



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI NUMERIK PENGARUH JARAK TRANSISI
ANTARA *PRIMARY* DAN *SECONDARY SUPERHEATER*
TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DAN
PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI
(Studi Kasus pada *Boiler* PT. Indonesia Power, UBP.
Perak, Surabaya)**

**AGUS JONIAN TO
NRP 2111 100 029**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr.Eng. Ir. Prabowo, M.Eng.**

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TM 141585

**NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF THE
TRANSITION DISTANCE BETWEEN PRIMARY AND
SECONDARY SUPERHEATER AGAINST
CHARACTERISTICS OF THE FLOW AND CONVECTION
HEAT TRANSFER
(Case Study on Boiler at PT. Indonesia Power, UBP.
Perak, Surabaya)**

**AGUS JONIAN TO
NRP 2111 100 029**

**Supervisor
Prof. Dr.Eng. Ir. Prabowo, M.Eng.**

**Mechanical Engineering Departement
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

**STUDI NUMERIK PENGARUH JARAK TRANSISI
ANTARA *PRIMARY* DAN *SECONDARY SUPERHEATER*
TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DAN
PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI
(Studi Kasus pada *Boiler* PT. Indonesia Power UBP. Perak, Surabaya)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AGUS JONIANO
NRP. 2111 100 029

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr.Eng. Ir. Prabowo, M.Eng (Pembimbing)
(NIP. 196505051990031005)
2. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, M.Eng (Penguji I)
(NIP. 195312191981031001)
3. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc (Penguji II)
(NIP. 196604021989031002)
4. Giri Nugroho, S.T., M.Sc (Penguji III)
(NIP. 197910292012121002)

SURABAYA
Juli, 2015

**STUDI NUMERIK PENGARUH JARAK TRANSISI
ANTARA PRIMARY DAN SECONDARY SUPERHEATER
TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DAN
PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI**
(Studi Kasus pada *Boiler* PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya)

Nama Mahasiswa : Agus Jonianto
NRP : 2111 100 029
Jurusan : Teknik Mesin FTI - ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr.Eng. Ir. Prabowo, M.Eng.

ABSTRAK

PT. Indonesia Power merupakan salah satu perusahaan pembangkit listrik di Indonesia. Perusahaan ini mempunyai 4 unit pembangkit listrik yaitu pembangkit listrik unit 1 dan 2 yang memiliki kapasitas 25x2 MW dan pembangkit listrik unit 3 dan 4 yang memiliki kapasitas 50x2 MW. Dalam pengoperasiannya, perusahaan ini menggunakan BBM (Bahan Bakar Minyak) sebagai bahan bakar pada boilernya. Saat ini, pengoperasian pembangkit unit 1 sampai 4 telah dihentikan karena memiliki efisiensi siklus yang rendah. Tugas akhir kali ini dilakukan untuk menambah efisiensi siklus dengan cara meningkatkan efisiensi pada boiler. Salah satu cara tersebut adalah dengan mengubah jarak transisi antara primary dan secondary superheater.

Pada tugas akhir kali ini, dilakukan sebuah proses simulasi CFD (Computational Fluid Dynamic) pada sebuah domain pemodelan tube primary dan secondary superheater. Domain pemodelan dibuat dengan menggunakan GAMBIT 2.6 dan disimulasikan dengan menggunakan FLUENT 6.3. Seluruh data operasi berupa temperatur tube, dimensi tube dan dimensi boiler diambil secara langsung di PT. Indonesia Power UBP Perak, Surabaya. Simulasi dilakukan secara dua dimensi dengan enam buah variasi jarak transisi yaitu 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, dan 8,33D (kondisi existing). Fluegass dimodelkan sebagai udara bersuhu 1000 K dengan aliran uniform dan steady pada sisi inlet.

Perpindahan panas yang ditinjau hanya berupa konveksi dengan mengabaikan radiasi dan konduksi pada tube.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah jarak transisi antara primary dan secondary superheater memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap peningkatan kualitas perpindahan panas pada secondary superheater secara overall. Prosentase peningkatan kualitas perpindahan panas maksimal hanya sebesar 0,9 pada jarak transisi sebesar 2D bila dibandingkan dengan nilai kondisi existing. Aliran fluida akibat variasi jarak transisi antara primary dan secondary superheater hanya berpengaruh pada tube kolom pertama pada secondary superheater dengan peningkatan nilai kecepatan aliran sebesar 2,0 pada jarak transisi sebesar 2D bila dibandingkan dengan nilai kondisi existing sehingga menyebabkan adanya peningkatan nilai perpindahan panas maksimal sebesar 3,02 pada jarak transisi sebesar 2D bila dibandingkan dengan nilai kondisi existing. Selain itu, nilai St/d dan Sl/d juga berpengaruh terhadap kualitas perpindahan panas. Tube dengan $St/d=2$ memiliki nilai konstanta $C1$ sebagai perwakilan dari kualitas perpindahan panas yang lebih tinggi daripada $St/d=5$. Sedangkan nilai Nusselt Number rata-rata tube dengan $Sl/d=1,88$ lebih tinggi daripada tube dengan $Sl/d=1,17$.

Kata Kunci : external flow, superheater, powerplant, variasi jarak transisi, heat transfer

NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF THE TRANSITION DISTANCE BETWEEN PRIMARY AND SECONDARY SUPERHEATER AGAINST CHARACTERISTICS OF THE FLOW AND CONVECTION HEAT TRANSFER

(Case Study on Boiler at PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya)

Name of Student : Agus Jonianto
NRP : 2111 100 029
Department : Teknik Mesin FTI - ITS
Lecturer : Prof. Dr.Eng. Ir. Prabowo, M. Eng.

ABSTRACT

PT. Indonesia Power is one of the electrical power plant company in Indonesia. This company has 4 units of electrical power plant. The power plant unit 1 and 2 has a capacity of 25x2 MW and the power plant unit 3 and 4 have a capacity of 50x2 MW. In operation, the company is using Marine Fuel Oil as a fuel at the boiler. Since 2012, the operation of the power plant unit 1 to 4 had been suspended because of the low cycle efficiency. This final assignment is be done to increase the efficiency of the cycle by increasing the efficiency of the boiler. The transition distances between the primary and the secondary superheater will be changed to increase the efficiency of the boiler.

The flue gas flow across the primary and secondary superheater will be simulated based on Computational Fluid Dynamic (CFD). The domain modelling is made using GAMBIT 2.6 and will be simulated using FLUENT 6.3. All of the operating data, like the temperature of the tube, the tube dimension and the dimension of the boiler, is taken directly from PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya. The simulation is done with six variations of transition distances, 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, and 8,33D (existing conditions), between the primary and the secondary superheater. Flue gas is modelled as 1000 K of an air, uniform

and steady flow at the inlet. Only convection heat transfer that will be reviewed by ignoring radiation and conduction on the tube.

The results obtained from this research is the transition distances between the primary and the secondary superheater has a small influence towards increasing quality of heat transfer on secondary superheater in overall. The percentage of increasing the quality of heat transfer maximum is only 0,9 at 2D transition distance compared with the value of existing conditions. The fluid flow due to the transition distance between the primary and the secondary superheater effects on only the first column in the secondary superheater with an increase in the value of the flow rate of 2,0 at 2D transition distance compared with the value of existing conditions. That cause an increase in heat transfer value about 3,02 at 2D transition distance compared with the value of existing conditions. In addition, the value of the St/d and Sl/d also has an effect on the quality of heat transfer. Tube with $St/d = 2$ has bigger the $C1$ constant value that represents of the heat transfer quality than $St/d = 5$. The value of the average Nusselt Number of the tube with $Sl/d = 1,88$ is higher than the tube with $Sl/d = 1, 17$.

Keywords : *external flow, superheater, powerplant, variation of transition distance, heat transfer*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat dan salam penulis ucapkan kepada Nabi Muhammad SAW yang membawa cahaya Islam sebagai pedoman hidup untuk selalu beriman dan bertaqwa.

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada halaman ini, penulis ingin memberi hormat dan ungkapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, Ayah dan Ibu tercinta, yang selalu memberikan pelajaran perjuangan, pengalaman, dan inspirasi serta selalu mendoakan, mendukung, dan menasehati penulis. Terimakasih atas didikan berharganya sejak penulis masih kanak-kanak hingga dewasa. Semoga tetap diberi kesehatan dan umur yang barokah.
2. Kakak yang juga menjadi teman sepermainan, tempat untuk saling bertukar pikiran dan pengalaman, dan selalu memberikan dukungan kepada penulis
3. Prof. Dr.Eng. Ir. Prabowo, M.Eng., dosen pembimbing tugas akhir, yang telah memberikan pembelajaran, ide-ide yang tidak pernah terpikiran sebelumnya oleh penulis, dan bimbingan yang tidak ternilai harganya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Dr. Ir. Budi Utomo K.W., M.E, Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc., dan Giri Nugroho, ST., M.Sc., dosen penguji tugas akhir, yang telah memberikan kritik dan saran terhadap penulis demi kesempurnaan tugas akhir ini.
5. Ir. Ahmad Mulyana, dosen wali penulis, terimakasih atas bimbingannya selama berada di dunia perkuliahan
6. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc. dan Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc., dosen pembimbing ITS TEAM SAPUANGIN. Terimakasih telah memberikan bimbingan dan dedikasi luar biasanya kepada tim luar biasa ini.

