

## Analisis Perbedaan Mesh Pada Simulasi Boiler PLTGU Tanjung Priok Berbasis CFD

I Nyoman Agus Adi Saputra<sup>1)\*</sup>, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma<sup>2)</sup>, I Gusti Ngurah Priambadi<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Udayana  
Gedung Pascasarjana, Universitas Udayana Sudirman, Bali 80113

Email: [gusadi5837@gmail.com](mailto:gusadi5837@gmail.com),

<sup>2,3)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Bukit Jimbaran, Bali 80362

Email: [wijaya.kusuma88@yahoo.com](mailto:wijaya.kusuma88@yahoo.com) , [priambadi.ngurah@yahoo.com](mailto:priambadi.ngurah@yahoo.com)

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2020.v06.i01.p06>

### Abstrak

Penelitian Analisis Perbedaan *Mesh* berbasis *Computational Fluid Dynamic* (CFD) ini dilakukan Pada Boiler PLTGU Tanjung Priok. Boiler atau reboiler dalam sistem PLTGU dikategorikan sebagai alat penukar kalor karena perpindahan panasnya dilakukan tanpa kontak langsung antara media pemanas dengan media yang dipanaskan. Fluida kerja pada boiler PLTGU Tanjung Priok berupa gas methane dan air. Penelitian ini bertujuan melihat jumlah pembagian elemen terhadap hasil simulasi dengan menggunakan dua model Studi konvergensi grid yaitu dengan grid kasar, dan yang paling optimal melalui hasil simulasi CFD. Metode yang digunakan mulai dari mendesain geometri boiler sesuai kondisi di lapangan menginput initial conditions dan boundry conditions. Data hasil penelitian yang sudah di lakukan pada simulasi boiler menunjukkan bahwa baik temperatur, tekanan dan kecepatan aliran memiliki nilai yang sama besar dan tidak di pengaruhi oleh pembagian elemen yang di lakukan pada saat proses *meshing* dari elemen yang paling kasar dengan jumlah total sebanyak 203.363 sampai pada tahap proses *meshing* dengan elemen teroptimal yang berjumlah sebanyak 1.491.428 berdasarkan hal tersebut maka proses simulasi yang dilakukan menjadi lebih efisien karena proses perhitungan data dari elemen yang lebih sedikit mendapatkan hasil yang sama dengan elemen yang lebih banyak.

**Kata kunci:** Boiler, *Meshing*, CFD, PLTGU, Tanjung Priok

### Abstract

*The research on Mesh Difference Analysis based on Computational Fluid Dynamic (CFD) was conducted at Tanjung Priok PLTGU Boiler. Boilers or reboilers in PLTGU systems are categorized as heat exchangers because the heat transfer is done without direct contact between the heating media and the heated media. The working fluid in the Tanjung Priok gas power plant boiler is in the form of methane gas and water. This study aims to look at the number of elements divided against the simulation results by using two grid convergence study models, namely with a coarse grid, and the most optimal through CFD simulation results. The method used starts from designing the boiler geometry according to the field conditions, inputting initial conditions and boundry conditions. Data from research that has been done on boiler simulations shows that both temperature, pressure and flow velocity have the same value and are not affected by the division of elements carried out during the meshing process of the most coarse elements with a total number of 203.363 up to the meshing process stage with the optimum elements totaling 1,491,428 based on this, the simulation process carried out becomes more efficient because the process of calculating data from fewer elements gets the same*

*results with more elements.*

**Keywords:** Boiler, Meshing, CFD, PLTGU, Tanjung Priok

## 1. PENDAHULUAN

Boiler dan dalam system PLTGU dikategorikan sebagai alat penukar kalor karena perpindahan panasnya dilakukan tanpa kontak langsung antara media pemanas dengan media yang dipanaskan. Alat penukar kalor sudah banyak digunakan dalam industri-industri minyak dan gas dan hampir semuanya memiliki dimensi yang besar. Menurut Arnold (1999), reboiler telah banyak digunakan dalam industri migas terutama pada proses distilasi. Kern (1965) menyebutkan ada beberapa jenis reboiler yang digunakan dalam proses distilasi. Klasifikasi dari reboiler tersebut berdasarkan pada sirkulasi paksa dan sirkulasi natural.

