



PENENTUAN DISTRIBUSI SIFAT PADA FURNACE BOILER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP LATI PT. INDO PUSAKA BERAU

Fardin Hasibuan¹, Trijaya Widagdo²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan, Indonesia

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, STT YBS Internasional, Indonesia

Email : fardin.hasibuan123456@gmail.com¹), trijayaw@gmail.com²)

ABSTRAK

Listrik sebagai salah satu kebutuhan rakyat yang harus tersedia oleh negara. Salah satu subsistem dalam memproduksi listrik adalah proses pembangkitan listrik. Listrik dapat dihasilkan dengan menggunakan Rencana Tenaga Uap, Hidro, Gas, Panas Bumi, dan lain-lain. Pembangkit Listrik Tenaga Uap Lati adalah salah satu PLTU berbahan bakar batubara. PLTU Lati harus beroperasi secara konsisten dan efisien sehingga layanan listrik ke konsumen dapat disuplai setiap saat. Salah satu peralatan utama dalam pembangkit listrik adalah boiler dan salah satu komponen boiler adalah evaporator. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi properti pada boiler PLTU Lati. Penelitian ini juga dalam rangka membantu pola operasional yang paling efisien. Penentuan distribusi simulasi ini divalidasi oleh hasil pengukuran di lapangan sehingga diketahui tingkat akurasi model ini. Penentuan distribusi ini menunjukkan penyimpangan antara hasil simulasi dengan pengukuran 3%. Pengoperasian dengan beban 75% lebih efisien daripada beban 50%.

Kata kunci : PLTU Batubara, Distribusi properties, CFD, Beban, Efisien

ABSTRACT

Electricity as one the people's need that must be available by the state. One of the subsystem in producing electrical is the process of the generation of electricity. Electricity can be generated by the use of Steam Power Plan, Hydro, Gas, Geothermal, etc. Lati Steam Power plan is one of a Coal fired Steam Power Plan. Lati Coal-Fired Power Plan should operate consistently and efficiently so that the electricity service into the consumers are able every time. One of the main equipment in a power plant is boiler and one of component boiler is evaporator. The aim of this tesis is finding out distribution of the properties on furnace boiler at Lati Coal-Fired Power Plan. This tesis is also in order to help the most efficient operational pattern. The determination of these simulation distribution validated by measurement result in the field so known the accuracy level of this model. Determination of these distributions show the deviations between the simulated results with measurement is 3%. The operation of loading to provide 75% more efficient than the load 50%.

Key words : Coal Fired Steam Power Plan, Distribution of properties, CFD, Load, Efficient

1. 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[8], sebagai berikut:

Nilai kalor gross	: 4.800 kcal/kg
Total Moisture	: 25,60 %
Ash Content	: 7 %
Sulphur Content	: 1 %
Volatile Matter	: 33,01 %

Fixed Carbon : 35,07 %

Proses pembangkitan listrik dimulai dari pembakaran batu bara. Batu bara dari tempat penimbunan (*stock yard*) diangkut 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.

Pengoperasian boiler yang menggunakan batu bara sebagai energi primernya perlu dilakukan pengendalian volume batubara tersebut, pemakaian batubara yang berlebihan berdampak kepada turunnya efisiensi boiler dan naiknya harga pokok produksi listrik yang dihasilkan. Harga batubara yang cenderung naik setiap tahun dan program pemerintah mengurangi CO₂ menjadi batasan dalam pengoperasian boiler. Efisiensi menjadi kata kunci dalam penelitian ini, tercapainya efisiensi boiler maksimal menjadi target pengoperasian boiler. Efisiensi yang tinggi akan mengurangi volume pemakaian batu bara sehingga dapat mengurangi harga pokok produksi listrik yang dihasilkan. Saat ini belum tersedia sebuah tool di PLTU Lati untuk dapat melakukan simulasi dalam rangka pencapaian efisiensi maksimum dalam pengoperasiannya, hal ini menjadi permasalahan dalam penelitian ini.

Tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui distribusi sifat 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.
3. Memberikan rekomendasi parameter operasi pada operator (bagian operasi) untuk mencapai efisiensi boiler maksimal.

Beberapa batasan yang diberlakukan pada penelitian ini adalah:

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 %.