7. Segenap dosen Jurusan Teknik Mesin ITS yang telah mencurahkan segala tenaga dan pikiran serta pengalaman dalam mendidik penulis dalam bidang keteknikan maupun ilmu tentang kehidupan selama penulis menempuh pendidikan sarjana di Teknik Mesin ITS
8. Karisma Rizal dan Faizal Hafiz Taqriri, rekan tugas akhir, yang telah berjuang bersama-sama dibawah naungan *Sensei* Prabowo. Terima kasih atas segala bantuannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Tanpa kalian berdua, belum tentu tugas akhir ini dapat selesai dengan lancar.
9. Teman-teman ITS TEAM SAPUANGIN, said, alip, om, khosmin, satpam, pentol, gema, tumis, kahfi, moreng, edo, yasin, yuda, fahmi, tohir, aji, joenta, fatih, audrey, ocik, serta kakak-kakak mantan tim dan adik-adik tim baru yang tidak dapat penulis sebut satupersatu. Bangga bisa *nguli* dan meraih prestasi bersama kalian, para anggota tim luar biasa. Sukses untuk kalian semua.
10. Keluarga Lab.Perpindahan Panas dan massa, agus riyadi (braay), azwar, bobby, ari, mbeng, mas akbar (colbut), mas ardian (sinkron), mas eka, fitrie, fuad, tomi, ilham, iqbal, khisni, kukuh, atus, mbak nisa, ridho, mas maho, ucap, rony, fadhil, rofia, warida, reymond, bintang, khafid, nazilah, ricky, sekar, step, wildan, sholeh, richi, dan lainnya yang tidak dapat penulis sebut satupersatu yang selalu membantu dan menghibur penulis selama mengerjakan tugas akhir.
11. Teman-teman DIMENSI tercinta yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terimakasih atas kebersamaannya
12. Seluruh keluarga M54 yang telah menemani penulis dari POROS hingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan. Angkatanku *pancen sangar*.
13. Seluruh civitas akademika Teknik Mesin FTI-ITS dan Sarekat Merah Rakyat Mesin (SMRM)

Pada akhirnya, penulis berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca demi perkembangan ilmu pengetahuan di negeri ini. Penulis menyadari tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran serta tukar pikiran demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, 2 Agustus 2015

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

TITLE PAGE

HALAMAN PENGESAHAN.....i

ABSTRAK.....iii

ABSTRACTv

KATA PENGANTAR.....vii

DAFTAR ISI.....xi

DAFTAR GAMBAR.....xv

DAFTAR TABEL.....xxv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....1

1.2 Rumusan Masalah.....3

1.3 Batasan Masalah.....4

1.4 Tujuan Penelitian.....4

1.5 Manfaat Penelitian.....5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka.....7

2.2 Dasar Teori.....14

2.2.1 *Superheater*.....14

2.2.2 Konsep Aliran Melintasi *Tube Bank*.....16

2.2.3 Konsep Konveksi pada *Tube Bank*.....18

2.2.4 *Numerical Modeling*.....21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian.....27

3.2 *Flowchart* Penelitian.....28

3.3 Pemodelan dan Simulasi.....30

3.3.1 Tahap *Pre-Processing*.....19

3.3.2 Tahap *Processing*.....34

3.3.3 Tahap *Post-Processing*.....37

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi dengan Metode *Grid Independency*.....39

4.2 Analisa Aliran dan Perpindahan Panas pada Domain secara *Overall*.....40

4.2.1 Analisa Aliran pada Domain <i>Overall</i>	40
4.2.2 Analisa Perpindahan Panas pada Domain secara <i>Overall</i>	48
4.3 Analisa Aliran dan Perpindahan Panas pada <i>Tube</i> Kolom Pertama, Keenam, dan Keduabelas pada <i>Secondary Superheater</i>	55
4.3.1 Analisa Aliran pada <i>Tube</i> Kolom Pertama, Keenam, dan Keduabelas <i>Secondary Superheater</i>	55
4.3.2 Analisa Perpindahan Panas pada <i>Tube</i> Kolom Pertama, Keenam, dan Keduabelas <i>Secondary Superheater</i>	65
4.4 Analisa Pengaruh <i>St/d</i> dan <i>Sl/d</i> terhadap Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas.....	73
4.4.1 Analisa Pengaruh <i>St/d</i> dan <i>Sl/d</i> terhadap terhadap Karakteristik Aliran.....	73
4.4.2 Analisa Pengaruh <i>St/d</i> dan <i>Sl/d</i> terhadap terhadap Perpindahan Panas.....	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	xvii
LAMPIRAN	xxix
BIOGRAFI PENULIS	xxxix

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 :	Konstanta C_1 dan m untuk N_L lebih dari 10.....	19
Tabel 2.2 :	Konstanta C_2 untuk Faktor Koreksi $N_L < 10$	20
Tabel 2.3 :	Konstanta C dan m untuk Persamaan <i>Zukauskas</i>	20
Tabel 2.4 :	Konstanta C_2 untuk Faktor Koreksi $N_L < 10$ untuk Persamaan <i>Zukauskas</i>	21
Tabel 3.1 :	<i>Properties</i> udara dan <i>steel</i> pada suhu 1000 K.....	35
Tabel 3.2 :	Temperatur <i>Superheater</i> pada Pembebanan 100 %.....	36
Tabel 4.1 :	Hasil Perbandingan <i>Nusselt Number</i> Rata-Rata Simulasi dengan Perhitungan.....	39
Tabel 4.2 :	Prosentase Peningkatan <i>Nusselt Number</i> Rata-Rata pada <i>Secondary Superheater</i>	55
Tabel 4.3 :	Prosentase Peningkatan Kecepatan Rata-Rata <i>Inlet</i> pada <i>Secondary Superheater</i>	64
Tabel 4.4 :	Prosentase Peningkatan <i>Nusselt Number</i> pada <i>Tube</i> Kolom Pertama <i>Secondary Superheater</i>	72
Tabel 4.5 :	Perhitungan nilai $C1$ pada St/d 7,55 dan St/d 2.....	78

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya (Sumber : maps.google.com)	1
Gambar 1.2	Skema Boiler PT. Indonesia Power, Perak, Surabaya	3
Gambar 2.1	<i>Computational Domain</i> HRSG (Dongkyun, dkk., 2012).....	7
Gambar 2.2	Efek Jarak <i>Longitudinal Pitch</i> untuk Seluruh <i>Tube</i> (Dongkyun, dkk., 2012).....	8
Gambar 2.3	Efek Jarak <i>Longitudinal Pitch</i> pada <i>Tube</i> Kolom pertama.....	8
Gambar 2.4	Kontur Temperatur Hasil Simulasi pada Tiga Jarak <i>Longitudinal Pitch</i> yang berbeda (Dongkyun, dkk., 2012)	9
Gambar 2.5	Domain Penelitian Dua Buah <i>Tube</i> Tersusun Secara Tandem, (a) Geometri domain, (b) Hasil Meshing(Necati, 2008).....	11
Gambar 2.6	Distribusi <i>Nusselt Number</i> Lokal pada <i>upstream</i> (kiri) dan <i>donstream</i> (kanan) pada $l/d = 3$, (a) $Re=100$, (b) $Re=200$	11
Gambar 2.7	Distribusi <i>Nusselt Number</i> Lokal pada <i>upstream</i> (kiri) dan <i>donstream</i> (kanan) pada $l/d =4$, (a) $Re=100$, (b) $Re=200$	12

Gambar 2.8	Distribusi <i>Nusselt Number</i> Lokal pada <i>upstream</i> (kiri) dan <i>donstream</i> (kanan) pada $l/d = 10$, (a) $Re=100$, (b) $Re=200$	12
Gambar 2.9	Rata-Rata Nilai <i>Nusselt Nember</i> pada <i>Tube Upstream</i> dan <i>Downstream</i> (Necati, 2008)	13
Gambar 2.10	<i>Tube Sperheater</i> pada boiler PT. Indonesia Power UBP Perak, Surabaya, (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas	16
Gambar 2.11	Dua Pola Konfigurasi Susunan <i>Tube Bank</i> , (a) <i>Aligned</i> , (b) <i>Stagered</i>	17
Gambar 2.12	Tahapan dalam Menggunakan Metode CFD.....	21
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian	29
Gambar3.2	Skema Boiler PT. Indonesia Power, UBP. Perak, (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas.....	31
Gambar 3.3	<i>Tube Primary</i> dan <i>Secondary Superheater</i> Kondisi <i>Existing</i> , (a) <i>Control Volume</i> , (b) Dimensi <i>Control Volume</i>	32
Gambar 3.4	Hasil Pembuatan Geometri Model <i>Tube Primary</i> dan <i>Secondary Superheater</i> Kondisi <i>Existing</i>	32
Gambar 3.5	Hasil Meshing di Sekitar <i>Tube</i>	32
Gambar 3.6	Hasil Meshing Model <i>Tube Primary</i> dan <i>Secondary Superheater</i> , (a) 2D, (b) 3D,	

	(c) 4D, (d) 5D, (e) 7D, (f) 8,33D.....	33
Gambar 3.7	Pemberian <i>Boundary Condition</i> pada Domain Pemodelan.....	34
Gambar 4.1	Hasil Proses Simulasi pada Domain kondisi <i>Existing</i>	40
Gambar 4.2	Kontur Kecepatan pada Domain secara <i>Overall</i>	42
Gambar 4.3	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 2D.....	43
Gambar 4.4	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 3D.....	43
Gambar 4.5	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 4D.....	43
Gambar 4.6	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 5D.....	44
Gambar 4.7	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 7D.....	44

Gambar 4.8	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 8,33D.....	44
Gambar 4.9	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 2D.....	45
Gambar 4.10	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 3D.....	46
Gambar 4.11	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 4D.....	46
Gambar 4.12	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 5D.....	46
Gambar 4.13	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 7D.....	47
Gambar 4.14	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 8,33D.....	47
Gambar 4.15	Kontur Temperatur pada Domain secara <i>Overall</i>	48
Gambar 4.16	Kontur Temperatur pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 2D.....	49

