

Analisis Perancangan Coil Heater Menggunakan Simulasi SolidWorks Flow

Ampala Khoryanton¹, Ermanu Azizul Hakim²

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Jl Prof H Soedarto, SH Tembalang, Semarang 50275

² Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

Kontak Person:

Ampala Khoryanton

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Jl Prof H Soedarto, SH Tembalang, Semarang 50275

E-mail: ampala.khoryanton@polines.ac.id

Abstrak

PT. Indonesia Power UJP Jateng 2 Adipala mengoperasikan pembangkit listrik dengan kapasitas 1 x 660 MW. Dalam proses produksi, primary air fan (PAF) berfungsi menyuplai udara primer ke boiler. Masalah utama yang dihadapi adalah korosi pada blade PAF akibat temperatur rendah, yang memicu vibrasi berlebih dan berpotensi menyebabkan trip sistem jika terlambat ditangani. Untuk mengatasi masalah ini, dirancang coil heater di sisi inlet udara PAF menggunakan konsep heat exchanger. Udara panas dari Auxiliary Boiler Header digunakan untuk menaikkan temperatur udara masuk, mencegah korosi, dan mengurangi vibrasi. Rancangan dibuat menggunakan software SolidWorks, disertai simulasi aliran menggunakan SolidWorks Flow Simulation. Metodologi penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data spesifikasi PAF, analisis vibrasi, dan temperatur lingkungan, desain 3D, serta simulasi. Parameter simulasi mencakup material, jenis aliran, temperatur, dan debit aliran udara. Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperatur udara outlet meningkat dari 28°C menjadi 60,78°C setelah melalui coil heater. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan coil heater efektif mencegah korosi akibat temperatur rendah dan dapat direkomendasikan untuk mengatasi masalah vibrasi pada primary air fan.

Kata kunci: Primary Air Fan, Coil Heater, Korosi, Vibrasi, desain 3D, heat exchanger

1. PENDAHULUAN

PT. Indonesia Power Unit Jasa Pembangkitan Jateng 2 Adipala merupakan perusahaan yang menerapkan teknologi supercritical boiler yang pertama kali dimiliki oleh PT. PLN dengan kapasitas 1 x 660 MW, tegangan 22 KV yang turut mensupply kelistrikan Jawa – Bali sebesar 4% dari daya kapasitas terpasang 15.090 MW. Terdapat beberapa area produksi utama pada PLTU Jateng 2 Adipala ini diantaranya, Balance of Plant (BOP), Unit pembangkit, dan Coal and Ash Handling (Energi Primer). PT. Indonesia Power Unit Jasa Pembangkitan Jateng 2 Adipala menggunakan bahan bakar utama batu bara low rank coal yang mempunyai nilai kalor pada kisaran 3900-4500 kcal/kg. Bahan bakar ini didatangkan dari Pulau Sumatra dan Kalimantan dengan perkiraan kebutuhan per jamnya 671,18 t/h (CCR Unit Pembangkit, 2017).

Proses produksi unit pembangkit pada boiler, terdapat suplai udara primer yang dihembuskan oleh primary air fan yang berfungsi sebagai penyuplai udara primer yang akan digunakan sebagai udara pengangkut serbuk batubara dari pulverizer/mill menuju burner untuk dibakar. Selain itu primary air fan juga berfungsi untuk mengeringkan batubara di dalam pulverizer seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Primary air fan.



Gambar 2. Perpisahan hot and cool air

Primary air di bagi menjadi 2 aliran dan beserta fungsinya, yaitu : *Hot air* : Transfer abu batubara yang menuju *furnace* (ruang bakar) dan *cold air* : terdiri dari *sealing pulverizer*, *coal feeder*, dan mengatur temperatur *outlet mill*. Seperti di tunjukkan pada gambar 2. Konsekuensi operasi yang terus menerus, dan faktor lingkungan maka terdapat komponen yang terjadi aus, korosi, *looseness*, dan lain – lain [1]. Korosi tersebut terjadi dikarenakan faktor lingkungan yang dekat laut, dan rendahnya temperatur udara yang akan masuk ke inlet *primary air fan* dikarenakan faktor cuaca yang tidak menentu. Korosi tersebut timbul pada salah satu *blade primary air fan* sehingga terjadi *unbalance*, dan dapat mengakibatkan vibrasi yang tinggi. *Unbalance, misalignment and clearance/looseness* terjadi hampir 90% pada permasalahan vibrasi di *rotating machines* [2]. Seperti halnya *unbalance* pada *impeller* bisa disebabkan oleh kavitasi, korosi, korosi bahan kimia atau asam dan lain – lain, yang akan mengakibatkan *impeller* tersebut menjadi *unbalance* dan akan berakibat pada meningkatnya getaran pada pompa (vibrasi) [3].