PLTGU Tanjung Priok berdiri pada lahan yang terbatas, sehingga bila akan dinaikkan kapasitas pembangkitannya maka akan menjadi masalah. Oleh sebab itu, perlu direncanakan untuk membuat mesin-mesin penukar kalor yang ada menjadi lebih ringkas. Boiler dan kondensor adalah mesin penukar kalor yang bisa dibuat ringkas. Sebelum membuat ringkas, maka perlu diketahui terlebih dahulu data real dari boiler dan kondensor yang terpasang saat ini, yang meliputi: dimensi, geometri, kapasitas uap, temperatur masuk dan keluar (baik sisi gas maupun sisi air), penurunan tekanan, efisiensi dan efektivitas alat. Dimensi adalah ukuran dari suatu system yang dihitung berdasarkan kapasitas uap, temperatur dan tekanan yang sesuai dengan operasional kerjanya.

Stephane (2000) menunjukkan bahwa operating pressure sangat mempengaruhi efektivitas atau unjuk kerja thermoshipon dari reboiler. Menurut penelitian Mirmanto (2016) dinyatakan bahwa debit sangat mempengaruhi unjuk kerja dari alat penukar kalor. McNeil (2001) dalam penelitiannya menunjukkan heat flux dari sisi tube sangat berpengaruh kepada unjuk kerja dari kettle reboiler. Sementara itu Setiawan (2011) melakukan penelitian mengenai menambahkan feeder pump dalam mempertahankan unjuk kerja alat penukar kalor.

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis mencoba melakukan penelitian agar Boiler di PLTGU Tanjung Priok yang memiliki ukuran besar dapat dibuat menjadi lebih ringkas namun tetap memiliki kinerja yang sama dengan kondisi saat ini. Penelitian dilakukan menggunakan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD), dimana pada tahap awal simulasi dilakukan dengan membuat bentuk dan geometri yang sama dengan kondisi boiler saat ini.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki perbedaan jumlah mesh dari boiler yang terdapat di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap Tanjung Priok, dengan menggunakan dua model Studi konvergensi grid yaitu dengan grid kasar, dan yang paling optimal melalui hasil simulasi CFD baik dari Temperatur, Tekanan, dan Kecepatan Aliran pada sel *mesh* yang dinormalisasi untuk menentukan bagaimana kualitas *mesh* mempengaruhi hasil simulasi CFD.

## 2. METODE

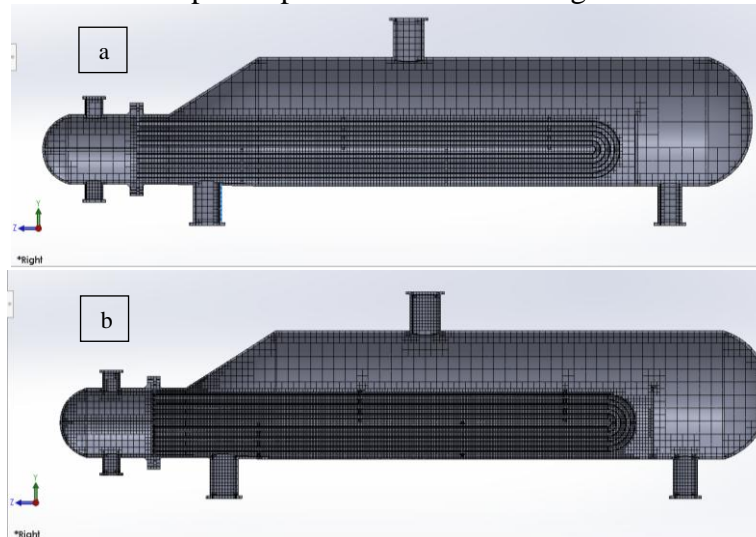
Penelitian ini bertujuan menganalisa unjuk kerja dari sebuah alat penukar panas antara lain adalah dengan menggunakan beberapa persamaan dalam perpindahan panas yang terjadi. Berdasarkan perpindahan panas yang terjadi maka dapat dihitung kapasitas panas yang dipertukarkan, efisiensi dan efektivitas boiler serta penurunan tekanan yang terjadi.

Tahap pertama penelitian atau *Preprocessor* adalah membuat geometri sesuai kondisi lapangan menginput data meliputi temperature air masuk boiler, kapasitas air feeding, kapasitas gas yang mengalir atau laju alir massa dari gas, temperature gas saat memanaskan air dan temperature gas yang keluar dari boiler, Semua data ini dimasukkan sebagai *initial condition* dan *boundary condition*.