Gambar 4.17	Kontur Temperatur pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 3D.....	50
Gambar 4.18	Kontur Temperatur pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 4D.....	50
Gambar 4.19	Kontur Temperatur pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 5D.....	50
Gambar 4.20	Kontur Temperatur pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 7D.....	51
Gambar 4.21	Kontur Temperatur pada <i>Primary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 8,33D.....	51
Gambar 4.22	Kontur Temperatur pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 2D.....	52
Gambar 4.23	Kontur Temperatur pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 3D.....	52
Gambar 4.24	Kontur Temperatur pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 4D.....	52
Gambar 4.25	Kontur Temperatur pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 5D.....	53

Gambar 4.26	Kontur Temperatur pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 7D.....	53
Gambar 4.27	Kontur Temperatur pada <i>Secondary Superheater</i> secara <i>Overall</i> pada Jarak Transisi 8,33D.....	54
Gambar 4.28	Grafik Nilai <i>Nusselt Number</i> Rata-Rata pada <i>Secondary Superheater</i> terhadap Variasi Jarak Transisi.....	54
Gambar 4.29	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Tube Secondary Superheater</i> dengan Variasi Jarak Transisi 2D, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas.....	56
Gambar 4.30	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Tube Secondary Superheater</i> dengan Variasi Jarak Transisi 3D, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas.....	56
Gambar 4.31	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Tube Secondary Superheater</i> dengan Variasi Jarak Transisi 4D, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas.....	57
Gambar 4.32	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Tube Secondary Superheater</i> dengan Variasi Jarak Transisi 5D, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas.....	57
Gambar 4.33	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Tube Secondary Superheater</i> dengan Variasi Jarak Transisi 7D, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam,	

	(c) Kolom Keduabelas.....	58
Gambar 4.34	Kontur Kecepatan Aliran pada <i>Tube Secondary Superheater</i> dengan Variasi Jarak Transisi 8,33D (kondisi <i>existing</i>), (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas.....	58
Gambar 4.35	<i>Iso Surface Inlet Secondary Superheater</i> pada posisi 0 mm sampai 408 mm.....	59
Gambar 4.36	Grafik Kecepatan <i>Inlet Secondary Superheater</i> saat Jarak Transisi 2D.....	60
Gambar 4.37	Grafik Kecepatan <i>Inlet Secondary Superheater</i> saat Jarak Transisi 3D.....	60
Gambar 4.38	Grafik Kecepatan <i>Inlet Secondary Superheater</i> saat Jarak Transisi 4D.....	61
Gambar 4.39	Grafik Kecepatan <i>Inlet Secondary Superheater</i> saat Jarak Transisi 2770 mm.....	61
Gambar 4.40	Grafik Kecepatan <i>Inlet Secondary Superheater</i> saat Jarak Transisi 7D.....	62
Gambar 4.41	Grafik Kecepatan <i>Inlet Secondary Superheater</i> saat Jarak Transisi 8,33D (Kondisi <i>Existing</i>).....	62
Gambar 4.42	Grafik Perbandingan Kecepatan <i>Inlet Secondary Superheater</i> untuk Seluruh Variasi Jarak Transisi.....	63
Gambar 4.43	Grafik Perbandingan Nilai Kecepatan Rata-Rata <i>Inlet Secondary Superheater</i>	64

- Gambar 4.44 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi 2D,
(a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam,
(c) Kolom Keduabelas.....65
- Gambar 4.45 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi 3D,
(a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam,
(c) Kolom Keduabelas.....65
- Gambar 4.46 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi 4D,
(a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam,
(c) Kolom Keduabelas.....66
- Gambar 4.47 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi 5D,
(a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam,
(c) Kolom Keduabelas.....66
- Gambar 4.48 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi 7D,
(a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam,
(c) Kolom Keduabelas.....67
- Gambar 4.49 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi 8,33D, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam,
(c) Kolom Keduabelas.....67
- Gambar 4.50 *Nusselt Number Lokal Tube Secondary Superheater* Kolom 1, (a) Jarak Transisi 2D,
(a) Jarak Transisi 3D, (a) Jarak Transisi 4D, 5D,
7D, dan 8,33D.....69

- Gambar 4.51 Grafik Nilai *Nusselt Number* Rata-Rata *Secondary Superheater* terhadap Variasi Jarak Transisi,
(a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam,
(c) Kolom Keduabelas, (d) Perbandingan
Kolom Pertama, Keenam, dan Keduabelas.....71
- Gambar 4.52 Jarak St/d dan Sl/d pada *Primary* dan *Secondary Superheater*.....73
- Gambar 4.53 Kontur Kecepatan Aliran pada Daerah *Transversal* di *Primary Superheater*.....74
- Gambar 4.54 Kontur Kecepatan Aliran pada Daerah $St/d = 2$ di *Secondary Superheater*.....74
- Gambar 4.55 Perbandingan Kontur Kecepatan Aliran pada Daerah *Transversal* antara *Secondary Superheater* dan *primary superheater*.....75
- Gambar 4.56 Perbandingan Kontur Kecepatan Aliran $Sl/d = 1,88$ dengan $Sl/d = 1,17$ pada *Secondary Superheater*.....76
- Gambar 4.57 Perbandingan *Nusselt Number* Lokal *Tube* Kolom Keduabelas pada *Primary* dan *Secondary Superheater*.....77
- Gambar 4.58 Perbandingan *Nusselt Number* Lokal *Tube* Sl/d 1,88 dan Sl/d 1,17.....79

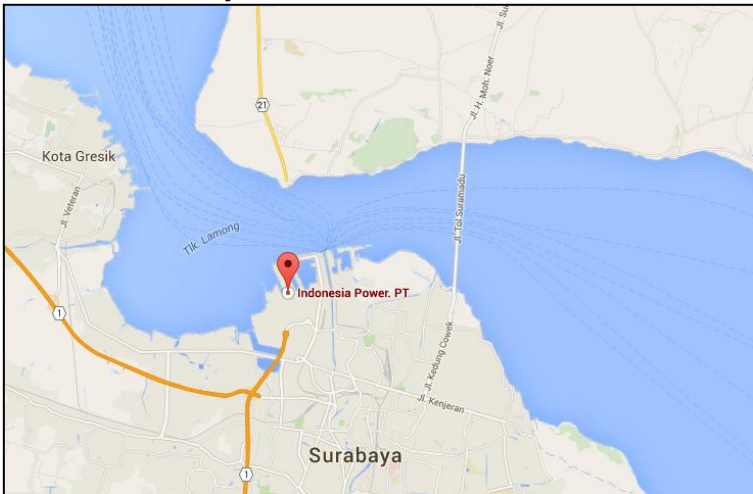
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

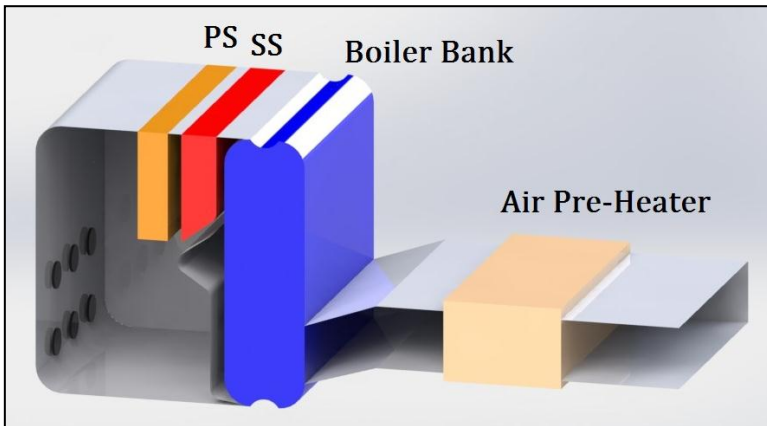
PT. Indonesia Power merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pembangkitan tenaga listrik di Indonesia. Perusahaan ini didirikan pada tanggal 3 Oktober 1995 sebagai anak perusahaan dari PT. PLN dengan nama PT. Pembangkitan Jawa Bali 1. Nama tersebut kemudian diubah menjadi PT. Indonesia Power pada tanggal 3 Oktober 2000. Saat ini, PT. Indonesia Power telah mengoperasikan delapan Unit Bisnis Pembangkitan (UBP) di beberapa daerah strategis Pulau Jawa dan Bali. Delapan Unit Bisnis Pembangkitan tersebut adalah Suralaya, Saguling, Mrica, Priok, Perak-Grati, Bali, Semarang, dan Kamojang. Peta lokasi usaha dan bisnis UBP Perak ditunjukkan pada gambar 1.1 di bawah ini dengan alamat Jl. Nilam Barat 2, Perak Utara, Surabaya.



Gambar 1.1 Lokasi PT. Indonesia Power, UBP Perak, Surabaya
(Sumber : maps.google.com)

Pada PT. Indonesia Power, UBP. Perak, terdapat 4 unit pembangkit listrik yaitu pembangkit listrik unit 1 dan 2 yang memiliki kapasitas 25x2 MW dan pembangkit listrik unit 3 dan 4 yang memiliki kapasitas 50x2 MW. Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), perusahaan ini menggunakan BBM (Bahan Bakar Minyak) sebagai bahan bakar pada *boiler*. Proses beban pembangkitan listriknya pun terdiri dari berbagai macam variasi karena permintaan konsumsi listrik yang tidak tetap. Beban pembangkitan listrik tersebut terdiri dari 50%, 75%, 100%, dan MCR. Salah satu masalah yang muncul di perusahaan ini adalah sejak tahun 2012, pengoperasian pembangkit unit 1 sampai 4 telah dihentikan karena memiliki efisiensi siklus yang rendah. Konsumsi BBM pada saat pengoperasian tidak sebanding dengan daya listrik yang dihasilkan. Konsumsi BBM setiap harinya bisa mencapai 550 KL. Salah satu penyebab rendahnya efisiensi siklus pembangkit ini adalah rendahnya efisiensi perpindahan panas pada *boiler*.