Gambar 3 Blade Primary air fan

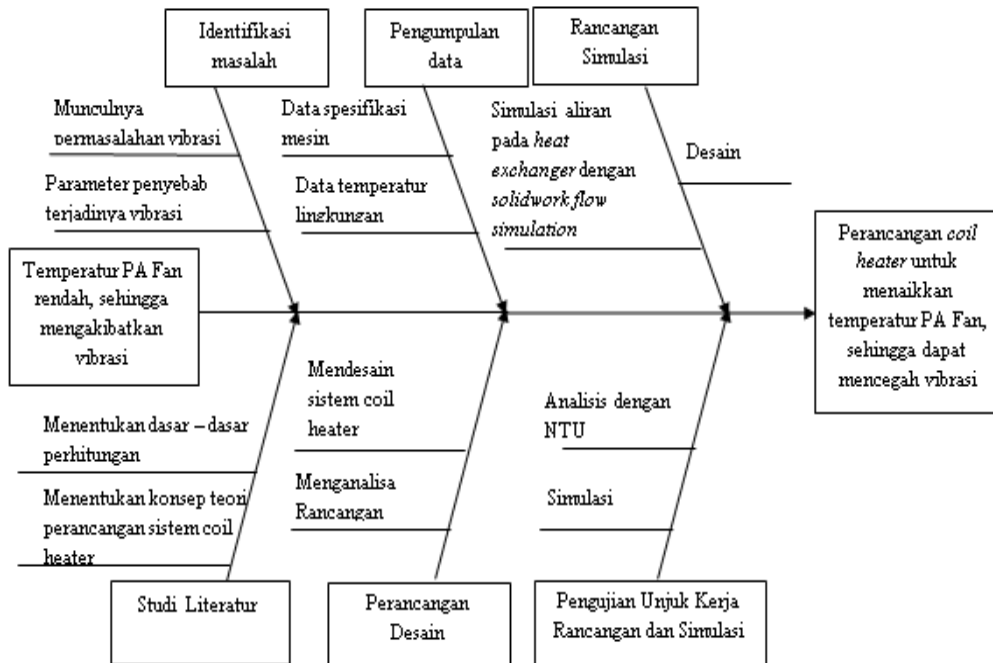
Merancang *coil heater* dinilai mampu untuk mencegah terjadinya korosi yang disebabkan oleh rendahnya temperatur udara yang akan masuk pada *inlet primary air fan* yang dapat mengakibatkan vibrasi tinggi. *Coil heater* akan dipasang pada sisi *inlet* masukan udara *primary air fan*. *Software Computer Aided Design (CAD)* berupa *solidwork* digunakan untuk simulasi *flow* dan desain 3D *coil heater*[4]. Studi kasus untuk memberikan pemecahan masalah vibrasi yang terjadi karena rendahnya temperatur udara yang akan masuk ke inlet *primary air fan*, sehingga menyebabkan korosi pada *primary air fan* area unit pembangkit PT. Indonesia Power Unit Jasa Pembangkitan Jateng 2 Adipala didapatkan penerapan sistem *coil heater* pada *primary air fan*. Tujuan dari studi kasus yaitu menganalisis hasil perancangan penerapan *Coil Heater* dalam meningkatkan temperatur udara atmosfer menjadi 60°C, dan Menguji rancangan *Solidwork Flow Simulation Coil Heater* untuk mengetahui kenaikan temperatur atmosfer yang masuk ke *inlet primary air fan* setelah dipasang *Coil Heater*.

Urgensi penelitian ini terletak pada pentingnya menjaga keandalan dan efisiensi operasi pembangkit listrik. Primary Air Fan (PAF) memegang peran vital dalam suplai udara primer untuk proses pembakaran di boiler[5]. Korosi pada blade akibat temperatur rendah dapat memicu vibrasi berlebih, yang tidak hanya mengganggu kinerja sistem tetapi juga meningkatkan risiko *trip*, sehingga berpotensi menghentikan produksi listrik[6]. Masalah ini berdampak langsung pada operasional pembangkit, termasuk potensi kerugian ekonomi akibat downtime dan biaya perbaikan. Oleh karena itu, solusi yang efektif dan terukur, seperti penerapan *coil heater*, menjadi sangat mendesak untuk memastikan temperatur udara masuk tetap optimal, mencegah korosi, dan mengurangi vibrasi. Penelitian ini juga memberikan kontribusi penting dalam pengembangan metode berbasis teknologi simulasi untuk desain dan analisis alat. Dengan menggunakan pendekatan seperti *heat exchanger* dan verifikasi menggunakan simulasi *SolidWorks Flow* serta metode NTU, hasil penelitian ini dapat menjadi

rujukan teknis dalam perancangan sistem serupa di industri energi. Dampaknya tidak hanya pada peningkatan performa alat tetapi juga pada efisiensi dan keberlanjutan operasional pembangkit listrik.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian menggunakan fishbone diagram yang berisi langkah dalam melakukan penelitian seperti terlihat pada gambar 4.



Gambar 4 Metodologi Penelitian Perancangan Coil Heater

Bahasan utama direpresentasikan pada fishbone diagram. Berikut adalah penjelasan dan langkah – langkah dari pokok bahasan utama.

2.1 Identifikasi Masalah

Masalah yang dihadapi pada penelitian ini terdapat di PT. Indonesia Power UJP Jateng 2 Adipala. Masalah yang terdapat di unit pasokan udara boiler *Primary Air Fan* yaitu rendahnya temperatur pada *primary air fan* sehingga mengalami vibrasi.

- Munculnya permasalahan vibrasi, Munculnya permasalahan vibrasi ditandai dengan pengecekan berkala yang dilakukan oleh pihak pdm, yang kemudian ditemukannya vibrasi pada *primary air fan*.
- Parameter penyebab terjadinya vibrasi, Penyebab terjadinya vibrasi yang terjadi di *primary air fan* yakni rendahnya temperatur lingkungan yang mengakibatkan *blade primary air fan* mengalami korosi, sehingga korosi tersebut mengakibatkan *unbalance* dan terjadilah fenomena vibrasi.

2.2 Studi Literatur

Studi literatur sangat diperlukan untuk mencari petunjuk pemecahan masalah dengan mengacu pada handbook, manual book maupun jurnal penelitian. Terdapat dua poin penting pada studi literatur yaitu:

- Menentukan konsep teori perancangan sistem *coil heater*. Dasar Teori merupakan kegiatan pencarian dasar materi-materi yang berkaitan dengan kasus vibrasi pada *primary air fan*. Dasar – dasar teori ini didapatkan dari pencarian jurnal-jurnal penelitian, buku, dan literature-literatur lain yang berhubungan dengan kasus terkait. Seperti pemahaman vibrasi beserta dampak, penyebab dan penanganannya.
- Menentukan dasar – dasar perhitungan. Dasar Perhitungan terdiri dari pencarian materi-materi perhitungan yang mendukung dan berkaitan dengan kasus vibrasi pada *primary air fan*, perhitungan

desain *coil heater*. Seperti perhitungan panjang *coil*, koefisien penerpan total yang terjadi, dan perhitungan efektifitas *heat exchanger*.

2.3 Pengumpulan Data

Terdapat dua metode yang digunakan dalam proses pengumpulan data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapat dengan melakukan pengamatan secara langsung maupun melalui wawancara dengan operator, *staff PDM*, *staff* unit boiler, dan *staff maintenance*. Sementara data sekunder yaitu data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya. Pengambilan data tersebut meliputi :

- Data spesifikasi mesin. Data – data mengenai spesifikasi mesin *primary air fan* diantaranya debit *air fan inlet*, debit *steam* dari *auxiliary boiler*, dan jenis material yang digunakan pada *blade primary air fan*.
- Data temperatur lingkungan. Data temperatur lingkungan diambil pada BMKG kota Adipala, didapatkan range temperature udara pada November 2023 hingga Januari 2024 yang diperoleh range temperature udara rata – rata sebesar 23,6°C hingga 29,3°C.

2.4 Rancangan Simulasi

- Desain. Memasukkan desain yang telah dibuat di *solidwork* ke dalam *solidwork flow simulation* dengan memasukkan beberapa parameter, antara lain : material, jenis flow yang akan digunakan, temperatur, dan debit aliran *primary air fan* dan *auxiliary boiler*.
- Simulasi pada *Heat Exchanger*. Pengujian komponen *heat exchanger* akan dilakukan dengan pembuatan simulasi pada desain 3D yang telah dibuat sebelumnya di *software solidworks*.

2.5 Pengujian Unjuk Kerja Rancangan dan Simulasi

- Simulasi. Proses pembuatan simulasi akan dibuat menggunakan salah satu fitur yaitu *solidwork flow simulation*. *Output* yang diperoleh dari pengujian ini yaitu temperatur *outlet air heat exchanger*, sementara *input* parameter yang digunakan yaitu temperatur *inlet* dan *outlet steam*, serta temperatur *inlet air*. Pembuatan simulasi diawali dengan penentuan fluida yang digunakan, penentuan aliran fluida udara pembakaran primer yang akan dipanaskan, dan pemilihan material yang akan digunakan. Setelah parameter pembuatan simulasi dimasukkan, maka dapat diketahui nilai temperatur *outlet air* dari *coil heater* setelah melewati proses *heat exchanger*.
- Analisis dengan NTU. Analisis dengan NTU berupa pengujian nilai temperatur *outlet* yang dihasilkan simulasi, apakah sudah sesuai dengan perhitungan nilai temperatur *outlet* menggunakan metode NTU.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Rancangan Simulasi *Coil Heater*