Tahap berikutnya *Processor* atau proses perhitungan simulasi dengan menggunakan *tools*

*Run Project* agar dapat mengetahui output Uap *Steam* yang di dihasilkan. Setelah proses perhitungan selesai maka tahap selanjutnya *Postprocessor* dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu.

Untuk mengetahui bahwa simulasi CFD tidak tergantung pada jumlah *Mesh*, maka dilakukan independensi *mesh* agar hasil simulasi tidak tergantung pada jumlah dan jenis *mesh*. Sebagai tahap awal adalah simulasi CFD dengan menggunakan *Mesh* paling kasar ada pada Gambar 1.a dan *Mesh* teroptimal pada Gambar 1.b Sebagai berikut :



Gambar 1. Perbandingan Hasil *Meshing* Pada Boiler *Existing*

Parameter	Value
Status	Solver is finished.
Total cells	203,363
Fluid cells	116,119
Solid cells	87,244
Fluid cells contacting solids	60,119
Iterations	247
Last iteration finished	09:04:50
CPU time per last iteration	00:00:10
Travels	2.64672
Iterations per 1 travel	94
Cpu time	0 : 37 : 11
Calculation time left	0 : 0 : 0
Run at	LAPTOP-1LNMFEVB
Number of cores	10

Parameter	Value
Status	Calculation
Total cells	1,491,428
Fluid cells	988,864
Solid cells	502,564
Fluid cells contacting solids	447,613
Iterations	436
Last iteration finished	21:34:41
CPU time per last iteration	00:00:27
Travels	2.35939
Iterations per 1 travel	185
Cpu time	3 : 13 : 42
Calculation time left	0 : 3 : 19
Run at	LAPTOP-1LNMFEVB
Number of cores	10

Gambar 2. Tabel *Running Parameter Meshing* Tipe kasar dan Optimal

Gambar diatas menunjukkan visualisasi proses *meshing* yang dilakukan pada boiler Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Tanjung Priok dengan tingkat *meshing* yang paling kasar menghasilkan total *meshing* sebanyak 203.363 *cells* pada gambar 2.a sampai dengan tingkat *meshing* yang paling optimal menghasilkan total *meshing* sebanyak 1.491.428 *cells* pada gambar 2.a secara lebih detail.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data Penelitian

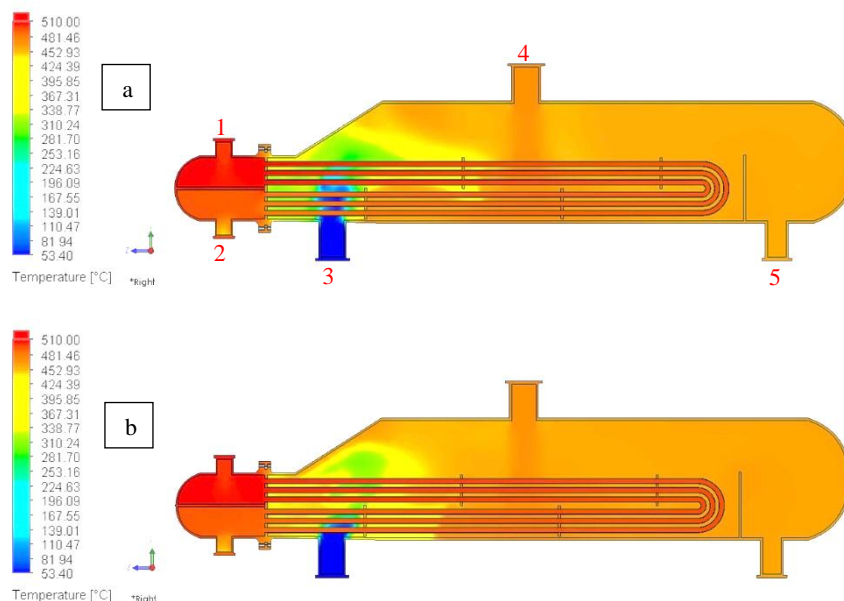
Fluida Gas Methane		Fluida Water	
Thi	: 510 °C	Tci	: 53,4 °C
$\dot{m}_{gas}$	: 78,48 kg/s	$\dot{m}_{uap}$	: 45 kg/s
Phi	: 39.8 Bar $\approx$ 4032735 Pa	$\dot{m}_{air}$	: 45,5 kg/s
Pho	: 1,25 Bar $\approx$ 126656,25 Pa	Pci	: 2,2 Bar $\approx$ 222915 Pa
Pa		Pco	: 37,8 Bar $\approx$ 3799687,5 Pa
		Tco	: 457 °C