Boiler merupakan salah satu komponen pembangkit listrik tenaga uap yang digunakan untuk menghasilkan uap panas lanjut (*superheated steam*). Uap panas lanjut ini selanjutnya akan digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin yang dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik. Pada *boiler*, terdapat *tube bundle* yang digunakan sebagai alat penukar panas. Secara umum, *tube bundle* tersebut dikelompokkan menjadi 4 jenis, yaitu *Primary Superheater*, *Secondary Superheater*, *Boiler Bank*, dan *Wall Tube* seperti pada gambar 1.2 di bawah ini. Udara yang telah tercampur dengan bahan bakar akan masuk ke dalam *boiler* melalui *burner* dalam bentuk nyala api dan *flue gas*. *Flue gas* yang mengalir diarahkan ke bagian atas melalui *nose* dan melewati celah-celah tube pada *Primary Superheater*, *Secondary Superheater*, dan *Boiler Bank*.



Gambar 1.2 Skema Boiler PT. Indonesia Power, Perak, Surabaya

Banyak sekali solusi-solusi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi *boiler*. Salah satu solusi tersebut adalah merubah susunan *tube* penukar panas. Desain susunan *tube* tertentu akan mempengaruhi turbulensi aliran *flue gas* sehingga hal ini dapat mempengaruhi distribusi *Nusselt Number*nya. Distribusi *Nusselt Number* ini juga akan mempengaruhi kualitas perpindahan panas sehingga dapat disimpulkan bahwa desain susunan *tube* tertentu akan berpengaruh pada kualitas perpindahan panasnya. Pada bagian *tube superheater*, terdapat jarak transisi. Besar kecilnya jarak transisi ini diduga dapat mempengaruhi kualitas perpindahan panas pada daerah *superheater* ini. Untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas pada daerah ini, maka perlu dilakukan sebuah proses simulasi.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan adanya kondisi di atas, maka pada tugas akhir kali ini akan dilakukan sebuah proses simulasi untuk mengetahui fenomena aliran serta perpindahan panas yang terjadi pada daerah

transisi antara *primary* dan *secondary superheater*. Dengan adanya proses simulasi ini, maka akan diketahui distribusi *Nusselt Number* akibat konveksi pada *tube* yang memiliki pengaruh terhadap kualitas perpindahan panasnya. Variasi yang digunakan yaitu berupa variasi jarak transisi $2D$, $3D$, $4D$, $5D$, $7D$, dan $8,33D$ (kondisi *existing*) antara *primary* dan *secondary superheater* dengan konstanta D sebagai diameter tube. Fenomena aliran serta perpindahan panas yang terjadi nantinya akan dianalisa berdasarkan distribusi *Nusselt Number* pada *tube*, distribusi temperatur, dan kecepatan aliran.

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir kali ini terdapat beberapa batasan masalah agar bahasan yang dilakukan tidak menyimpang dari ruang lingkup dari tujuan dilakukannya penelitian ini. Beberapa batasan masalah tersebut adalah :

1. Pengambilan data sekunder dilakukan di PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya
2. *Fluegass* yang mengalir dimodelkan sebagai udara yang memiliki sifat gas ideal dengan temperatur 1000 K pada sisi *inlet*
3. Kondisi aliran diasumsikan telah *steady* serta *uniform* pada sisi *inlet* dengan nilai kecepatan aliran sesuai pada pembebanan 100% (5,46 m/s)
4. Perpindahan panas yang terjadi berupa konveksi dengan mengabaikan perpindahan panas secara radiasi dan konduksi pada *tube*.
5. Domain pemodelan dibuat menggunakan *Gambit 2.4* dan akan disimulasikan dengan menggunakan *Fluent 6.3*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui fenomena aliran serta perpindahan panas yang terjadi pada *primary* dan *secondary superheater*. Dari simulasi dengan variasi jarak transisi antara *primary* dan *secondary superheater*

ini akan diketahui fenomena aliran dan distribusi *Nusselt Number* pada *tube*. Pengaruh fenomena aliran dan distribusi *Nusselt Number* yang didapatkan nantinya akan dianalisa terhadap kualitas perpindahan panasnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari tugas akhir kali ini adalah :

1. Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan mahasiswa dalam hal perpindahan panas khususnya pada *boiler*
2. Menambah pengetahuan tentang cara menyelesaikan masalah perpindahan panas pada kondisi nyata dengan menggunakan sistem simulasi CFD (Computational Fluid dynamic)
3. Mengetahui apakah desain *existing* susunan *tube* pada boiler PT. Indonesia Power, UBP, Perak masih memiliki *Nusselt Number* rata-rata yang tinggi

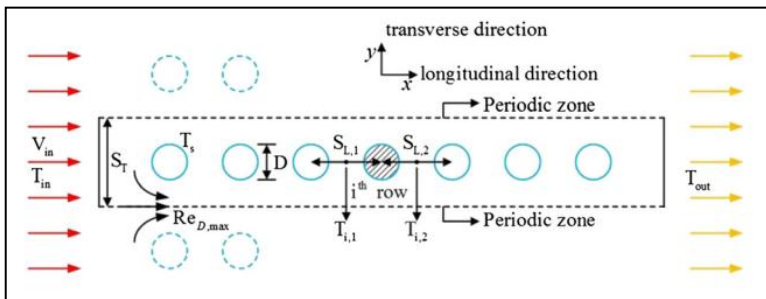
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

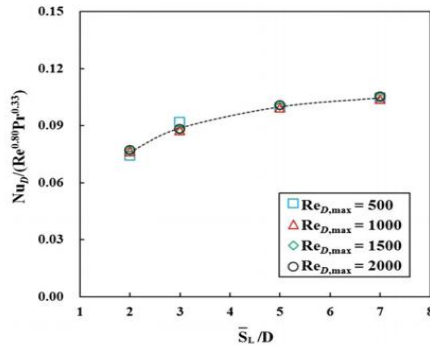
2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang karakteristik aliran dan perpindahan panas pada *tube bank* yang diberi variasi jarak transisi (l/d) telah banyak dilakukan. **Dongkyun, dkk.** (2012) telah melakukan penelitian secara numerik pada sebuah HRSG. Hasil analisa yang dilakukan digunakan untuk mengetahui performa perpindahan panas pada HRSG *existing* dan modifikasi. Selanjutnya, hasil simulasi terbaik digunakan untuk mendesain HRSG yang baru. Domain simulasi ditunjukkan seperti pada gambar 2.1 di bawah ini.



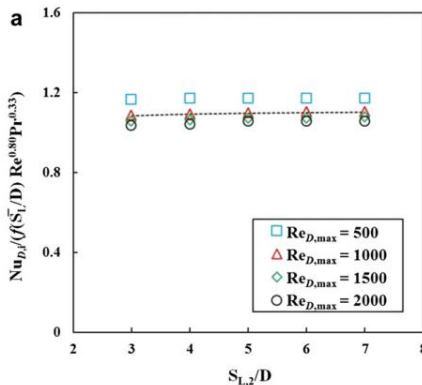
Gambar 2.1 Computational Domain HRSG (Dongkyun, dkk., 2012)

Penelitian ini dilakukan dengan empat nilai variasi *Reynolds Number* yaitu 500, 1000, 1500, dan 2000. Selain itu, untuk mengetahui efek *longitudinal pitch* (Sl/d), simulasi ini juga dilakukan dengan 4 nilai Sl/d yaitu 2, 3, 5 dan 7. Hasil penelitian ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.2 Efek Jarak *Longitudinal Pitch* untuk Seluruh *Tube* (Dongkyun, dkk., 2012)

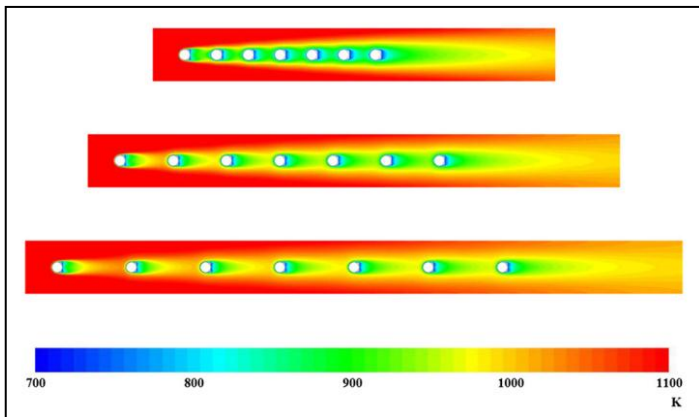
Pada grafik di atas, nilai perpindahan panas ditunjukkan melalui rasio antara *Nusselt Number* total dengan operasi pangkat *Reynolds Number* dan *Prandtl Number* agar pengaruh *Reynolds Number* terhadap *Nusselt Number* tidak terlihat. Pada grafik tersebut, terlihat bahwa semakin besar jarak *longitudinal pitch* (Sl/d), maka rasio tersebut semakin meningkat.



Gambar 2.3 Efek Jarak *Longitudinal Pitch* pada *Tube* Kolom Pertama

Pada grafik di atas, ditunjukkan distribusi konstanta *Nusselt Number* pada *tube kolom* pertama dan selanjutnya. Grafik tersebut menunjukkan bahwa pada *tube* kolom pertama tidak terpengaruh dengan perbedaan jarak *longitudinal pitch*. Hal ini ditunjukkan dari distribusi konstanta *Nusselt Number* yang relatif konstan untuk seluruh variasi jarak *longitudinal pitch*. Jarak *longitudinal pitch* hanya berpengaruh pada *tube* kolom selanjutnya. Hal ini ditunjukkan dari distribusi konstanta *Nusselt Number* yang semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jarak *longitudinal pitch*.