2. TINJAUAN PUSTAKA

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 penelitian 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 pengerasan, 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 pengerasan (*fouling factor*) R_f . Besarnya nilai faktor pengerasan ini sangat bergantung pada temperatur operasi, kecepatan fluida kerja, jenis fluida dan jenis material pipa yang dipakai. Besarnya faktor pengerasan 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 pengerasan 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 pengerasan dan pemakaian sirip maka perpindahan panas keseluruhan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_h A_h} = \frac{1}{U_c A_c}$$

$$= \frac{1}{(\eta h A)_c} + \frac{R''_{f,c}}{(\eta_o A)_c} + R_w + \frac{1}{(\eta h A)_h} + \frac{R''_{f,h}}{(\eta_o A)_h} \quad (1)$$

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

$$R_w = \frac{L}{kA} \quad (2)$$

Untuk dinding melingkar

$$R_w = \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi Lk} \quad (3)$$

Sedangkan nilai hambatan karea faktor pergerakan dapat dilihat pada tabel dibawah berikut:

Data faktor pergerakan untuk berbagai fluida

Tabel 1. 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. *Boiling heat transfer* koefisien dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$h = \frac{q''_w}{T_w - T_{sat}} \quad (4)$$

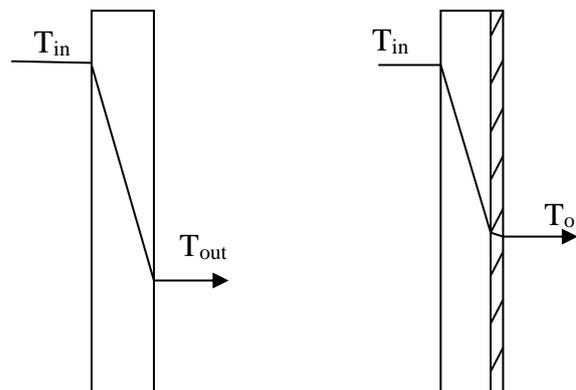
Sejumlah riset telah dilaksanakan dan dipublikasikan untuk mengukur dan mengkorelasikan antara *nucleate boiling* dan *heat transfer coefficient*. Salah satu yang terkenal diajukan oleh Rohsenow, dengan formulanya sebagai berikut:

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

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
- σ adalah *surface tension*
- g adalah gravitasi
- ρ 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 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:

$$q = \frac{2\pi kl}{\ln(r_o / r_i)} (T_o - T_i) \quad (6)$$

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

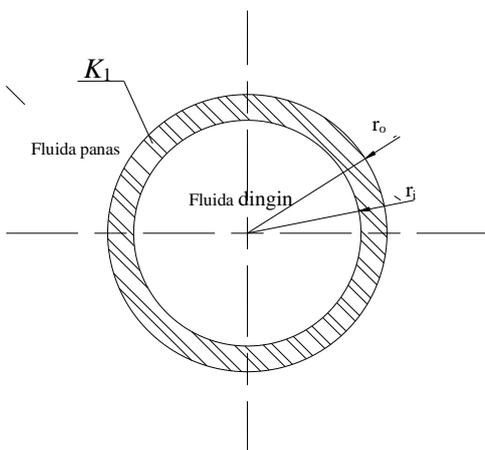
Suku $\frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi k l}$ dari persamaan di atas disebut Resistansi

Termal (R_t). Sehingga persamaan diatas dapat dituliskan $q = \frac{T_o - T_i}{R_t}$ maka pada dinding pipa tidak terdapat

lapisan oksida, temperatur dalam pipa sebesar T_i

$$T_i = T_o - qR_t \quad (7)$$

Gambar dibawah ini menampilkan temperatur pada bagian dinding sebelah dalam (T_i) dan pada bagian dinding sebelah luar (T_o)

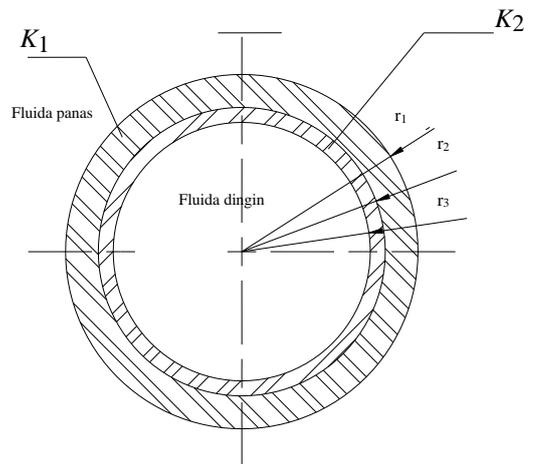


Gambar 2. Penampang pipa tanpa lapisan oksida

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.

$$R_t = \frac{\ln(r_1 / r_2)}{2\pi k_1 l} + \frac{\ln(r_2 / r_3)}{2\pi k_2 l} \quad (8)$$

Gambar dibawah ini menampilkan temperatur pada bagian dinding sebelah dalam (T_i) dan pada bagian dinding sebelah luar (T_o) dimana terdapat lapisan oksida.



Gambar 3. Penampang pipa dengan lapisan oksida

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.

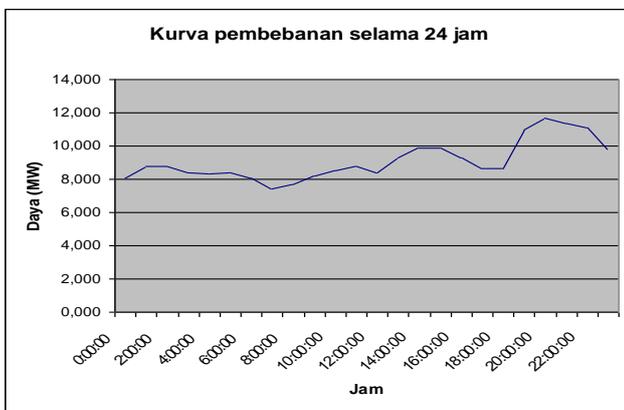
Sebagai pengantar dalam pemodelan ruang bakar boiler yang akan dilakukan, diberikan gambaran terlebih dahulu tentang pengoperasian boiler pada pembangkit tersebut, dalam kasus ini yaitu boiler, pltu milik PT. Indo Pusaka Berau. Dalam operasi keseharian, daya yang dihasilkan pembangkit tidaklah konstan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

Faktor kebutuhan listrik menjadi faktor utama mengingat listrik yang dibutuhkan oleh masyarakat berfluktuasi sesuai dengan roda perekonomian dan kehidupan 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 konsumen selalu berubah.
- Kondisi komponen sistem pembangkit tidak selalu berada dalam kondisi prima
- Lingkungan yang berubah setiap saat, yang dapat mengganggu jaringan listrik.

Grafik dibawah menunjukkan variasi beban pembangkit selama 24 jam.



Gambar 4. Profil pembebanan selama 24 jam

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dilakukan secara kuantitatif 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. Analisa
Memberikan interpretasi dan analisa terhadap hasil yang diperoleh dari hasil simulasi.

4. Melakukan pemodelan ulang dengan mengubah kondisi operasi.

Pemodelan ulang dilakukan dengan mengubah kondisi operasi pada pembebanan 50 % kapasitas, untuk mendapatkan sistem yang disimulasikan, terlebih dahulu dilakukan tahapan berupa pemodelan sistem furnace boiler.

3.1 Prosedur Pemodelan

Pembuatan model 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. lasan utamanya adalah karena secara ruang pipa air lebih sulit dibuat daripada casing. Adapun sebelum pemodelan dilakukan harus dideskripsikan terlebih dahulu 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.

Batasan ini diberikan untuk memungkinkan dilakukannya pemodelan. Data dimensi pipa air seperti pada tabel dibawah ini

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
---	-----

Data jumlah pipa air seperti pada tabel dibawah ini

Tabel 3. Data jumlah pipa air

Berkas Pipa	Jumlah Pipa(buah)
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:

- Pemodelan pipa tunggal dengan ruangan gas pembakaran
- Meshing object
- Pemberian kondisi
- 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 4. Aturan meshing model pipa

Aturan	Kondisi
Default	1
Ukuran	0.1
Elemen	Hex Wedge
Jenis	Cooper

3.2 Pemodelan Ruang Gas Hasil Pembakaran

Komponen selanjutnya yang dimodelkan 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 pemodelan yaitu:

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 5. Aturan meshing ruang gas hasil pembakaran

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

Tabel 6. Data komposisi unsur gas buang

Unsur	Volume (%)
CO ₂	3
N ₂	73,3
O ₂	14
Ar	0,9
H ₂ O	7,8

Tabel 7. Data kondisi aliran gas buang

Uraian	Satuan	Beban Operasi (5,1 MW)
Temperatur furnace bagian depan bawah	⁰ C	1459
Temperatur furnace bagian samping bawah	⁰ C	978
Temperatur furnace bagian belakang bawah	⁰ 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 8. Data kondisi air masuk

Uraian	Satuan	Beban Operasi (5,3 MW)
Temperatur air masuk pipa	°C	94
Tekanan air masuk pipa	MPa	5,6

3.3 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 dibawah:

Tabel 9. Kondisi sistem model pipa

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

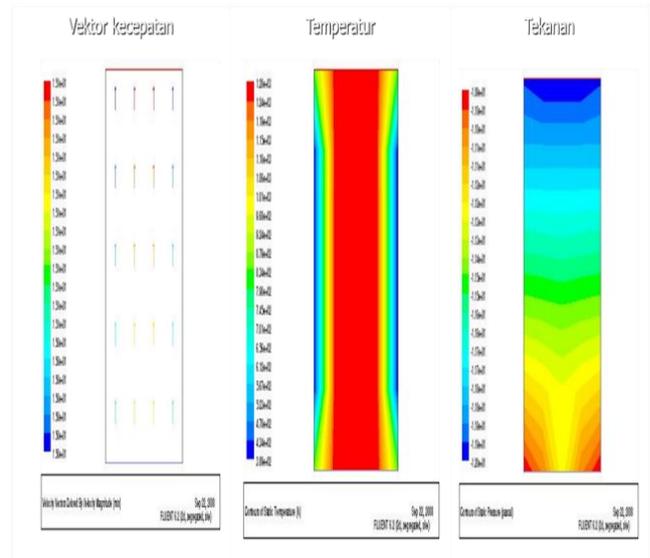
Tabel 10. Kondisi sistem model ruang gas pembakaran

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

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

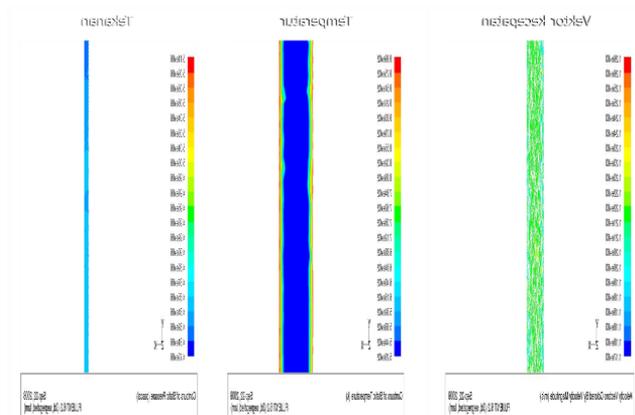
Hasil simulasi kondisi pembebanan 75 % (5,3 MW) yang disimulasikan pada fluent diperoleh sebagai berikut

4.1 Sisi Gas Pembakaran



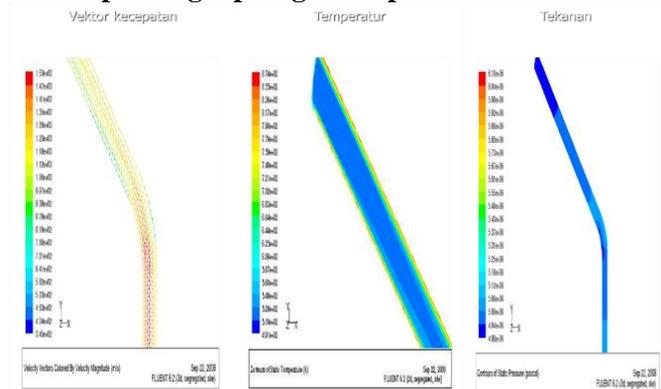
Gambar 4. Profil distribusi kecepatan, tempertaur dan tekanan pada sisi gas pembakaran

4.2 Pipa Penguap Bagian Tengah



Gambar 5. Profil distribusi kecepatan, tempertaur dan tekanan pada pipa penguap bagian tengah

4.3 Pipa Penguap Bagian Depan



Gambar 6. Profil distribusi kecepatan, tempertaur dan tekanan pada pipa penguap bagian depan

4.4 Analisa Hasil Fluent dan Pengukuran

Perbandingan hasil fluent terhadap pengukuran dilakukan pada tekanan dan tempertaur pada beban 75%.

Tabel 11. Perbandingan Tekanan

No	Lokasi	Metode		Deviasi Fluent terhadap pengukuran
		Fluent	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 belakang	4,84 MPa	4,8 MPa	0,04 MPa (0,9 Bar)

Tabel 12. Perbandingan temperatur

No	Lokasi	Metode		Deviasi Fluent terhadap pengukuran
		Fluent	Pengukuran	
1	Ruang Bakar	667 ^o C	680 ^o C	13 ^o C

2	Outlet pipa penguap bagian tengah	241 ^o C	235 ^o C	6 ^o C
3	Outlet pipa bagian belakang	242 ^o C	235 ^o C	7 ^o C

Setelah diperoleh bahwa perbedaan antar hasil simulasi di fluent dan hasil pengukuran tidak jauh beda (<5 %) maka dilakukan simulasi pada beban 50 % (3,5 MW) di fluent. Diperoleh perbandingan tekanan dan temperatur untuk pembebanan 75 % dan pembebanan 50 % sebagai berikut.