#### 3.1.1 Hasil Simulasi Pada Temperatur

Hasil simulasi yang didapatkan dari *meshing* tipe kasar ini terlihat pada gambar *cut contours* dengan proses iterasi sebanyak 247 sedangkan *meshing* tipe optimal hasil simulasi di dapatkan dengan proses iterasi sebanyak 436 adapun perbandingan temperatur hasil simulasi dapat di lihat pada gambar 3. Point parameter 1 merupakan *inlet* gas methane, point parameter 2 merupakan *outlet* gas methane, point parameter 3 adalah inlet air, point parameter 4 merupakan outlet uap, sedangkan *point* parameter 5 merupakan *outlet* sisa dari air yang berlebih pada boiler.

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area	Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area
Temperature (Fluid) [°C]	53.40	510.00	400.78	439.58	0.2374	Temperature (Fluid) [°C]	53.40	510.00	347.74	439.52	0.0945

Gambar 3. Perbandingan Tabel *Surface Parameter* Pada Temperatur



Gambar 4. Perbandingan Hasil Simulasi Temperatur Boiler Existing

Gambar 4.a merupakan hasil simulasi tipe kasar dapat diketahui bahwa nilai minimum dari temperatur di tunjukan oleh warna biru dengan nilai pada inlet air yaitu sebesar 53.4 °C sedangkan nilai maximum di tunjukan oleh warna merah dengan nilai sebesar 510 °C pada *inlet* gas methane dengan *surface area* atau elemen *meshing* sebesar 0.2374 m<sup>2</sup>, sedangkan gambar 4.b merupakan simulasi tipe optimal dengan hasil temperatur minimum dan

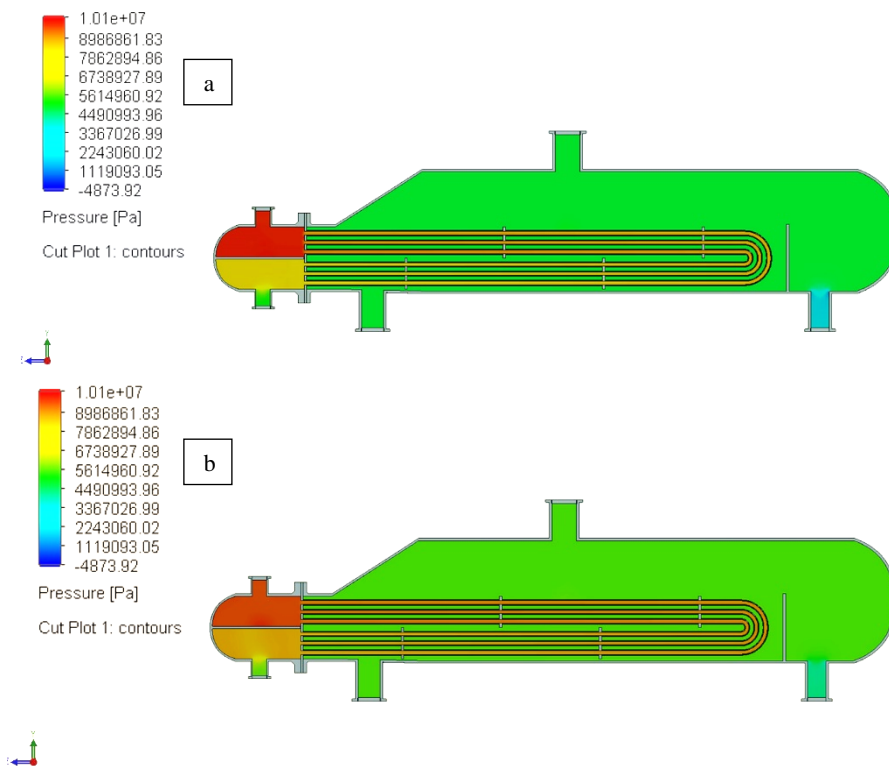
maximum yang sama tetapi dengan *surface area* atau elemen *meshing* yang lebih kecil yaitu sebesar 0.0945 m<sup>2</sup>.