Distribusi temperatur hasil simulasi pada penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini.

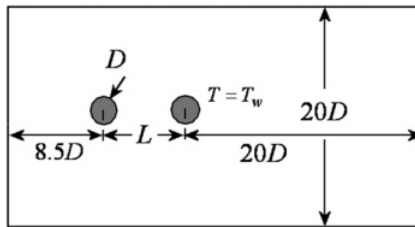


Gambar 2.4 Kontur Temperatur Hasil Simulasi pada Tiga Jarak *Longitudinal Pitch* yang berbeda (Dongkyun, dkk., 2012)

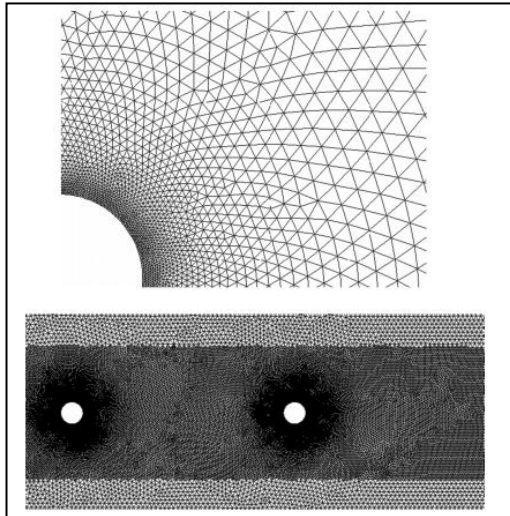
Pada gambar di atas, terlihat bahwa semakin besar jarak *longitudinal pitch*, maka pengaruh turbulensi pada *tube* akan semakin kecil. Hal tersebut juga akan menyebabkan nilai *Nusselt Number* yang semakin meningkat. Sebaliknya, pada jarak *longitudinal pitch* yang rendah, distribusi nilai *Nusselt Number* juga rendah. Titik stagnasi pada *tube* kedua sampai ketujuh dihasilkan dari aliran berkecepatan rendah dan bersuhu rendah.

Hal inilah yang menyebabkan nilai rasio pada grafik di atas terlihat lebih rendah pada jarak *longitudinal pitch* yang rendah.

Penelitian lain tentang efek *longitudinal pitch* pada *tube bank* terhadap perpindahan panas secara *cross flow* juga telah dilakukan oleh **Necati** (2008). Peneliti telah melakukan analisa secara numerik tentang perpindahan panas secara konveksi pada *tube bank*. *Tube bank* tersebut terdiri dari dua buah *tube* yang tersusun secara tandem. Domain dan hasil *meshing* yang disimulasikan dapat dilihat seperti pada gambar 2.5 di bawah ini.



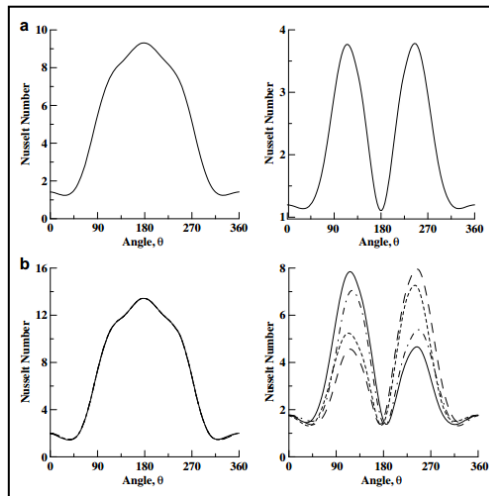
(a)



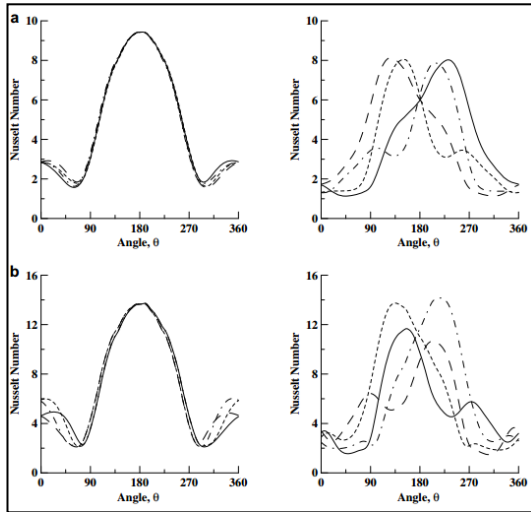
(b)

Gambar 2.5 Domain Penelitian Dua Buah *Tube* Tersusun Secara Tandem, (a) Geometri domain, (b) Hasil Meshing (Necati, 2008)

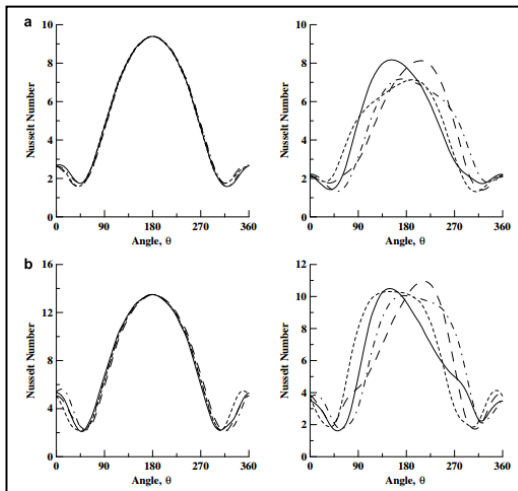
Penelitian tersebut digunakan untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas dengan variasi jarak transisi (l/d). Besar variasi l/d yang digunakan adalah 2, 3, 4, 5, 7, dan 10. Simulasi tersebut juga dilakukan dengan dua nilai bilangan *Reynolds* yang berbeda, yaitu 100 dan 200. Keseluruhan hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada gambar dan tabel di bawah ini.



Gambar 2.6 Distribusi *Nusselt Number* Lokal pada *upstream* (kiri) dan *downstream* (kanan) pada $l/d = 3$, (a) $Re=100$, (b) $Re=200$



Gambar 2.7 Distribusi *Nusselt Number* Lokal pada *upstream* (kiri) dan *downstream* (kanan) pada $l/d = 4$, (a) $Re=100$, (b) $Re=200$



Gambar 2.8 Distribusi *Nusselt Number* Lokal pada *upstream* (kiri) dan *downstream* (kanan) pada $l/d = 10$, (a) $Re=100$, (b) $Re=200$

Ketiga gambar di atas menunjukkan distribusi lokal *Nusselt Number* pada *tube* bagian *upstream* dan *downstream*. Seperti pada penelitian sebelumnya, efek jarak l/d hanya akan berpengaruh pada *tube* bagian *downstream*. Semakin besar jarak l/d , maka distribusi *Nusselt Number* akan semakin besar. Namun pada *tube* bagian *upstream*, efek jarak l/d tidak berpengaruh. Distribusi *Nusselt Number* cenderung konstan untuk seluruh variasi jarak l/d .

Re	l/D	Nu_1	Nu_2
100	2	4.74	2.03
	3	4.804	2.293
	4	5.176 ± 0.006	4.02 ± 0.43
	5	5.180 ± 0.005	4.28 ± 0.40
	7	5.159 ± 0.003	4.21 ± 0.26
	10	5.174 ± 0.003	4.27 ± 0.18
200	2	6.460	2.88 ± 0.03
	3	6.56 ± 0.001	3.54 ± 0.11
	4	7.44 ± 0.046	6.15 ± 0.51
	5	7.43 ± 0.034	5.96 ± 0.47
	7	7.45 ± 0.029	5.83 ± 0.32
	10	7.46 ± 0.027	5.86 ± 0.26

Gambar 2.9 : Rata-Rata Nilai *Nusselt Number* pada *Tube Upstream* dan *Downstream* (Necati, 2008)

Tabel di atas menunjukkan bahwa semakin besar nilai *Reynolds number*, maka kualitas perpindahan panas akan semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat dari *Nusselt Number* yang semakin meningkat pada *tube* bagian depan maupun belakang seiring dengan bertambahnya nilai *Reynolds number*. Selain itu, nilai perpindahan panas juga semakin meningkat pada jarak l/d yang lebih tinggi. Namun, pada kisaran nilai l/d 4 sampai 10 terjadi fluktuasi nilai perpindahan panas dan cenderung konstan. Hal ini terjadi pada masing-masing bilangan *Reynolds*. Fenomena ini dapat dibuktikan dengan *Nusselt Number* yang semakin meningkat pada l/d 2 sampai 4 dan *Nusselt Number* yang cenderung konstan pada l/d 4 sampai 10. Pada jarak l/d 2 sampai 4, efek turbulensi aliran masih sangat berpengaruh. *Tube* bagian

belakang mendapatkan aliran turbulen bertekanan rendah dan bersuhu rendah sehingga pada *tube* bagian ini, nilai perpindahan panasnya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya nilai l/d . Namun pada jarak l/d 4 sampai 10, pengaruh efek turbulensi aliran menjadi kecil. *Tube* bagian belakang seakan-akan menjadi *independent* tanpa pengganggu. *Tube* ini dilewati oleh aliran normal kembali dan suhu yang lebih tinggi sehingga nilai perpindahan panasnya cenderung konstan walaupun nilai l/d bertambah.

