

STUDI NUMERIK PENGARUH *FOULING* TERHADAP PEFORMA *SUPERHEATER* DENGAN METODE CFD

Shohifa Laili Fitriana¹⁾, Nu Rhahida Arini²⁾, Wahyu Nur Fadilah³⁾

^{1,2,3}D4 Sistem Pembangkit Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail: shohifafitriana@gmail.com

Abstract

A superheater is a steam generator component which is responsible for converting saturated steam phases into advanced hot steam phases at steam power plants. The decreasing of superheater effectiveness leads to lower the power plant efficiency. This is due to a decrease in superheater heat transfer which is often caused by fouling. In superheater, fouling is the formation of a deposit layers that mostly comes from the sticking of coal ash particles on the outer surface of the superheater due to the process of coal burning. If the superheater continues to operate, the formation of a deposit layers will continue to develop beyond its reasonable limits and have an effect on the effectiveness of heat transfer. In this study, numerical simulations were conducted using 2 Dimensional Computational Fluid Dynamic (2D CFDs) using OpenFOAM software with variations in fouling thickness, and fouling thermal conductivity. The highest heat transfer effectiveness value was 84.343% and the lowest was 46.155%.

Keywords: *superheater, fouling, heat transfer effectiveness, CFD, OpenFOAM*

Abstrak

Superheater adalah komponen *steam generator* yang bertanggung jawab untuk mengubah fasa uap jenuh menjadi fasa uap panas lanjut pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Penurunan efektivitas *superheater* menyebabkan efisiensi pembangkit listrik menjadi rendah. Hal ini disebabkan oleh penurunan perpindahan panas *superheater* yang sering disebabkan oleh deposit (*fouling*). Pada *superheater*, *fouling* merupakan pembentukan lapisan deposit yang sebagian besar berasal dari menempelnya partikel abu batu bara pada permukaan luar *superheater* akibat dari proses pembakaran batu bara. Apabila *superheater* terus beroperasi, pembentukan lapisan deposit akan terus berkembang melebihi batas wajar dan berefek pada efektivitas perpindahan panasnya. Pada penelitian ini dilakukan simulasi numerik menggunakan *2 Dimensional Computational Fluid Dynamic* (2D CFD) dengan bantuan perangkat lunak OpenFOAM menggunakan variasi ketebalan *fouling*, dan konduktifitas termal *fouling*. Didapatkan nilai efektivitas perpindahan panas terbesar 84,343% dan terendah 46,155%.

Kata Kunci: *superheater, fouling, efektivitas perpindahan panas, CFD, OpenFOAM*

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan jenis pembangkit yang menggunakan uap air (*steam*) pada temperatur dan tekanan tertentu untuk memutar turbin. *Steam* yang digunakan berasal dari proses penguapan air di *steam generator*. Komponen *steam generator* yang bertanggung jawab untuk mengubah fasa uap jenuh menjadi fasa uap panas lanjut adalah *superheater* (Prabowo, 2015). *Superheater* terletak

pada zona terpanas dari *steam generator*. Kinerja *superheater* yang menurun akan menurunkan efisiensi PLTU. Hal ini dikarenakan temperatur keluaran *superheater* menjadi lebih rendah dari target sehingga daya yang dihasilkan turbin menjadi rendah. Penurunan kinerja pada *superheater* tersebut disebabkan menurunnya efektivitas perpindahan panas dalam alat tersebut (Jurnal, 2018).

Efektivitas perpindahan panas yang menurun dapat disebabkan oleh berbagai macam kegagalan, salah satunya disebabkan oleh adanya pengotor (*fouling*). *Fouling* merupakan pembentukan lapisan deposit pada permukaan dinding alat penukar kalor (contoh *superheater*) dari bahan atau senyawa yang tidak diinginkan. Pada *superheater*, lapisan deposit sebagian besar berasal dari menempelnya partikel abu batu bara baik yang berbentuk padat maupun leburan pada permukaan luar *superheater* akibat dari proses pembakaran batu bara. Apabila *superheater* terus beroperasi, pembentukan lapisan deposit akan terus berkembang melebihi batas wajar dan berakibat pada kenaikan *pressure drop* serta menurunnya efektivitas perpindahan panas (Risnandar, 2019).