### 3.1.2 Hasil Simulasi Pada Tekanan

Hasil simulasi yang didapatkan dari *meshing* tipe kasar ini pada gambar 5. Tabel *surface parameter* dengan proses iterasi sebanyak 247 dengan elemen pada bagian fluid sebanyak 116,119 *cells* dan pada bagian solid sebanyak 87,244 *cells*. sedangkan *meshing* tipe optimal hasil simulasi di dapatkan dengan proses iterasi sebanyak 436 dengan elemen pada bagian *fluid* sebanyak 988,864 *cells* dan pada bagian *solid* sebanyak 502,564 *cells*. adapun perbandingan tekanan hasil simulasi dapat di lihat pada gambar 5 secara lebih rinci.

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area	Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area
Pressure [Pa]	4873.92	1.01e+07	3424112.88	1951624.12	0.0945	Pressure [Pa]	4873.92	1.01e+07	1295322.52	1981348.76	0.2374

Gambar 5. Perbandingan Tabel *Surface Parameter* Pada Tekanan



Gambar 6. Perbandingan Hasil Simulasi Tekanan Boiler Existing

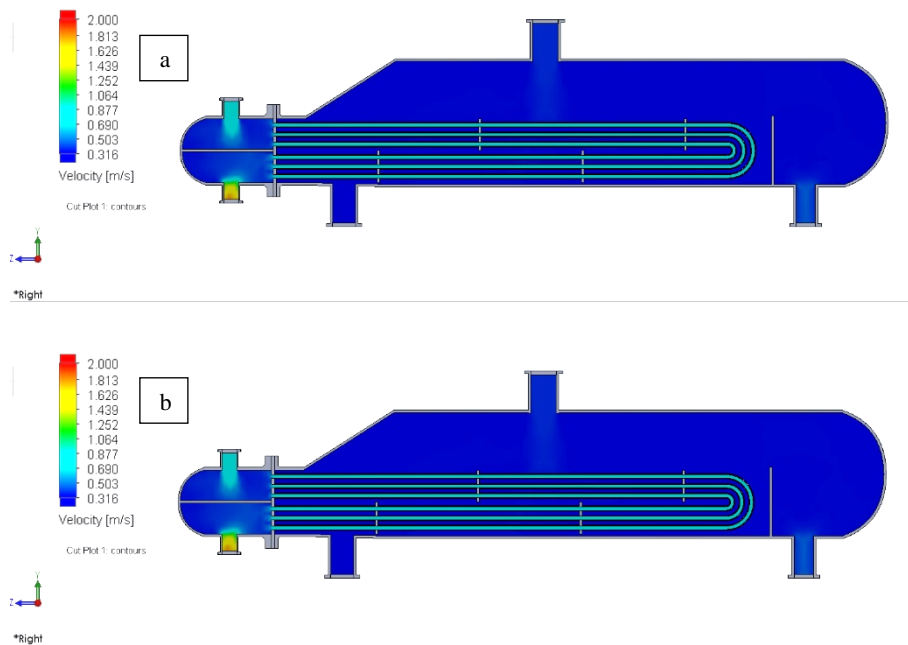
Gambar 6.a merupakan hasil simulasi tipe kasar dapat diketahui bahwa nilai minimum dari tekanan di tunjukan oleh warna biru pada *outlet* sisa uap dengan nilai sebesar 4873,92 Pa sedangkan nilai maximum di tunjukan oleh warna merah pada *inlet* gas methane dengan nilai sebesar 1,01E+07 dengan *surface area* atau elemen *meshing* sebesar 0.2374 m<sup>2</sup>, sedangkan gambar 6.b merupakan simulasi tipe optimal dengan hasil tekanan yang sama tetapi dengan *surface area* atau elemen *meshing* yang lebih kecil yaitu sebesar 0.0945 m<sup>2</sup> pada gambar *cut contour*.

### 3.1.3 Hasil Simulasi Pada Kecepatan Aliran

Hasil simulasi yang didapatkan dari *meshing* tipe kasar ini terlihat pada gambar *cut contours* dengan proses iterasi sebanyak 247 sedangkan *meshing* tipe optimal hasil simulasi di dapatkan dengan proses iterasi sebanyak 436 adapun perbandingan temperatur hasil simulasi dapat di lihat pada gambar 3.