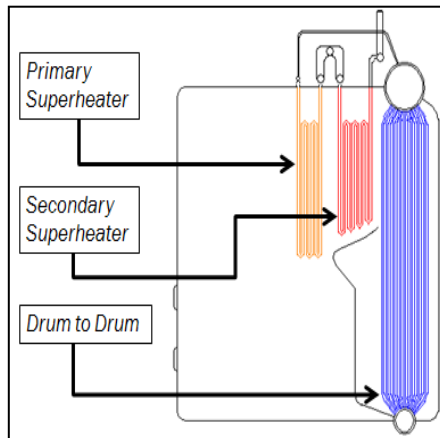
2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Superheater*

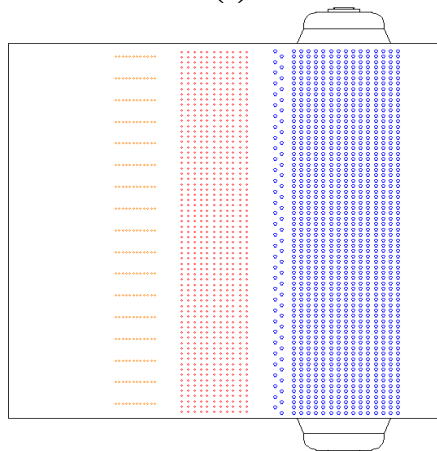
Superheater merupakan salah satu komponen penting pada *boiler* karena berguna untuk menghasilkan uap kering (*superheated steam*). Uap kering yang dihasilkan nantinya akan digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin yang telah terhubung dengan generator. Alat ini terdiri dari banyak *tube* dengan pola susunan tertentu. Pada umumnya, terdapat dua pola susunan yaitu *aligned* dan *staggered*. Kedua pola susunan *tube* ini memiliki karakteristik perpindahan panas serta kelebihan dan kekurangannya masing-masing sehingga pemilihan pola susunan *tube* pada *superheater* didasarkan pada kebutuhannya. Selain itu, berdasarkan temperatur *steam* yang dihasilkannya, *superheater* dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu *primarysuperheater* dan *secondary superheater*. *Primary superheater* memiliki temperatur keluaran *steam* yang lebih rendah daripada *secondary superheater*. *Primary superheater* merupakan modul *tube superheater* pertama yang dilewati oleh *flue gas* tetapi *secondary superheater* merupakan modul *tube superheater* kedua yang dilewati oleh *flue gass*. Penempatan inilah yang menyebabkan temperatur keluaran *steam* pada *primary superheater* lebih rendah daripada *secondary superheater*.

Pada PT. Indonesia Power UBP Perak, Surabaya, spesifikasi *boiler* yang ada hampir sama dengan penjelasan di atas. Total jumlah *tube* yang ada pada *superheater* adalah 1008 buah.

Pada *primarysuperheater* terdapat 192 buah dan pada *secondary superheater* terdapat 816 *tube*. *Tube-tube* tersebut memiliki diameter sebesar 54 mm dan tersusun secara *aligned*. Skema *superheater* yang ada di PT. Indonesia Power UBP Perak dapat dilihat pada gambar 2.10 berikut ini.



(a)



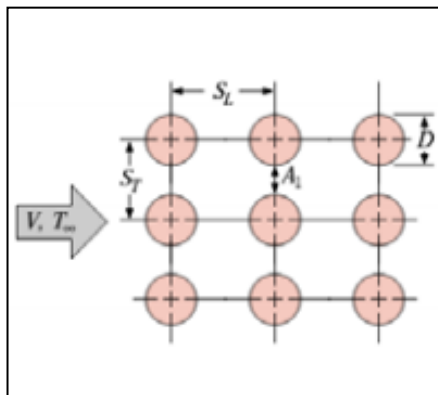
(b)

Gambar 2.10 *Tube Superheater* pada boiler PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya, (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas

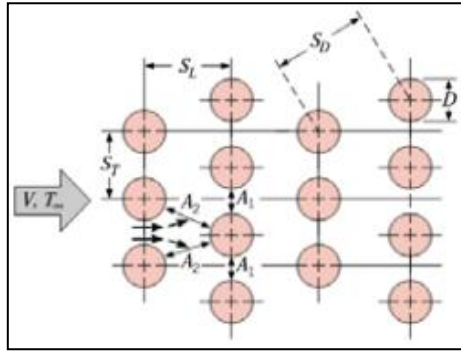
Pada pengoperasiannya, PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya, memiliki empat macam beban pembangkitan yaitu 50%, 75%, 100%, dan *MCR*. Semakin besar beban pembangkitan, maka daya listrik yang dihasilkan juga semakin besar. Sehingga, kapasitas *superheater* dalam menghasilkan *saturated steam* juga harus bertambah. Laju aliran massa *saturated steam* pada beban 50%, 75%, 100%, dan *MCR* adalah 26,41 Kg/s, 39,56 Kg/s, 53,29 Kg/s, dan 58,33 Kg/s.

2.2.2 Konsep Aliran Melintasi *Tube Bank*

Tube bank merupakan sekumpulan tabung yang memiliki konfigurasi susunan tertentu. Terdapat dua pola konfigurasi susunan tube yaitu *aligned* dan *stagered*. Kedua pola konfigurasi susunan tersebut ditunjukkan pada gambar 2.11 di bawah ini.



(a)



(b)

Gambar 2.11 Dua Pola Konfigurasi Susunan *Tube Bank*, (a) *Aligned*, (b) *Staggered*

Fluida yang mengalir pada sisi *external* dari *tube* tersebut memiliki karakteristik yang berbeda. Hal ini terjadi karena pengaruh turbulensi yang berbeda akibat adanya perbedaan susunan konfigurasinya. Pada umumnya, pengaruh turbulensi aliran dipengaruhi oleh adanya bilangan *Reynolds* maksimum. Bilangan *Reynolds* maksimum ini sangat dipengaruhi oleh adanya kecepatan aliran seperti pada persamaan 2.1 di bawah ini.

$$Re_{D,max} = \frac{\rho v_{max} D}{\mu} \quad (2.1)$$

Bila aliran bergerak pada arah *longitudinal*, maka kecepatan maksimum ini dapat terjadi pada sela-sela *tube* arah *transversal*(A_1). Kondisi ini dapat ditunjukkan pada persamaan 2.1 di bawah ini.

$$v_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} v \quad (2.2)$$

Namun, pada susunan *stagered*, kecepatan maksimum juga dapat terjadi pada daerah antar *tube* arah menyilang (A_2) antar baris. Hal ini dapat terjadi jika memenuhi persamaan 2.3 dan 2.4 di bawah ini.

$$2(S_D - D) < (S_T - D) \quad (2.3)$$

$$S_D = \sqrt{\left(S_L^2 + \left(\frac{S_T}{2}\right)^2\right)} < \frac{S_T + D}{2} \quad (2.4)$$

Sehingga, kecepatan maksimum pada kondisi ini adalah

$$v_{max} = \frac{S_T}{2(S_D - D)} v \quad (2.5)$$

Dari kasus tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai bilangan *Reynolds* maksimum sangat dipengaruhi oleh nilai jarak *transversal* (S_T). Semakin kecil nilai A_1 atau A_2 , maka aliran pada daerah tersebut akan semakin cepat. Turbulensi aliran hanya berpengaruh pada *tube* kolom kedua dan seterusnya. *Tube* kolom pertama tidak mendapat pengaruh turbulensi, karena *tube* ini mendapatkan aliran normal tanpa adanya pengganggu dari *tube* lain.

2.2.3 Konsep Konveksi pada *Tube Bank*

Sebagai alat penukar panas, pola konfigurasi susunan *tube bank* sangat mempengaruhi kualitas perindahan panasnya. Kualitas perpindahan panas yang direpresentasikan dengan adanya distribusi *Nusselt Number* diakibatkan karena pola aliran fluida yang mengalir. Sehingga, distribusi *Nusselt Number* akan sangat bergantung pada pola konfigurasi susunan *tube bank* tersebut.

Beberapa peneliti telah melakukan serangkaian eksperimen sampai menemukan teori tentang distribusi *Nusselt Number* pada *tube bank*. **Grimisson** (1976), telah menemukan korelasi antara *Nusselt Number* dan bilangan *Reynolds* seperti pada persamaan 2.6 di bawah ini.

$$\bar{N}_{uD} = C_1 Re_{D,max}^m \left[\begin{array}{c} N_L \geq 10 \\ 2000 \leq Re_{D,max} \leq 40000 \\ P_r = 0,7 \end{array} \right] \quad (2.6)$$

Namun, pada umumnya, untuk mencari nilai *Nusselt Number* secara akurat, digunakan persamaan 2.7 seperti di bawah ini.

$$\bar{N}_{uD} = 1,13 C_1 Re_{D,max}^m P_r^{1/3} \left[\begin{array}{c} N_L \geq 10 \\ 2000 \leq Re_{D,max} \leq 40000 \\ P_r \geq 0,7 \end{array} \right] \quad (2.7)$$

Nilai konstanta C_1 dan m didapatkan dari tabel di bawah ini dan nilai P_r merupakan *properties* yang diukur berdasarkan temperatur *film*.

Tabel 2.1 Konstanta C_1 dan m untuk N_L lebih dari 10

S_L/D	S_T/D							
	1.25		1.5		2.0		3.0	
	C_1	m	C_1	m	C_1	m	C_1	m
0.600	-	-	-	-	-	-	0.213	0.636
0.900	-	-	-	-	0.446	0.571	0.401	0.581
1.000	-	-	0.497	0.558	-	-	-	-
1.125	-	-	-	-	0.478	0.565	0.518	0.560
1.250	0.518	0.556	0.505	0.554	0.519	0.556	0.522	0.562
1.500	0.451	0.568	0.460	0.562	0.452	0.568	0.488	0.568
2.000	0.404	0.572	0.416	0.568	0.482	0.556	0.449	0.570
3.000	0.310	0.592	0.356	0.580	0.440	0.562	0.428	0.574

Namun, pada *tube bank* dengan jumlah *tube* pada arah *longitudinal* (N_L) kurang dari 10, nilai *Nusselt Number* total akan berkurang.