Analisis rancangan simulasi dimulai dari perhitungan dimensi coil heater yang dapat ditentukan dengan memasukkan nilai log mean temperature different (LMTD), dan simulasi aliran pada *heat exchanger* dengan *solidwork flow simulation*. Perhitungan LMTD dapat diketahui berdasarkan persamaan:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln[(T_{hi} - T_{co}) / (T_{ho} - T_{ci})]} \quad (1)$$

Data yang telah diketahui : $T_{c,o} = 333\text{K}$; $T_{c,i} = 301\text{K}$; $T_{h,i} = 497\text{K}$; $T_{h,o} = 450\text{K}$ dengan memasukkan nilai temperatur inlet, outlet pada masing – masing fluida, maka

$$\Delta T_{lm} = \frac{(497\text{K} - 333\text{K}) - (450\text{K} - 301\text{K})}{\ln[(497\text{K} - 333\text{K}) / (450\text{K} - 301\text{K})]} = 156,38\text{K}$$

- Perhitungan panjang *coil heater*

Data yang telah diketahui : $q = 954,78\text{ (Watt)}$; $U = 2,26\text{ (W/m}^2\text{K)}$; $d_o = 0,3\text{ (m)}$; $\Delta T_{lm} = 156,38\text{ (K)}$, maka panjang *coil heater* dapat di hitung berdasarkan persamaan:

$$L = \frac{q}{U \cdot \pi \cdot D \cdot \Delta T_{lm}} \quad (2)$$

$$L = \frac{954,78 \text{ Watt}}{2,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot \pi \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 156,38 \text{ K}} = 2,87 \text{ m}$$

- Perhitungan nilai luas bidang pinnerpan

Data yang telah diketahui : $q = 954,78$ (Watt); $U = 2,26$ (W/m²K); $\Delta T_{lm} = 156,38$ (K), maka nilai luas coil heater:

$$A = \frac{q}{U \Delta T_{lm}} \quad (3)$$

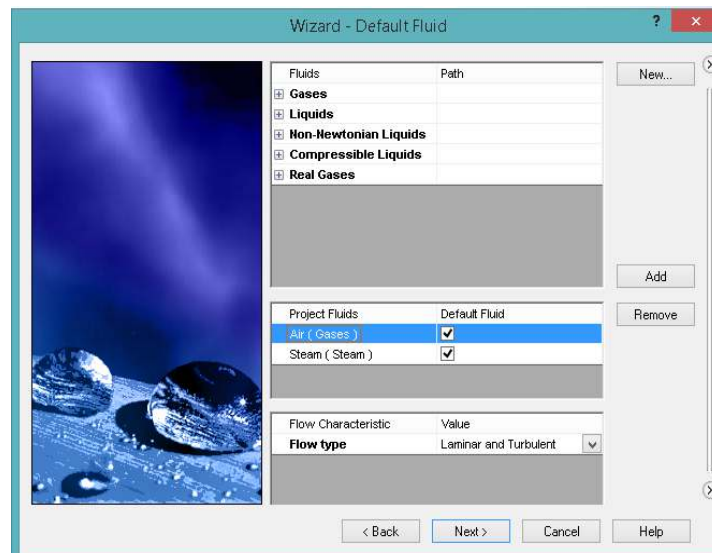
$$A = \frac{954,78 \text{ (Watt)}}{2,26 \text{ (W/m}^2\text{K)} \cdot 156,38 \text{ (K)}} = 2,7 \text{ m}^2$$

- Simulasi aliran pada heat exchanger dengan solidwork flow simulation

Heat exchanger berfungsi untuk mentransfer panas antara dua atau lebih fluida tanpa mencampurkannya secara langsung. Efisiensi sistem ini sangat bergantung pada desain geometri, material, dan sifat fluida yang digunakan. Dengan kemajuan teknologi simulasi berbasis komputer, proses perancangan dan evaluasi heat exchanger dapat dilakukan secara virtual untuk mengurangi biaya dan waktu uji coba fisik. SolidWorks Flow Simulation adalah salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk analisis ini, memungkinkan simulasi kondisi nyata seperti aliran internal dan perpindahan panas.

Model heat exchanger dirancang menggunakan SolidWorks, meliputi bagian-bagian utama seperti tabung, pelat penukar panas, dan saluran fluida. Geometri diperiksa untuk memastikan tidak ada celah atau ketidaksesuaian yang dapat mempengaruhi simulasi. Pengaturan Proyek di SolidWorks Flow Simulation dibuat menggunakan Flow Simulation Wizard. Pengaturan awal meliputi:

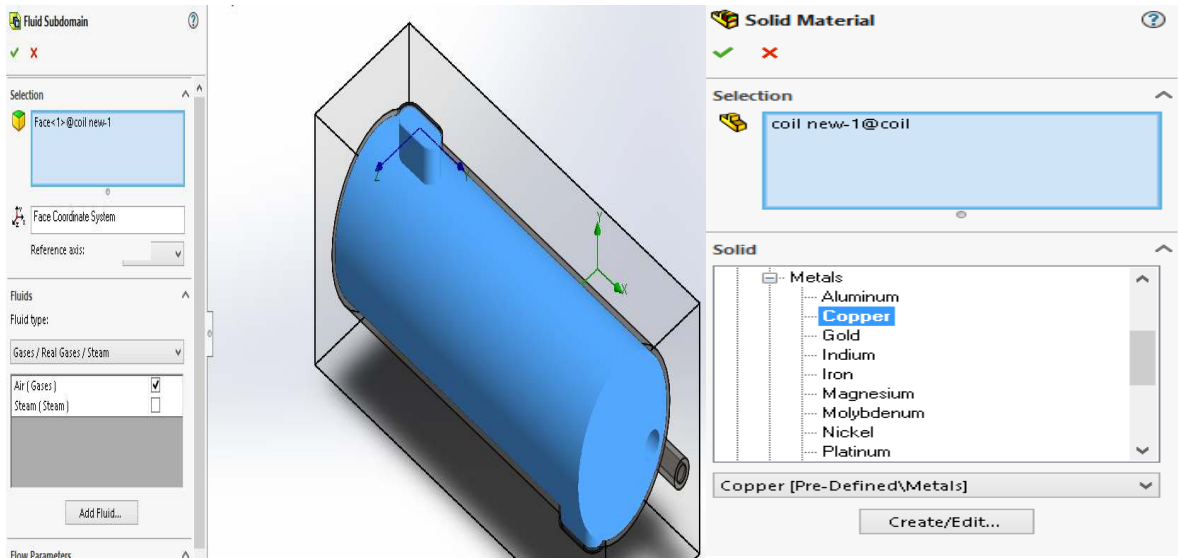
- Jenis Analisis: Aliran internal dengan perpindahan panas pada fluida dan padatan.
- Fluida yang Digunakan: Air sebagai fluida kerja.
- Kondisi Termal: Mempertimbangkan perpindahan panas konduksi pada material padat dan konveksi pada fluida.



Gambar 5 Penentuan fluida yang digunakan

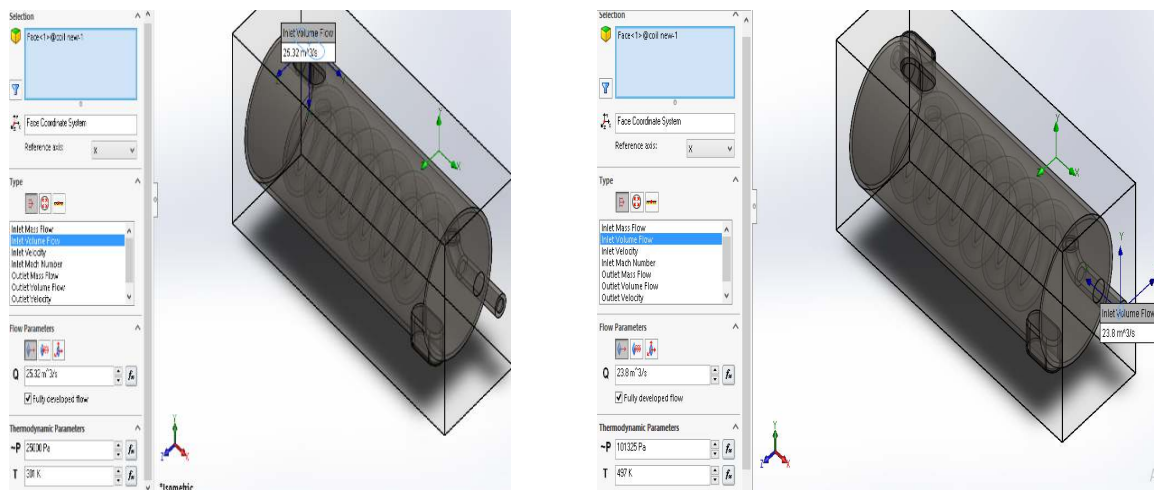
Pembuatan simulasi diawali dengan penentuan fluida yang digunakan, penentuan aliran fluida udara pembakaran primer yang akan dipanaskan, dan pemilihan material yang akan digunakan. Aliran fluida masuk *Heat exchanger berupa* uap air (*steam*) sisa dan fluida dingin berisi uap air (*steam*) maka pada menu *project fluid* default fluidanya di sesuaikan dengan fluida yang mengalir pada *Heat*

exchanger. Fluida udara pembakaran yang akan dipanaskan dan material yang digunakan adalah copper seperti di tunjukkan pada gambar 6



Gambar 6. Fluida udara pembakaran yang akan dipanaskan dan Material coil heater

Parameter utama yang digunakan dalam *solidwork flow simulation* khususnya dalam desain coil heater adalah temperatur, tekanan, dan laju aliran volume. Pada inlet udara dingin, parameter yang digunakan yakni temperatur 301°K, tekanan 25000 Pa, dan laju aliran volume sebesar 25,32 m³/s. Seperti ditunjukkan pada gambar 7.

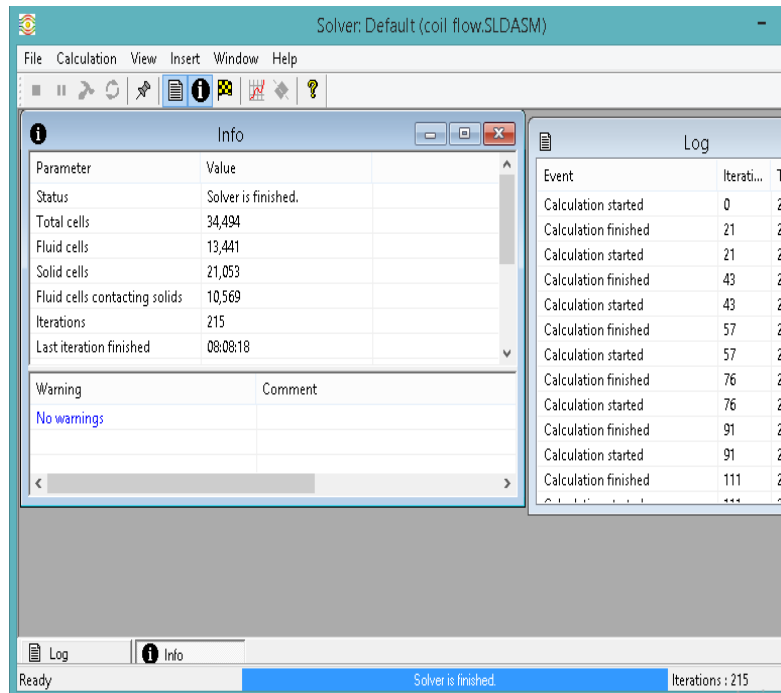


Gambar 7. Parameter inlet udara panas

Pada inlet udara panas (steam), parameter yang digunakan yakni temperatur 497°K, tekanan 101325 Pa, dan laju aliran volume sebesar 23,8 m³/s. Seperti ditunjukkan pada gambar 7.

Jika semua parameter telah dimasukkan kedalam perancangan coil heater, maka akan didapat temperatur kerja udara pembakaran primer setelah melalui coil heater dengan menekan tombol run, maka semua parameter akan mulai diproses pada solidwork flow simulation. Hasil yang dianalisis meliputi distribusi

suhu, tekanan, dan jalur aliran fluida. Seperti ditunjukkan pada gambar 8 dan gambar 9 Nilai temperatur outlet air coil heater

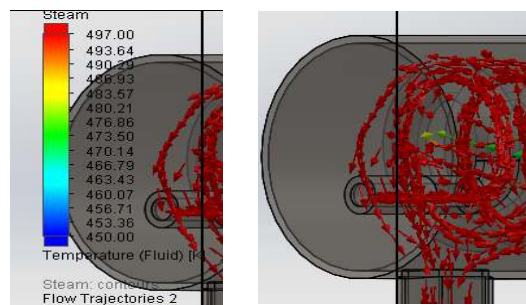


Gambar 8. Run program

Hasil simulasi menunjukkan bahwa suhu fluida menurun secara signifikan sepanjang tabung heat exchanger, dengan gradien suhu yang merata pada daerah aliran utama. Pola distribusi aliran menunjukkan adanya vorteks kecil di sekitar area belokan, yang dapat memengaruhi efisiensi perpindahan panas. Dari analisis jalur aliran, dapat disimpulkan bahwa desain saat ini cukup efisien dalam mentransfer panas, namun optimasi lebih lanjut dapat dilakukan dengan meningkatkan laju aliran atau memodifikasi geometri tabung.

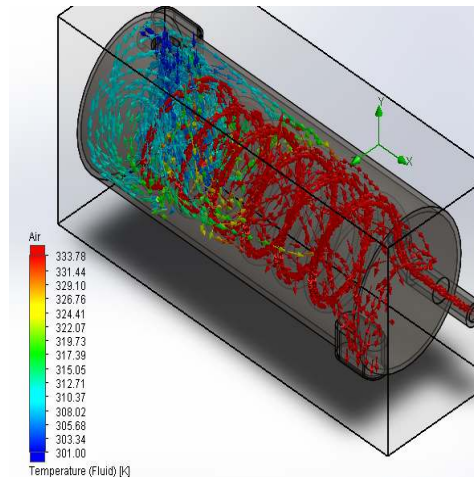
3.2. Pembahasan Hasil Rancangan Simulasi *Coil Heater*

Pengujian menggunakan solidworks adalah untuk mengetahui temperatur outlet yang dihasilkan dari proses heat exchanger pada solidwork flow simulation dan simulasi aliran dari sistem coil heater yang sudah dirancang. Prinsip kerja coil heater adalah ketika temperatur udara atmosfer yang masuk pada inlet udara primary air fan akan melewati coil heater, sehingga temperatur atmosfer akan meningkat karena terjadi proses perpindahan panas. Perencanaan dan prinsip kerjanya seperti di tunjukkan pada gambar 11.



Gambar 9 Inlet steam coil heater

Auxiliary boiler header dengan *steam* yang memiliki temperatur 224°C menuju *inlet steam coil heater*. *Steam* masuk dalam *coil heater* sebagai media pemanas udara lingkungan. Udara pembakaran primer dengan temperatur atmosfer yang akan menuju *Air Preheater* akan melewati *coil heater*, dan terjadi perpindahan panas dengan *coil* sebagai media pemanas udara pembakaran primer. Dilihat pada gambar 10 hasil pengujian dari *solidworks flow simulation* didapat nilai temperatur outlet udara sebesar $60,78^{\circ}\text{C}$.



Gambar 10 Nilai temperatur outlet air coil heater

Pada penelitian ini, coil heater dirancang untuk mengoptimalkan transfer panas dalam aplikasi pemanas berbasis konduksi dan konveksi. Simulasi dilakukan menggunakan *SolidWorks Flow Simulation*, dengan fokus pada analisis distribusi panas, efisiensi termal, dan pola aliran fluida di sekitar elemen pemanas.

Pola Distribusi Suhu

Hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi suhu pada coil heater cukup merata, terutama pada bagian inti (core) elemen pemanas. Suhu maksimum tercatat pada pusat coil, dengan nilai mencapai 224°C K sesuai pengaturan boundary condition. Penurunan suhu terpantau signifikan di area sekitar dinding luar karena perpindahan panas ke fluida di sekitarnya[7].

Pola Aliran Fluida

Simulasi pola aliran fluida di sekitar coil heater menunjukkan pembentukan vorteks pada area dekat permukaan coil. Fenomena ini disebabkan oleh perbedaan suhu yang memengaruhi densitas fluida dan menghasilkan sirkulasi alami (*natural convection*)[8]. Dari hasil visualisasi aliran: Kecepatan fluida meningkat di sekitar coil karena gradien suhu yang tinggi dan Pola sirkulasi alami membantu mendistribusikan panas ke fluida dengan lebih efisien, namun terdapat area stagnan di bagian tertentu yang mengurangi perpindahan panas.

Efisiensi Perpindahan Panas

Efisiensi transfer panas coil heater dihitung berdasarkan perubahan suhu fluida antara inlet dan outlet. Hasil simulasi menunjukkan efisiensi perpindahan panas sebesar 85%, yang tergolong tinggi untuk rancangan coil heater standar. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi meliputi: Laju aliran fluida yang optimal memastikan waktu kontak yang cukup dengan coil tanpa menyebabkan overheating dan rentang suhu yang sesuai menjaga perbedaan suhu antara coil dan fluida, meningkatkan perpindahan panas melalui konduksi dan konveksi[9].

Analisis Kelebihan dan Kekurangan Rancangan

Kelebihannya adalah geometri coil yang sederhana namun efektif untuk perpindahan panas, Efisiensi termal yang tinggi dalam mengonversi energi listrik menjadi panas, Distribusi panas yang merata pada elemen pemanas. Sedangkan kekurangannya adalah adanya area stagnan pada fluida yang dapat menyebabkan penumpukan panas dan keterbatasan pada skenario tertentu, seperti laju aliran fluida tinggi, yang memengaruhi efektivitas perpindahan panas[10].

Optimasi dan Rekomendasi

Berdasarkan hasil simulasi, beberapa rekomendasi untuk meningkatkan performa coil heater adalah Penambahan fitur seperti sirip atau modifikasi jarak antar lilitan coil dapat meningkatkan perpindahan panas, menggunakan material dengan konduktivitas termal yang lebih tinggi untuk meningkatkan distribusi suhu dan mengoptimalkan laju aliran fluida untuk mengurangi area stagnan dan meningkatkan efisiensi konveksi[11]. Simulasi rancangan coil heater menunjukkan bahwa desain ini mampu menghasilkan distribusi panas yang merata dengan efisiensi perpindahan panas yang tinggi. Pola aliran fluida yang terbentuk mendukung sirkulasi panas, meskipun terdapat area yang perlu dioptimalkan. Studi lanjutan diperlukan untuk memvalidasi hasil simulasi dengan eksperimen fisik dan mengevaluasi performa dalam berbagai kondisi operasional. Distribusi suhu sangat dipengaruhi oleh: Penggunaan material dengan konduktivitas termal tinggi, seperti Nichrome, memungkinkan transfer panas yang efektif dan bentuk spiral pada coil menciptakan jalur perpindahan panas yang optimal[12].