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area	Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area
Velocity [m/s]	0.316	1.837	0.621	0.472	0.2374	Velocity [m/s]	0.316	1.837	0.690	0.562	0.0945

Gambar 7. Perbandingan Tabel *Surface Parameter* Pada Kecepatan Aliran



Gambar 8. Perbandingan Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Boiler Existing

Gambar 8.a merupakan hasil simulasi tipe kasar dapat diketahui bahwa nilai minimum dari kecepatan aliran di tunjukan oleh warna biru pada bagian boiler dengan nilai sebesar 0,316 m/s, sedangkan nilai maximum di tunjukan oleh warna merah pada *outlet* gas methane dengan nilai sebesar 1,837 m/s dengan *surface area* atau elemen *meshing* sebesar 0.2374 m<sup>2</sup>, sedangkan gambar 8.b merupakan simulasi tipe optimal dengan hasil kecepatan yang sama tetapi dengan *surface area* atau elemen *meshing* yang lebih kecil yaitu sebesar 0.0945 m<sup>2</sup>, dari hasil simulasi tersebut bahwa nilai kecepatan yang di dihasilkan masih di bawah dari nilai batas yang di ijinakan. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dari temperatur, tekanan dan kecepatan aliran maka dapat di sampaikan bahwa *mesh* yang di buat tidak berpengaruh terhadap hasil dari simulasi. Dengan demikian independensi *mesh* berhasil di lakukan.

## 3.2 Pembahasan

### 3.2.1 Mencari sifat-sifat gas methane

Diketahui dari data *existing* bahwa temperatur gas methane masuk sebesar (Th<sub>i</sub>) = 510 °C dan temperatur gas methane keluar sebesar (Th<sub>o</sub>) = 380 °C, sehingga di peroleh nilai temperatur rata-rata sebagai berikut :

$$\Delta T1 = \frac{Th_i + Th_o}{2} = \frac{(510 + 380)^\circ C}{2} = 445^\circ C$$

Sifat-sifat gas methane pada temperatur  $445\text{ }^{\circ}\text{C} = 718\text{ }^{\circ}\text{K}$  dari tabel 2.10 *thermophysical properties of thirteen common gases using computer equations*, dari 3 edition *Handbook of Heat Transfer – New York : Mcgraw-Hill*. di dapat data *properties* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \mu &= 0.0000216 && \text{N.s/m}^2 \\ k_1 &= 0.111489 && \text{W/m.K} \\ Pr_1 &= 0.695 \\ Cp_1 &= 3.5886 && \text{Kj/kg.K} \end{aligned}$$

### 3.2.2 Mencari sifat-sifat air

Diketahui dari data existing bahwa temperatur air masuk sebesar  $(T_{c_i}) = 54,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan temperatur uap keluar sebesar  $(T_{c_o}) = 457\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sehingga di peroleh nilai temperatur rata-rata sebagai berikut :

$$\Delta T_2 = \frac{T_{c_i} + T_{c_o}}{2} = \frac{(54,3 + 457)^{\circ}\text{C}}{2} = 255,2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Sifat-sifat air pada temperatur  $255,2\text{ }^{\circ}\text{C} = 528,2\text{ }^{\circ}\text{K}$  Dari tabel A.6 *Thermophysical properties of saturated water*, dari 6th edition *Fundamentals of Heat and Mass Transfer by Frank P. Incropera – David P. Dewwit* di dapat data *properties* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \mu_2 &= 0.000106 && \text{N.s/m}^2 \\ \rho_2 &= 1000 && \text{Kg/m}^3 \\ k_2 &= 0.61034 && \text{W/m.K} \\ Pr_2 &= 1.3828 \\ Cp_2 &= 4.9302 && \text{Kj/kg.K} \end{aligned}$$

### 5.3.3 Menghitung laju kapasitas

$$\begin{aligned} Ch &= w_1 \cdot Cp_1 = \text{laju kapasitas fluida panas} \\ &= 78,48 \cdot 4.9302 && \text{Kg/s. Kj/kg.K} \\ &= 281,6333 && \text{Kw/K} \\ Cc &= w_2 \cdot Cp_2 = \text{laju kapasitas fluida dingin} \\ &= 45,5 \cdot 3,9132 && \text{Kg/s. Kj/kg.K} \\ &= 224,3241 && \text{Kw/K} \end{aligned}$$