Berkurangnya nilai *Nusselt Number* tersebut nyatakan dalam faktor koreksi C_2 yang dimasukkan pada persamaan 2.7. Sehingga, nilai *Nusselt Number* total untuk $N_L < 10$ dinyatakan dalam persamaan 2.8 di bawah ini.

$$\bar{N}_{uD} (N_L < 10) = C_2 \bar{N}_{uD} (N_L \geq 10) \quad (2.8)$$

Nilai dari C_2 tercantum pada gambar di bawah ini.

Tabel 2.2 Konstanta C_2 untuk Faktor Koreksi $N_L < 10$

N_L	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Aligned</i>	0.64	0.80	0.87	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99
<i>Staggered</i>	0.68	0.75	0.83	0.89	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99

Penelitian tentang perpindahan panas pada *tube bank* tidak hanya dilakukan oleh *Grimisson*. **Zukauskas** (1972), juga telah mengemukakan teorinya tentang *Nusselt Number* pada *tube bank* seperti pada persamaan 2.9 di bawah ini.

$$\bar{N}_{uD} = C Re_{D,max}^m P_r^{0,36} \left(\frac{P_r}{P_{r,s}} \right) \begin{cases} N_L \geq 20 \\ 1000 \leq Re_{D,max} \leq 2 \times 10^6 \\ 0,7 \leq P_r \leq 500 \end{cases} \quad (2.9)$$

Nilai konstanta C dan m didapatkan dari gambar 2.17 di bawah ini. Nilai P_r merupakan *properties* yang diukur berdasarkan temperatur *film*. Namun $P_{r,s}$ diukur berdasarkan temperatur *surface*.

Tabel 2.3 Konstanta C dan m untuk Persamaan *Zukauskas*

Konfigurasi	$Re_{D,max}$	C	m
<i>Staggered</i>	$10-10^2$	0,90	0,40
<i>Staggered</i> ($S_T/S_L > 0.7$)	10^2-10^3	0,27	0,63
<i>Staggered</i> ($S_T/S_L < 2$)	$10^3-2 \times 10^5$	$0,35 \left(\frac{S_T}{S_L} \right)^{1/5}$	0,60
<i>Staggered</i> ($S_T/S_L > 2$)	$10^3-2 \times 10^5$	0,40	0,60
<i>Staggered</i>	$2 \times 10^5-2 \times 10^6$	0,022	0,84

Bila $N_L < 10$, maka digunakan faktor koreksi C_2 yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Sehingga persamaan *Nusselt Number* baru untuk $N_L < 10$ adalah

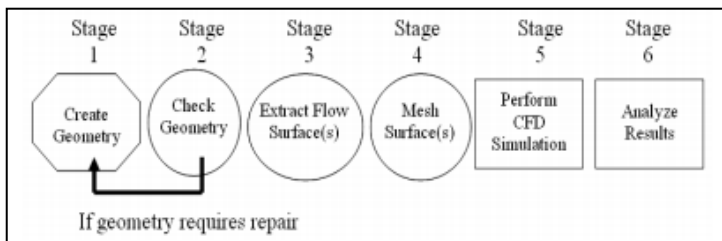
$$\bar{N}_{uD (N_L < 10)} = C_2 \bar{N}_{uD (N_L \geq 10)} \quad (2.10)$$

Tabel 2.4 Konstanta C_2 untuk Faktor Koreksi $N_L < 10$ untuk Persamaan *Zukauskas*

N_L	1	2	3	4	5	7	10	13	16
<i>Aligned</i>	0.70	0.80	0.86	0.90	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99
<i>Staggered</i>	0.64	0.76	0.84	0.89	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99

2.2.4 Numerical Modeling

CFD (*Computational Fluid Dynamic*) merupakan perangkat analisa dengan berdasarkan pada persamaan kontinuitas, momentum, dan energi. Metode ini sering digunakan sebagai proses simulasi *thermofluid* untuk menyelesaikan berbagai permasalahan *engineering*. Dalam menggunakan metode ini, perlu adanya pemahaman mendalam tentang fenomena fluida dan perpindahan panas agar simulasi yang dilakukan cukup merepresentasikan kondisi nyata. Gambar 2.12 berikut ini merupakan tahapan-tahapan sederhana untuk menggunakan metode *CFD*.



Gambar 2.12 Tahapan dalam Menggunakan Metode *CFD*

Dalam melakukan proses simulasi ini, diperlukan tiga langkah dasar yaitu *Pre-Processing*, *Processing*, dan *Post-Processing*.

Pada *Pre-Processing*, langkah pertama yang dilakukan adalah pembuatan geometri model. Geometri model harus sesuai dengan dimensi serta parameter lain pada kondisi nyata. Langkah yang dilakukan selanjutnya adalah membagi-bagi domain pemodelan yang telah dibuat menjadi bagian-bagian kecil (*grid*). Pada umumnya, proses ini dinamakan *meshing*. Bagian-bagian kecil dari domain ini akan dilakukan perhitungan secara numerik oleh perangkat lunak dengan berdasarkan pada tiga persamaan di atas. Kualitas dari hasil simulasi sangat dipengaruhi oleh kualitas *meshing*. Semakin besar jumlah *grid*, maka kualitas hasil simulasi akan semakin baik. Pada umumnya, jumlah *grid* yang dibuat harus optimal karena semakin banyak jumlah *grid*, maka semakin lama juga proses simulasi berlangsung dan diperlukan perangkat komputer dengan keandalan dan kualitas yang tinggi. Langkah yang dilakukan selanjutnya adalah pemberian kondisi batas (*boundary condition*) seperti *wall*, *velocity inlet*, *outflow*, *symetry*, dan lain-lain. Pemberian kondisi batas ini perlu dilakukan untuk mendefinisikan domain yang telah dibuat. Keseluruhan tahapan pada *Pre-Processing* tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Gambit*.

Tahap selanjutnya adalah *Processing* yang merupakan tahap simulasi pada domain pemodelan yang telah dibuat. Keseluruhan tahap ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Fluent*. Pada tahap *Processing*, langkah yang harus dilakukan adalah memberikan beberapa parameter yang digunakan untuk proses simulasi. Beberapa parameter tersebut yaitu :

1. Model 2D

Pada pemilihan model simulasi, terdapat beberapa pilihan pengaturan, salah satunya adalah model simulasi dua dimensi dengan jenis *double precission*. Model dua dimensi dipilih jika domain yang akan disimulasikan hanya berbentuk dua dimensi. Sedangkan jenis *double precission* dipilih jika domain yang akan disimulasikan memiliki geometri dan

ukuran yang rumit serta memiliki gradasi dimensi yang tinggi.

2. *Solver*

Pada pengaturan *solver*, terdapat pengaturan tentang jenis basis dari simulasi. Basis tekanan dapat dipilih jika fluida pada simulasi diasumsikan tidak mengalami perubahan *density*. Bila *density* fluida diasumsikan berubah saat proses simulasi, maka basis yang dipilih harus basis *density*.

3. *Turbulence Modeling*

Pada pengaturan *turbulence modeling*, terdapat pengaturan tentang pemodelan fluida yang mengalir secara *turbulen*. Jika bilangan *Reynolds* fluida rendah, maka dapat dipilih *k-ε RNG*. Selain itu, bila terdapat efek turbulensi aliran akibat *wall*, maka *Enhance Wall Treatment* dapat dipilih dengan mengaktifkan opsi *Pressure Gradient Effect* dan *Thermal Effect*.

4. *Energy Equation*

Pengaturan *Energy Equation* dapat diaktifkan bila simulasi yang dilakukan membutuhkan adanya perhitungan persamaan energi. Perhitungan persamaan energi perlu dilakukan pada simulasi yang memerlukan adanya analisa tentang distribusi perpindahan panas, *Nusselt Number*, dan lain-lain.

5. *Materials*

Pada pengaturan *materials*, terdapat pengaturan tentang material fluida dan material solid yang digunakan pada saat simulasi berlangsung. Jenis dan *properties* material harus sesuai dengan kondisi operasi nyata agar simulasi yang dilakukan menghasilkan data-data yang akurat.

6. *Operating Condition*

Pada menu *Operating Condition*, terdapat pengaturan tentang tekanan yang ada di dalam sistem. Besarnya nilai tekanan tersebut harus sesuai dengan kondisi realita yang ada.

7. *Boundary Condition*

Pada menu *Boundary Condition*, terdapat pengaturan tentang pemberian nilai dari hasil pemberian kondisi batas pada tahap *pre-processing*.

8. *Control Monitoring and Residual Solution*

Pada menu *Control Monitoring and Residual Solution*, terdapat pengaturan tentang jenis perhitungan numerik seperti *First Order*, *Second Order Upwind*, dan lain-lain. Selain itu, pada menu ini juga dilakukan pengaturan tentang pembatasan nilai *error* yang diterima dari hasil proses perhitungan. Semakin kecil batas *error* yang diterima, maka hasil proses simulasi akan semakin akurat.

9. *Initialize Condition*

Pada menu *Initialize Condition*, terdapat pengaturan tentang nilai awal dari proses perhitungan. Nilai awal dari proses perhitungan secara numerik ini dapat dilakukan dari berbagai tempat pada domain.