Tabel 13. Perbandingan tekanan

No	Lokasi	Inlet		Outlet	
		75 %	50 %	75 %	50 %
1	Ruang Bakar gas buang(Pa)	-12	-14	-11	-17
2	Air pada pipa penguap bagian tengah (MPa)	6	4,6	4,89	4,2
3	Air pada pipa bagian belakang (MPa)	6	4,6	4,84	4,2

Tabel 14. Perbandingan temperatur

No	Lokasi	Outlet	
		75 %	50 %
1	Ruang Bakar (^o C)	667	690
2	Gsas buang pada pipa penguap bagian tengah (^o C)	241	247
3	Gas buang pada pipa penguap bagian belakang (^o C)	242	257

Perbandingan nilai tekanan dan temperatur pada masing-masing area adalah sebagai berikut.

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 %.

4. Temperatur

Temperatur ruang bakar beban 50 % lebih tinggi dibandingkan beban 75 % dan temperatur outlet gas buang untuk beban 50 % juga lebih tinggi dibandingkan beban 75 % baik untuk pipa penguap bagian tengah maupun bagian belakang. Panas yang dihasilkan pada ruang bakar tinggi dan gas buang yang dikeluarkan juga tinggi, untuk menghasilkan temperatur yang tinggi ini diperlukan bahan bakar yang lebih banyak, bahan bakar yang menghasilkan panas ini tidak semuanya dapat diserap untuk menghasilkan steam, dari data tersebut temperatur gas buang yang keluar dari area furnace untuk beban 50 % lebih tinggi dari beban 75 %, sehingga efisiensi beban 50 % dibawah efisiensi beban 75 % 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 %.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari Analisa data-data yang ada dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Deviasi nilai tekanan model ruang bakar yang dibuat terhadap hasil pengukuran sebesar 1 Pa.
2. Deviasi nilai temperatur model ruang bakar yang dibuat terhadap hasil pengukuran sebesar 2 %.
3. Deviasi nilai tekanan model pipa penguap bagian tengah yang dibuat terhadap hasil pengukuran sebesar 2 %.
4. Deviasi nilai temperatur model pipa penguap bagian tengah yang dibuat terhadap hasil pengukuran sebesar 3 %.
5. Deviasi nilai tekanan model pipa penguap bagian belakang yang dibuat terhadap hasil pengukuran sebesar 1 %.
6. Deviasi nilai temperatur model pipa penguap bagian belakang yang dibuat terhadap hasil pengukuran sebesar 3 %.
7. Perpindahan panas pada pembebanan 75 % lebih efisien dibandingkan pembebanan 50 %.

5.2 Saran

1. Pemodelan yang sudah dilakukan dapat dikembangkan untuk digunakan untuk pembangkit-pembangkit PLTU lain yang sejenis.
2. Modeling ini dapat digunakan untuk menentukan pola operasi yang paling efisien dengan mengubah-ubah inputan simulasi, dan tetap memperhatikan *supply* dan *demand* listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moran, M.J. and Shapiro, H.N., “*Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 9th edition*”, John Wiley & Sons, New York, 2018.
- [2] Dieter, George E., “*Mechanical Metallurgy*”, SI Metric Edition, McGraw-Hill, London 1988.
- [3] Hewitt, G.F., Shires, G.L. and Bott, T.R., “*Process Heat Transfer, 1st edition*”, Begell House, New York, 2000.



- [4] Munson, Young and Okiishi, “Fundamentals of fluid Mechanics, 3rd edition”, John Willey & Sons, New York, 2000.
- [5] Design Manual, Volume BD. 6, Steam Generator, Shandong Machinery, Shandong, China.
- [6] Manual Gambit. 2.2.
- [7] Manual Fluent 6.2.
- [8] PT. Indo Pusaka Berau , “Laporan Survey Batu Bara Bulan September 2022”, Berau, 2022.
- [9] PT. Indo Pusaka Berau , “Log Sheet Elektrik & Generator September 2007”, Berau, 2022.
- [10] Babcock & Wilcox,”Steam It’s Generation and Use”, 42nd edition, Ohio, 2015.
- [11] Bejan Adrian,”Heat Transfer”, John Wliey & Sons, Inc., Singapore, 1993.
- [12] Data-data operasi unit 1 PLTU PLTU Lati, PT. Indo Pusaka Berau, Berau, 2022.