Dari penjelasan di atas dapat diketahui jika *superheater* merupakan salah satu komponen paling penting pada pembangkit dan harus dijaga efektivitasnya. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pengaruh deposit *fouling* terhadap perpindahan panas *superheater* selama beroperasi menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) 2 dimensi agar didapatkan performa *superheater* yang efektif. Hasil yang diharapkan adalah bagaimana hubungan *fouling* pada *superheater*. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah konduktivitas termal *fouling* dan ketebalan *fouling*.

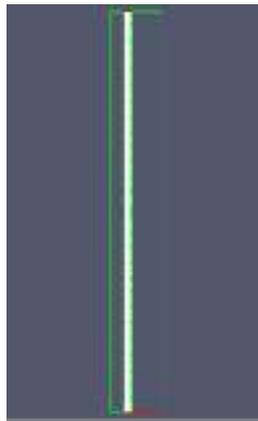
METODE PENELITIAN

Penelitian pengaruh *fouling* terhadap performa *superheater* ini menggunakan metode numerik *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan bantuan perangkat lunak OpenFOAM. Tahapan dalam simulasi CFD perpindahan panas pada *superheater* menggunakan perangkat lunak OpenFOAM dijelaskan sebagai berikut :

A. *Pre-Processing*

Pre-processing adalah tahap awal yang perlu dilakukan sebelum simulasi CFD melakukan perhitungan/iterasi.

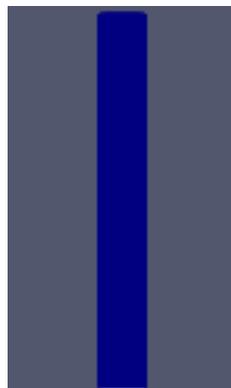
1. Pembuatan geometri



Gambar 1. Geometri 2D *superheater* tanpa *fouling*

Simulasi ini membagi *superheater* menjadi tiga daerah berbeda yaitu *steam-flue gas* yang berupa *fluid* dan pipa *superheater* berupa *solid*. Apabila dilakukan variasi ketebalan *fouling* maka jumlah daerahnya bertambah satu yaitu *fouling* berupa daerah *solid*. Bentuk dan ukuran geometri 2D pada simulasi *superheater* tanpa *fouling* dibuat seperti pada Gambar 1. dengan urutan dari kiri berupa *flue gas*, pipa dan *steam*. Sedangkan untuk variasi ketebalan *fouling* memiliki bentuk yang sama dengan urutan dari kiri berupa *flue gas*, *fouling*, pipa, dan *steam*. Pemilihan bentuk geometri ini dikarenakan penelitian hanya berfokus pada perpindahan panas yang terjadi pada sisi material (pipa dan *fouling*).

2. Proses *Meshing*

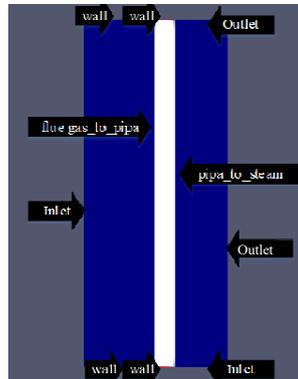


Gambar 2. *Meshing* 2D *superheater*

Meshing merupakan proses pencacahan untuk membuat jalur fluida untuk bergerak. Semua simulasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan model hexahedron dengan sel yang cukup banyak sehingga hanya tampak bangun persegi panjang seperti pada Gambar 2. Pengaturan *meshing* pada semua simulasi dibuat

sama. Dari hasil *meshing* didapatkan nPoints sebanyak 25482, nCells sebanyak 12300, nFaces sebanyak 49640, dan nInternalFaces sebanyak 24160.

3. Named selection



Gambar 3. *Named selection*

Named selection merupakan pemberian nama pada bagian-bagian geometri. Fungsinya untuk menandai bagian mana yang akan digunakan untuk *boundary conditions*. Pada simulasi tanpa variasi *fouling* terdapat empat *named selection* di diantaranya adalah *inlet*, *outlet*, dan *wall*. Format nama_to_nama adalah penghubung antar region. Pada simulasi dengan variasi *fouling* penamaannya tidak jauh beda.

B. Processing

Processing merupakan tahap inti dari simulasi CFD di mana parameter-parameter yang dibutuhkan dalam penelitian dimasukkan pada tahap ini.

1. Solver model

Untuk menyimulasikan proses perpindahan panas yang terjadi pada *superheater* dipilih *solver chtMultiRegionFoam*. Pemilihan ini didasari oleh kemampuan *solver* tersebut untuk melakukan simulasi perpindahan panas antar *region* (Greenshields, 2020). Simulasi ini diatur dalam keadaan *steady state*. Simulasi temperatur region *flue gas* dan *steam* dianggap *uniform* untuk setiap titik.

2. Cell zone condition

Inisial kondisi di sini digunakan untuk mendefinisikan kondisi awal yang ada pada *boundary condition*. Tahap ini sangat mempengaruhi hasil dari simulasi karena nilai pada bagian ini akan dihitung sebagai nilai iterasi.

3. Material

Fluida yang digunakan pada simulasi ini adalah *water vapour*, dan udara. Fluida *water vapour* sebagai *steam* dan udara sebagai *flue gas*. Material yang digunakan

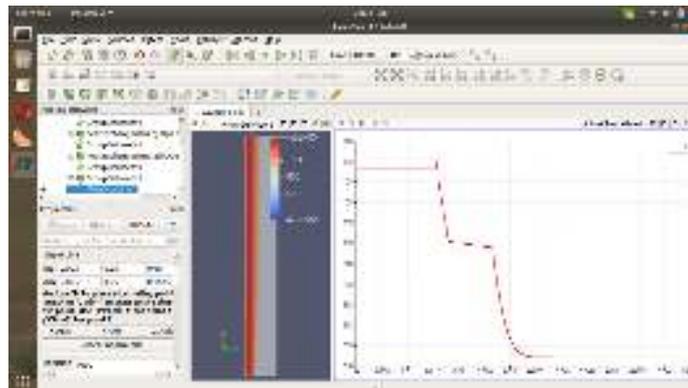
untuk dinding *tube superheater* adalah *steel*. Material *fouling* untuk variasi didapatkan dari hasil perbandingan nilai *slagging* kualitas batu bara pada jurnal (Prayudi & Agla, 2013), dengan kualitas batu bara menurut ISO 2005. Nilai pada material *fouling* yang digunakan untuk simulasi adalah konduktifitas termalnya.

4. Mulai Simulasi

Untuk memulai jalannya simulasi, pada OpenFOAM perlu untuk mengatur *start/end time*, *time step*, dan *write interval* yang berada pada file “*controlDict*”. Simulasi ini iterasi dibatasi sebanyak 40.000 iterasi.

C. *Post-Processing*

Post processing merupakan tahapan terakhir yang dilakukan dalam simulasi di mana data hasil simulasi ditampilkan ke dalam bentuk grafik, gambar, atau animasi. Hasil simulasi akan ditampilkan seperti Gambar 4. Data yang diambil pada simulasi ini adalah nilai temperatur pada sisi masuk *fouling* dan sisi keluar pipa, tujuannya untuk mengetahui seberapa besar penurunan temperatur setelah dilakukan berbagai macam variasi.



Gambar 4. *Plot overline*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses penelitian dengan melakukan simulasi *superheater* dengan variasi ketebaan *fouling*, dan konduktifitas termal *fouling* untuk mengetahui performa pembangkit berdasarkan efektifitas perpindahan panas *superheater*. Data yang diperoleh dari simulasi berupa temperatur masuk *fouling* dan keluar pipa, kemudian data tersebut dihitung resistansi termal total tiap daerah dan laju perpindahan panas, setelah itu baru didapatkan efektifitas perpindahannya. Tabel 1. adalah hasil dari

perhitungan efektifitas perpindahan panas superheater di tiap variasi. Di mana Kond berarti Konduktifitas Termal *Fouling* (W/mK).

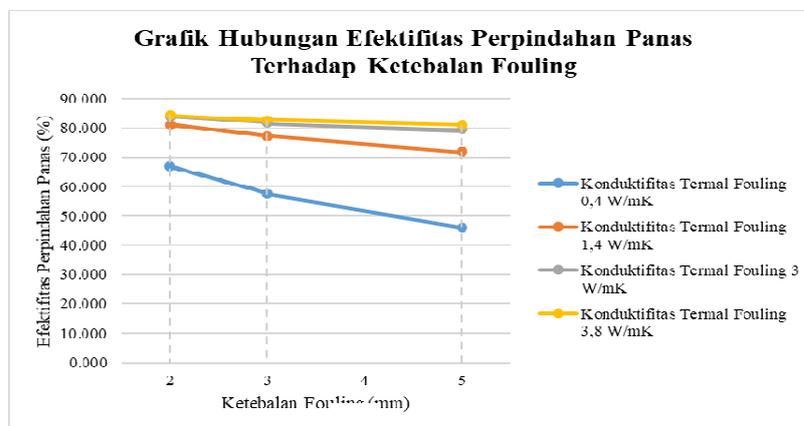
Tabel 1.

Variasi Ketebalan *Fouling* dan Konduktifitas Termal *Fouling*

Efektifitas Perpindahan Panas (%)					
Ketebalan Fouling 2 mm				Ketebalan Fouling 3 mm	
Kond = 0,4	Kond = 1,4	Kond = 3	Kond = 3,8	Kond = 0,4	Kond = 1,4
66,945	81,213	83,941	84,343	57,743	77,297
Ketebalan Fouling 3 mm			Ketebalan Fouling 5 mm		
Kond = 3	Kond = 3,8	Kond = 0,4	Kond = 1,4	Kond = 3	Kond = 3,8
81,945	82,718	46,155	72,014	79,830	81,225

A. Hubungan Efektifitas Perpindahan Panas Terhadap Ketebalan *Fouling*

Gambar 5. merupakan gambar grafik hubungan ketebalan *fouling* terhadap efektifitas perpindahan panas. Dapat dilihat jika semakin besar ketebalan *fouling* maka semakin kecil efektifitas perpindahan panasnya. Pada dasarnya efek *fouling* adalah mengambat laju perpindahan panas karena konduktifitas termalnya yang rendah. Persamaan resistansi termal menyatakan bahwa semakin besar daerah yang dilalui oleh kalor maka semakin besar pula hambatannya yang mengakibatkan laju perpindahan panas semakin rendah. Laju perpidahan panas yang rendah berarti efektifitas perpindahan panasnya juga rendah, ini sesuai dengan Gambar 5.



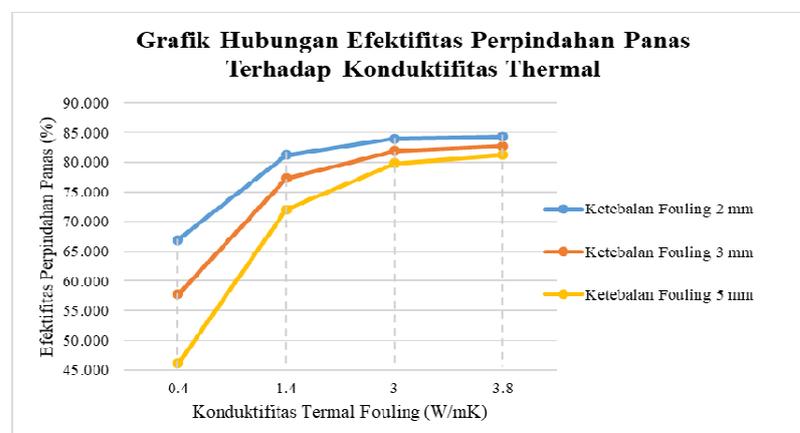
Gambar 5. Grafik pengaruh ketebalan *fouling* terhadap efektifitas perpindahan panas

Nilai efektifitas perpindahan panas terbesar adalah 84,343% pada kondisi ketebalan *fouling* 2 mm dan konduktifitas termal *fouling* 3,8 W/mK. Dapat dilihat pada Gambar

5, nilai efektifitas perpindahan panas dalam keadaan konduktifitas termal *fouling* 3 W/mK dan 3,8 W/mK memiliki nilai yang hampir sama, hal ini dikarenakan nilai dari konduktifitas termal *fouling* keduanya tidak memiliki selisih yang besar daripada variasi yang lain.

B. Hubungan Efektifitas Perpindahan Panas Terhadap Konduktifitas Termal *Fouling*

Gambar 6. merupakan gambar grafik hubungan konduktifitas termal *fouling* terhadap efektifitas perpindahan panasnya. Dapat dilihat jika semakin tinggi konduktifitas termal *fouling* maka semakin besar efektifitas perpindahan panasnya. Konduktifitas termal *fouling* berkaitan erat dengan kualitas batu bara yang digunakan pada pembangkit. Pada umumnya batu bara memiliki tiga tingkatan yaitu *low rank coal* (konduktifitas termal terendah), *medium rank coal* dan *high rank coal* (konduktifitas termal tertinggi). Apabila dihubungkan dengan persamaan resistansi termal yang menyatakan semakin rendah konduktifitas termal suatu material maka semakin tinggi hambatan perpindahan panasnya, material yang dimaksud di sini adalah *fouling*. Jadi semakin rendah konduktifitas termal *fouling* maka semakin besar hambatan yang menyebabkan perpindahan panasnya semakin rendah. Nilai efektifitas perpindahan panas terbesar adalah 84,343% pada kondisi ketebalan *fouling* 2 mm dan konduktifitas termal *fouling* 3,8 W/mK. Pada Gambar 6. antar ketebalan *fouling* yang berbeda, bisa dilihat jika *trend* grafiknya cenderung sama hal ini dikarenakan variasi ketebalan *fouling* yang digunakan memiliki selisih yang sama.



Gambar 6. Grafik pengaruh konduktifitas termal *fouling* terhadap efektifitas perpindahan panas

SIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada variasi ketebalan *fouling* dan konduktifitas termal *fouling* didapatkan nilai efektifitas perpindahan panas terbesar 84,343% dan terendah 46,155%.
2. Semakin rendah konduktifitas termal *fouling* maka semakin rendah nilai efektifitas perpindahan panasnya, hal ini berhubungan dengan hambatan yang dilalui oleh kalor.
3. Semakin tebal lapisan *fouling* maka semakin rendah nilai efektifitas perpindahan panasnya, hal ini berhubungan dengan jarak yang dilalui kalor untuk melewati daerah *fouling* tersebut.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini kedepannya yaitu:

1. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan *setting* pada sisi *flue gas* dan *steam* dibuat *un-uniform*.

DAFTAR PUSTAKA

- Jurnal, R. T. (2018). Pengaruh *Fouling* terhadap Laju Perpindahan Panas pada *Superheater* Boiler Cfb Pltu Sebalang. *JURNAL POWERPLANT*, 6(1), 48-57.
- Risnandar, F. (2019). *ANALISIS NUMERIK PENGARUH KETEBALAN SLAG TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA PIPA SUPERHEATER DI DALAM STEAM GENERATOR* (Doctoral dissertation, Universitas Pasundan).
- Greenshields, C.J. (2020). OpenFOAM user guide Version 8. The OpenFOAM Foundation.
- Prayudi, P., & Agla, I. (2013). Kemungkinan Terjadinya Slagging Dan Kerugian Efisiensi Akibat Penggunaan Low Rank Coal Pada Boiler PLTU Suralaya Unit 8. *JURNAL POWERPLANT*, 1(1), pp.45-54.
- Prabowo, K.H. (2015). *Studi Numerik Karakteristik Aliran Dan Perpindahan Panas Pada Tube Platen Superheater Pltu Pacitan* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Adrian, J. (2016). *Analisa Kerusakan Superheater Tube Boiler Tipe ASTM A213 Grade T11 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).