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari Analisis Perancangan coil heater untuk mencegah vibrasi tinggi di primary air fan adalah sebagai berikut :

- 1) Pada boiler PLTU Jateng 2 Adipala, udara dibedakan menjadi udara primer dan udara sekunder. Udara primer berfungsi untuk mengeringkan batubara di *pulverizer* dengan memanfaatkan udara *outlet Air Preheater* (APH) yang memiliki temperatur 399°C , dan membawa serbuk batubara ke ruang bakar. Sedangkan udara sekunder merupakan suplai udara yang digunakan untuk proses pembakaran pada *burner*. Udara sekunder dihisap dari udara atmosfer dengan menggunakan *force draft fan* (FD fan) dan dialirkan menuju APH untuk pemanasan seperti pada udara primer sebagai udara pembakaran menuju *furnace*.
- 2) Berdasarkan simulasi, pemasangan *coil heater* mampu meningkatkan udara pembakaran. Pemasangan *coil heater* ini dapat meningkatkan udara pembakaran primer dari inlet 28°C menjadi $60,78^{\circ}\text{C}$ sehingga mampu mencegah terjadinya korosi yang berakibat pada terjadinya fenomena vibrasi di *primary air fan* PT. Indonesia Power Unit Jasa Pembangkitan Jateng 2 Adipala.

Daftar Notasi

$T_{c,o}$	= Temperatur outlet fluida dingin (K)
$T_{c,i}$	= Temperatur inlet fluida dingin (K)
ΔT_{lm}	= <i>log mean temperature difference</i> (K)
$T_{h,i}$	= Temperatur inlet fluida panas (K)
$T_{h,o}$	= Temperatur outlet fluida panas (K).
q	= Laju energi panas (Watt)
U	= Overall heat transfer coefficient ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
d_o	= Diameter <i>inlet steam</i> (m)
A	= Luas bidang pinerpan (m^2)

REFERENSI

- [1] R. Wang, D. Yang, W. Wang, F. Wei, Y. Lu, and Y. Li, "Tool Wear in Nickel-Based Superalloy Machining: An Overview," *Processes*, vol. 10, no. 11, 2022, doi: 10.3390/pr10112380.
- [2] N. Rezazadeh, A. De Luca, and D. Perfetto, "Unbalanced, cracked, and misaligned rotating machines: a comparison between classification procedures throughout the steady-state operation," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 44, no. 10, pp. 1–14, 2022, doi: 10.1007/s40430-022-03750-1.
- [3] Y. Ro, W. S. Choi, H. Park, and K. C. Shin, "Failure Analysis of Casting Ni-Cr-Mo Impeller After Long-Term Weak Acid Exposure," *J. Fail. Anal. Prev.*, vol. 24, no. 2, pp. 510–519, 2024, doi: 10.1007/s11668-023-01852-z.
- [4] N. Analysis and O. F. A. Heat, "Asian Journal of Control," *Asian J. Control*, vol. 16, no. 3, pp. 943–943, 2014, doi: 10.1002/asjc.903.
- [5] J. Du, Y. Li, Y. Zhao, Y. Da, and D. Che, "Numerical Study of Supercritical Opposed Wall-Fired Boiler Furnace Temperature and High-Temperature Heating Surface Stress under Variable Load Operation," *Energies*, vol. 17, no. 3, 2024, doi: 10.3390/en17030663.
- [6] M. K. Hassan, W. M. Sindi, A. Mohamed, and A. H. Backar, "Failure analysis of gas turbine in first stage turbine blades in an urban power plant," *J. Eng. Therm. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 46–65, 2024, doi: 10.21595/jets.2024.23922.
- [7] H. M. Sadeghi, M. Babayan, and A. Chamkha, "Investigation of using multi-layer PCMs in the tubular heat exchanger with periodic heat transfer boundary condition," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 147, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118970.
- [8] X. Xu, C. Chang, X. Guo, and M. Zhao, "Experimental and Numerical Study of the Ice Storage Process and Material Properties of Ice Storage Coils," *Energies*, vol. 16, no. 14, 2023, doi: 10.3390/en16145511.
- [9] N. S. Pandya, H. Shah, M. Molana, K. Tiwari, and H. Shah, "Jou rna p f," 2020.
- [10] M. H. Mousa, N. Miljkovic, and K. Nawaz, *Review of heat transfer enhancement techniques for single phase flows*, vol. 137. 2021. doi: 10.1016/j.rser.2020.110566.
- [11] T. Abu Hamed and S. Alkharabsheh, "Design and performance analysis of a new evacuated tube solar air heaters equipped with fins and coils," *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 39, no. 10, pp. 997–1008, 2020, doi: 10.1080/14786451.2020.1798446.
- [12] S. K. Pathak *et al.*, "Sustainable Energy Progress via Integration of Thermal Energy Storage and Other Performance Enhancement Strategies in FPCs: A Synergistic Review," *Sustain.*, vol. 15, no. 18, 2023, doi: 10.3390/su151813749.