Karena  $Cc \ll Ch$ , Maka  
 $Cc = C \text{ Min}$ , dan  $Ch = C \text{ Max}$   
 $Cr = C \text{ min} / C \text{ Max}$   
 $= 224,3241 / 281,6333$   
 $= 0.796511$

### 5.3.4 Mencari harga keefektifan Boiler

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{ch (Th_i - Tho)}{C \text{ min} (Th_i - T_{c_i})} = \frac{Cc (T_{c_o} - T_{c_i})}{C \text{ min} (Th_i - T_{c_i})} \\ &= \frac{281,6333 (510 - 380)}{224,3241 (510 - 53,4)} \\ &= 0,35745 \end{aligned}$$

## 4. SIMPULAN

Boiler merupakan salah satu komponen yang memiliki peranan yang sangat penting yang digunakan pada PLTGU Tanjung Priok. Dalam sistem pembangkit listrik berfungsi sebagai media penukar panas. Proses simulasi yang dilakukan pada *software CFD solidworks flow simulation* melalui tiga tahap yaitu *Preprocessor; Processor; Postprocessor*. Pada proses perhitungan didapatkan hasil efektivitas boiler sebesar 0,35. Berdasarkan pada hasil simulasi



di temukan bahwa baik temperatur, tekanan dan kecepatan aliran adalah sama besarnya. yang memiliki grid kasar dengan proses iterasi sebanyak 247 dengan total elemen 203.363 *cells* sedangkan *meshing* tipe optimal hasil simulasi di dapatkan dengan proses iterasi sebanyak 436 dengan total elemen 1.491.428 *cells*. Berdasarkan hal itu dapat kita simpulkan sebagai berikut:

1. Perbedaan elemen *mesh* tidak akan mempengaruhi sebuah hasil apabila boundary conditions dan initial condition yang di berikan tepat.
2. Independensi *Mesh* tidak berpengaruh terhadap hasil sepanjang penempatan *mesh* di bagian yang dekat dengan dinding dilakukan secara cermat sehingga tidak dipengaruhi oleh *boundary layer* di dekat dinding. Sebagai akibatnya hasil simulasi tidak berpengaruh signifikan akibat adanya grid.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al-Kindi, Hablinur. 2015. “Analisis *Computational Fluid Dynamics (CFD)* Aliran Udara Panas Pada Pengeriing Tipe Rak Dengan Sumber Energi Gas Buang”. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- [2] Arvirianty, A. 2019 “Menengok Nasib Mega Proyek 35 Ribu MW yang Digagas Jokowi” CNBC Indonesia 14/07/2019
- [3] F. P. Incopera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, *Fudamental Of Heat And Mass Transfer 6th Edition*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [4] Kumar. A Et al. (2016) “*3D CFD simulations of air cooled condenser-III: Thermal–hydraulic characteristics and design optimization under forced convection conditions*”. *International Journal of Heat and Mass Transfer*
- [5] Kupprn, T. (2000). *Heat Exchanger Design Handbook*. India. Marcell Dekker, Inc.
- [6] Nurdianto, E. 2016. “Analisis computational fluid dynamics (CFD) dan optimalisasi untuk redesain proses akhir PENGERINGAN kopra di usaha koperasi bersama kopra putih sonia kabupaten pringsewu: Bandar Lampung”.
- [7] Ourliac, Mathieu. 2017. “*Computational Fluid Dynamics along the Energy Value Chain: From Natural Gas processing to Industrial End-Use*”.
- [8] Ramadhan, G.S, Luntungan H, Maluegha B. 2014. *Simulasi numerik aliran fluida dalam penstock dengan menggunakan computational fluid dynamics (CFD): Manado*.
- [9] Rabiee, Ataollah. 2016. “*Horizontal steam generator thermal hydraulic simulation in typical steady and transient conditions*”.
- [10] Rohsenow, W, M., Hartnett, J P., & Cho, Y. I. (1998). *Handbook of Heat Transfer (Third Edition)*. New York : McGraw-Hill
- [11] Seiwert, J. 2019. “*Independent measurement of condensation and vaporisation heat transfer coefficients: An alternative to the Wilson plot method suitable for multiphase exchangers*”.
- [12] Wei. Gaosheng. Et al. (2012) “*Scheme Design and Analysis of Variable Condition of Evaporative Condenser for Steam Condensing of Steam Feeding Water Pump for 1000MW Air-cooled Unit*” *International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems*