oksida ini lebih kecil dibandingkan tanpa oksida sehingga nilai  $T_i$  pada dinding terdapat lapisan oksida lebih besar dibandingkan tanpa oksida. Temperatur yang terjadi pada dinding pipa yang terdapat lapisan oksida lebih besar dibandingkan tanpa oksida.

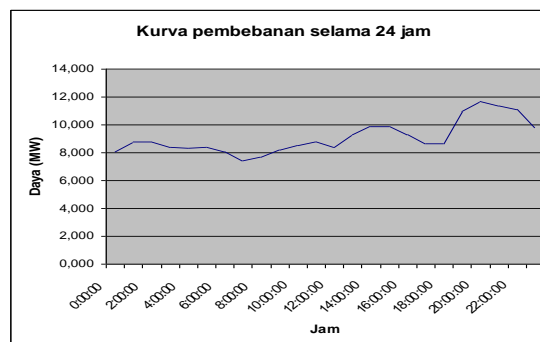
Sebagai pengantar dalam pemodelan ruang bakar boiler yang akan dilakukan, diberikan gambaran terlebih dahulu tentang pengoperasian boiler pada pembangkit tersebut, dalam kasus ini yaitu boiler, pltu milik PT. Indo Pusaka Berau. Dalam operasi keseharian, daya yang dihasilkan pembangkit tidaklah konstan tiap waktunya. Faktor kebutuhan pasokan listrik menjadi faktor utamanya disamping kondisi yang terjadi pada sistem pembangkit itu sendiri.

Faktor kebutuhan listrik menjadi utama mengingat salah satu dasar dari berjalannya roda perekonomian masyarakat. Tingkat aktivitas konsumen yang berbeda intensitasnya tiap waktu menjadi dasar kebijakan utama pengoperasian pembangkit.

Pengoperasian pembangkit tidak selalu bekerja dengan beban atau kapasitas yang konstan, sebaliknya pembangkit selalu dalam kondisi operasi yang berubah-ubah, perubahan ini disebabkan oleh:

- Beban yang dikonsumsi pasar selalu berubah.
- Kondisi komponen sistem pembangkit tidak selalu berada dalam kondisi prima
- Lingkungan yang berubah setiap saat, yang dapat mengganggu jaringan listrik.

Grafik di bawah menunjukkan variasi beban pembangkit selama 24 jam



Grafik 1 Profil pembebanan selama 24 jam



### 3. PEMODELAN SISTEM FURNACE BOILER

Untuk mendapatkan sistem yang disimulasikan, terlebih dahulu dilakukan tahapan berupa pemodelan sistem furnace boiler.

#### Prosedur Pemodelan

Metedologi untuk menghasilkan model sistem yang baik merupakan persoalan yang tidak sederhana. Sebagai data masukan untuk prosedur pemodelan sistem ini antara lain berupa geometri dimensi fisik dan kondisi operasi. Spesifikasi data masukan ini terbatas sesuai dengan data yang dapat dari lapangan. Beberapa asumsi dapat digunakan terutama untuk fluida kerja yang mengalir. Sifat – sifat fisik tergantung pada jenis fluida yang bekerja dan temperatur kerjanya.

Komponen pertama yang dimodelkan adalah pipa air. Iasan utamanya adalah karena secara ruang pipa air lebih sulit dibuat daripada casing. Adapun sebeum pemodelan dilakukan harus dideskripsikan dulu objek yang akan di gambar. Deskripsi pipa air yang di modelkan dapat dijabarkan secara berikut.

- 1 Model pipa untuk tiap bagian dibuat sesuai kondisi sebenarnya.
- 2 Dimensi pipa dibuat berdasarkan referensi data yang ada.
- 3 Pemberian aspek lengkap hanya dilakukan pada satu contoh pipa saja. Satu pipa untuk bagian depan, satu pipa untuk bagian samping dan satu pipa untuk bagian belakang.

Anggapan ini diberikan untuk memungkinkan dilakukannya pemodelan.

Tabel 2 Data Dimensi Pipa Air

Dimensi	Nilai (mm)
Diameter pipa depan	60,3
Jarak antara pipa depan	110
Diameter pipa samping (kanan dan kiri)	60,3
Jarak antara pipa (kanan dan kiri)	140
Diameter pipa belakang	60,3
Jarak antara pipa belakang	80
Tebal pipa (depan, samping dan belakang)	3,2 mm

Tabel 4 Data Jumlah Pipa Air

<b>Berkas Pipa</b>	<b>Jumlah Pipa(buah)</b>
Depan	39
Samping kanan	26
Samping kiri	26
Belakang	54

Pemodelan pipa dilakukan untuk setiap bagiannya satu buah pipa lengkap dengan kondisi lingkungannya. Satu pipa untuk bagian depan, satu pipa untuk bagian samping dan satu pipa untuk bagian belakang, karenanya dalam proses pemodelan pipa dapat disusun tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Pemodelan pipa tunggal dengan ruangan gas pembakaran
2. Meshing object
3. Pemberian kondisi
4. Penyimpanan

Model pipa yang telah dibuat, kemudian di-*mesh* (dibagi menjadi kisi-kisi), hal ini salah satu yang penting dalam pemodelan. Kualitas *mesh* yang baik akan membantu proses simulasi yang akan dilakukan. Hasil *mesh* yang baik akan memberikan hasil iterasi yang sempurna.

Tabel 5 Aturan meshing model pipa

<b>Aturan</b>	<b>Kondisi</b>
Default	1
Ukuran	0.1
Elemen	Hex Wedge
Jenis	Cooper

### **Pemodelan Ruang Gas Hasil Pembakaran**

Komponen selanjutnya yang di modelkan adalah ruang untuk gas hasil pembakaran. Ruang ini terdiri dari tiga bagian, yaitu saluran masuk, ruang penukar panas dan saluran keluar. Dalam pemodelan yang dilakukan, komponen dimodelkan secara terintegrasi. Hasilnya langsung berupa model dari ruang untuk gas pemanas yang digunakan oleh PLTU Lati.

Sebelum dilakukan langkah pemodelan, terlebih dahulu dilakukan deskripsi dari pmodelan yang berupa:

1. Model ruang yang dibuat dalam bentuk sederhana tanpa menyertakan aksesorisnya, hal ini dilakukan dengan syarat tujuan pemodelan tetap terpenuhi.
2. Model dibuat berdasarkan referensi bentuk dan dimensi yang di dapat.

Tabel 6 Aturan meshing ruang gas hasil pembakaran

Aturan	Kondisi
Default	1
Ukuran	0,1
Elemen	Hex Wedge
Jenis	Cooper

Tabel 7 Data komposisi unsur gas buang

Unsur	% Volume
CO <sub>2</sub>	3
N <sub>2</sub>	73,3
O <sub>2</sub>	14
Ar	0,9
H <sub>2</sub> O	7,8

Tabel 8 Data kondisi aliran gas buang

Uraian	Satuan	Beban Operasi (5,1 MW)
Temperatur furnace bagian depan bawah	<sup>0</sup> C	1459
Temperatur furnace bagian samping bawah	<sup>0</sup> C	978
Temperatur furnace bagian belakang bawah	<sup>0</sup> C	486
Tekanan furnace bagian atas	pa	-12
Tekanan Lingkungan	pa	10119

Pada sistem ini, fluda dingin yang dimaksud adalah air yang dipanaskan hingga menjadi uap jenuh hingga masuk ke drum boiler.

Tabel 9 Data kondisi air masuk

Uraian	Satuan	Beban Operasi (5,1 MW)
Temperatur air masuk pipa	<sup>0</sup> C	94
Tekanan air masuk pipa	MPa	5,6

### Kondisi Sistem Model

Bagian ini merupakan tahapan terakhir yang dilakukan saat memodelkan komponen pada gambit, model fisik yang telah sesuai dibuat dan dibagi menjadi kisi-kisi yang perlu diberi kondisi sistem yang menyertainya. Kondisi tersebut berupa batasan sistem dan materi yang mengisi sistem.

Pemberian kondisi ini harus cermat agar saat dijalankan pada perangkat simulasi nantinya dapat berelevansi dengan baik. Batasan sistem yang perlu untuk disertakan adalah bagian masukan dan keluaran, dinding yang melingkupi sistem dan merupakan batas antara sistem dengan lingkungan serta pendefinisian sisi-sisi yang menjadi pertemuan dari tiap-tiap komponen.

Pasca pemberian kondisi sistem, yang berarti model hasil pekerjaan telah sempurna dan siap untuk dijalankan pada fluent, model hasil pekerjaan kemudian disimpan dan diekspor dengan format yang benar. Item-item pada pengerjaan bagian ini dapat dilihat pada tabel-tabel di bawah:

Tabel 10 Kondisi sistem model pipa

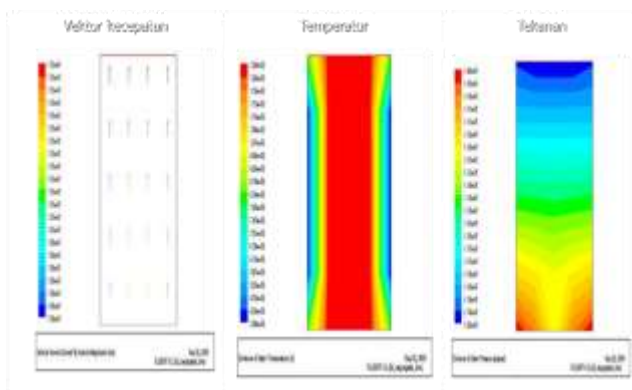
Item	Pilihan
Batas sistem	Inlet, Outlet, Interface, Wall
Materi sistem	Fluid (Water)
Format arsip	Mesh

Tabel 11 Kondisi sistem model ruang gas pembakaran

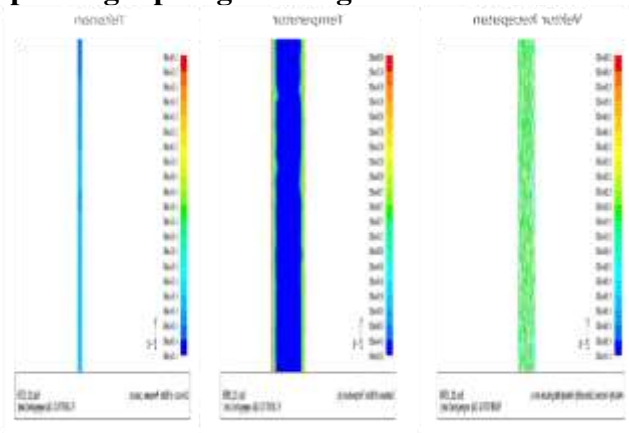
Item	Pilihan
Batas sistem	Inlet, Outlet, Interface, Wall
Materi sistem	Fluid (Air)
Format arsip	Mesh

## 4. Interpretasi Hasil Simulasi

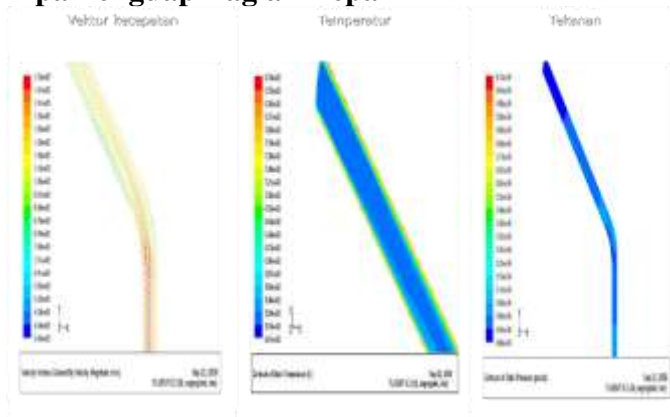
### Gas Pembakaran



### Pipa Penguap Bagian Tengah



### Pipa Penguap Bagian Depan



Perbandingan hasil fluent terhadap pengukuran

#### Tekanan

No	Lokasi	Metode		Deviasi
		Fluent	Pengukuran	Fluent terhadap pengukuran
1	Ruang Bakar	-11 Pa	-10 Pa	1 Pa
2	Outlet pipa penguap bagian tengah	4,89 MPa	4,8 MPa	0,09 MPa (0,9 Bar)
3	Outlet Pipa bagian belakng	4,84 MPa	4,8 MPa	0,04 MPa (0,4 Bar)

#### Temperratur

No	Lokasi	Metode		Deviasi
		Fluent	Pengukuran	Fluent terhadap pengukuran
1	Ruang Bakar	667 °C	680 °C	13 °C
2	Outlet pipa penguap bagian tengah	241 °C	235 °C	6 °C
3	Outlet Pipa bagian belakng	242 °C	235 °C	7 °C

#### 1. Ruang Bakar

Terlihat bahwa tekanan ruang bakar beban 50 % menjadi lebih negatif dibandingkan beban 75 %, hal ini dimungkinkan kemampuan ID Fan ketika beban

rendah masih mampu beroperasi maksimal sedangkan ketika beban tinggi kemampuan ID Fan sudah kurang maksimal.

#### 2. Outlet pipa penguap bagian tengah

Pembebanan 75 % tekanan fluida masuk sebesar 6 MPa dan keluar sebesar 4,89 MPa dengan pressure drop sebesar 1,11 MPa. Sedangkan dengan pembebanan 50 % tekanan fluida masuk sebesar 4,6 MPa dan keluar sebesar 4,2 MPa dengan pressure drop sebesar 0,6 MPa. Sehingga pressure drop pembebanan 75 % lebih tinggi dibandingkan dengan pembebanan 50 %.

#### 3. Outlet pipa penguap bagian belakang

Pembebanan 75 % tekanan fluida masuk sebesar 6 MPa dan keluar sebesar 4,84 MPa dengan pressure drop sebesar 1,16 MPa. Sedangkan dengan pembebanan 50 % tekanan fluida masuk sebesar 4,6 MPa dan keluar sebesar 4,2 MPa dengan pressure drop sebesar 0,6 MPa. Sehingga pressure drop pembebanan 75 % lebih tinggi dibandingkan dengan pembebanan 50 %.

Terlihat bahwa temperatur ruang bakar beban 50 % lebih tinggi dibandingkan beban 75 % dan temperatur outlet untuk beban 50 % juga lebih tinggi dibandingkan beban 75 %.

Sedangkan beda temperatur ruang bakar beban 50 % dan 75 % adalah 23 derajat sedangkan beda outlet pipa bagian tengah hanya 6 derajat dan bagian belakang 15 derajat. Hal ini menandakan bahwa transfer perpindahan panas pada beban 50 % kurang efisien dibandingkan beban 75 %, panas terbuang untuk beban 50% lebih besar dibandingkan beban 75 %.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan Analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Ketersediaan air bersih pada Batamindo Industrial Park pada kondisi eksisting ketersediaan air bersih dalam kondisi memadai. Namun dengan dinamisnya perkembangan sektor kegiatan industri, maka upaya penyediaan alternatif sumber air perlu dilakukan agar sumber daya air dapat terkonservasi dan dipergunakan secara berkelanjutan.

2. Potensi air limbah yang dapat dijadikan air baku untuk di daur ulang di Batamindo Industrial Park sebesar 2.852 m<sup>3</sup>/hari atau 49,6 % dari kebutuhan air bersih.
3. Proses pengolahan daur ulang air limbah terdiri dari proses pengolahan sekunder, filtrasi dan desinfeksi. Adapun unit-unit pengolahan daur ulang air yang direkomendasikan pada kegiatan industri di Batamindo Industrial Park yaitu:
  - MBR – Nanofiltrasi – Reverse Osmosis – Desinfeksi UV

## REFERENSI

- Babcock & Wilcox. 2012. *Steam It's Generation and Use*. Ohio: John Wiley.
- Bejan Adrian. 2013. *Heat Transfer*. Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
- Data-data operasi unit 1 PLTU PLTU Lati. 2018. PT. Indo Pusaka Berau, Berau.
- Design Manual, Volume BD. 6, *Steam Generator*, Shandong Machinery, Shandong, China.
- Dieter, George E. 2010. *Mechanical Metallurgy*, SI Metric Edition. London: McGraw-Hill.
- Djokosetyardjo. M.J. 2016. Ketel Uap. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Hewitt, G.F., Shires, G.L. and Bott, T.R. 2010. *Process Heat Transfer, 1<sup>st</sup> edition*. New York: Begell House.
- Koestoer, Raldi Artono. 2012. Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik, Ed. 1, Jakarta: Salemba Teknika.
- Maidi Saputra dan Ari Ferdian Syah. 2017. Analisis Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger Di Furnace Boiler Circulating Fludizing Bed 1 PLTU Nagan Raya. *Jurnal Mekanova*. Vol. 3. No. 4., April 2017. Hal 1-12.
- Moran, M.J. and Shapiro, H.N., "*Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 4<sup>th</sup> edition*", John Willey & Sons, New York, 2000.
- Munson, Young and Okiishi. 2010. "*Fundamentals of fluid Mechanics, 3<sup>rd</sup> edition*". New York: John Willey & Sons.
- Manual Gambit. 2.2.
- Manual Fluent 6.2.
- PT. Indo Pusaka Berau. 2018. Laporan Survey Batu Bara. Berau.
- PT. Indo Pusaka Berau. 2018. Log Sheet Elektrik & Generator.