10. *Iteration*

Langkah terakhir proses pengaturan simulasi ini adalah *iteration*. Pada menu ini terdapat pengaturan tentang batasan jumlah iterasi yang dilakukan. Proses iterasi akan berhenti bila *error* hasil perhitungan telah memenuhi kriteria dari hasil pengaturan pada tahap *Control Monitoring and Residual Solution*.

Tahap selanjutnya yaitu *Post-Processing*. Pada tahap ini, dilakukan analisa dari hasil simulasi secara keseluruhan. Data yang dihasilkan dapat ditampilkan secara kualitatif dari kontur hasil simulasi, seperti kontur kecepatan, kontur temperatur, kontur tekanan, dan lain-lain. Selain itu, hasil proses simulasi juga dapat ditampilkan secara kuantitatif, seperti nilai distribusi *Nusselt Number*, nilai koefisien perpindahan panas total, nilai kecepatan pada daerah dekat dinding, dan lain-lain. Dari kedua jenis data ini, analisa yang dilakukan akan semakin akurat, sehingga karakteristik aliran dan perpindahan panas akan mudah dilakukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Pada tugas akhir ini terdapat beberapa tahapan dalam menyelesaikan permasalahan di atas dengan menggunakan sistem simulasi *Computational Fluid Dynamic*. Tahapan-tahapan untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah :

1. Studi Kasus

Studi kasus yang dilakukan adalah mempelajari adanya permasalahan yang ada pada PT. Indonesia Power, Perak, Surabaya, khususnya pada komponen pembangkit berupa *boiler*. Selain itu, studi kasus juga dilakukan dengan cara berdiskusi dengan pihak akademisi yang telah mengetahui dan pernah mengatasi permasalahan ini.

2. Studi Literatur

Dalam menyelesaikan permasalahan ini, terdapat beberapa penelitian terdahulu serta beberapa teori-teori yang berhubungan. Teori-teori serta literatur penelitian terdahulu didapat dari berbagai macam sumber, seperti jurnal, buku, dan lain-lain.

3. Pengumpulan Data

Data tentang spesifikasi dan data operasi boiler diambil langsung dari PT. Indonesia Power, Perak, Surabaya. Data yang diperoleh tersebut adalah berupa temperatur pada *inlet* dan *outlet* dari *primary* serta *secondary superheater*. Selain itu, pengumpulan data juga dilakukan dengan mengambil data berupa dimensi tube dan jarak transisi pada *primary* dan *secondary superheater* serta laju massa bahan bakar yang nantinya digunakan sebagai input kecepatan.

4. Pemodelan dan Simulasi

Tahapan selanjutnya yaitu membuat domain pemodelan berdasarkan dimensi dari data yang telah didapat. Pembuatan domain ini dilakukan dengan menggunakan *Gambit 2.6*. Domain yang telah dibuat selanjutnya akan disimulasikan pada *Fluent 6.3* untuk mengetahui karakteristik perpindahan panasnya.

5. Pengolahan Data Hasil Simulasi

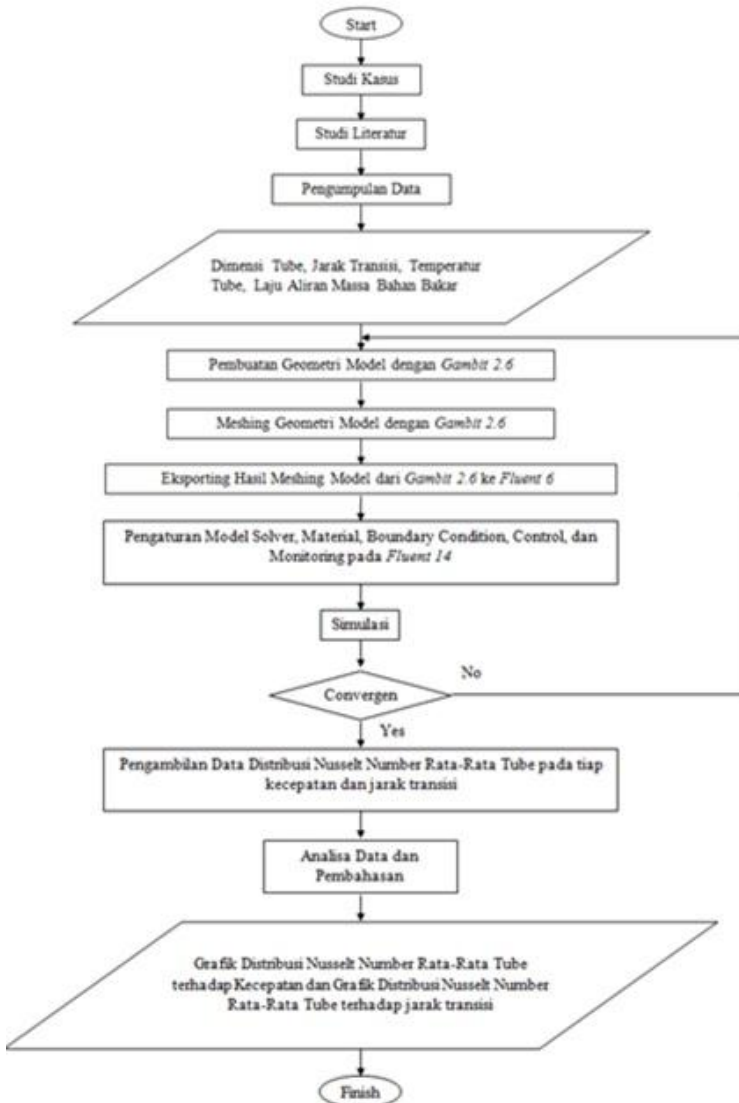
Data hasil simulasi pada *Fluent 6.3* nantinya akan ditampilkan secara kuantitatif berupa grafik distribusi *Nusselt Number* jarak transisi. Selain itu, data hasil simulasi juga akan ditampilkan secara kualitatif berupa kontur temperatur serta kontur kecepatannya. Dari kedua cara tersebut, karakteristik perpindahan panas pada daerah transisi antara *primary* dan *secondary superheater* akan diketahui secara jelas dan akurat.

6. Penyusunan Laporan

Keseluruhan tahapan penelitian serta hasil dari pengolahan data pada tugas akhir ini akan di tulis dalam suatu laporan secara runtut dan sistematis.

3.2 *Flowchart* Penelitian

Gambar 3.1 di bawah ini adalah *flowchart* tentang tahapan-tahapan pada tugas akhir kali ini. *Flowchart* ini digunakan agar penelitian dilakukan secara runtut dan sistematis berdasarkan tahapan-tahapan yang telah disusun.



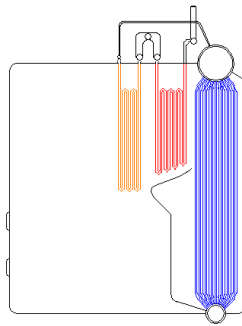
Gambar 3.1 *Flowchart* Tahapan Penelitian

3.3 Pemodelan dan Simulasi

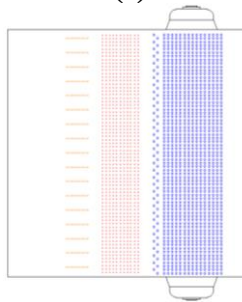
Pada penelitian kali ini, simulasi tentang perpindahan panas yang digunakan adalah model dua dimensi. Simulasi dilakukan dengan variasi jarak transisi yaitu $2D$, $3D$, $4D$, $5D$, $7D$, dan $8,33D$ (kondisi *existing*) antara *primary* dan *secondary superheater* dengan konstanta D sebagai diameter tube. Dalam simulasi kali ini terdapat tiga tahapan, yaitu *Pre-Processing*, *Processing*, dan *Post-Processing*.

3.3.1 Tahap *Pre-Processing*

Pada tahap *Pre-Processing*, hal pertama yang dilakukan adalah pembuatan geometri model. Pembuatan geometri model ini dilakukan dengan menggunakan *Gambit 2.6*. Pembuatan geometri kali ini mengacu pada data-data dimensi *boiler existing* yang telah didapat dari PT. Indonesia Power, UBP.Perak, Surabaya, seperti pada gambar di bawah ini. Pembuatan geometri pemodelan juga dilakukan untuk kondisi modifikasi, yaitu jarak transisi $2D$, $3D$, $4D$, $5D$, dan $7D$ antara *primary* dan *secondary superheater* dengan konstanta D sebagai diameter tube. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran dan perpindahan panas dari hasil simulasi pada kondisi modifikasi.



(a)



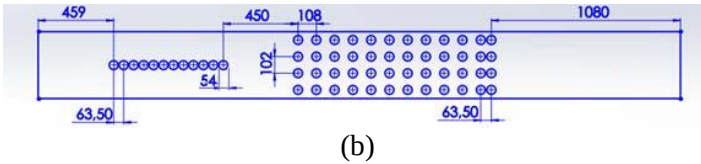
(b)

Gambar 3.2 Skema Boiler PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya

(a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas



(a)

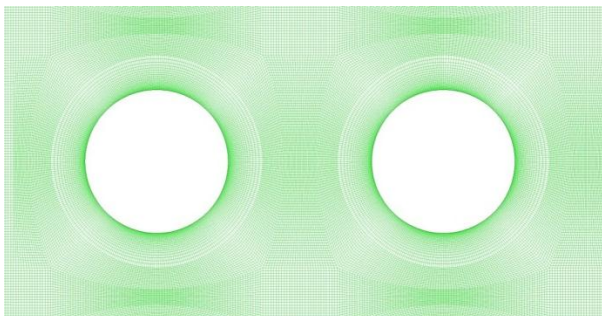


Gambar 3.3 Tube Primary dan Secondary Superheater Kondisi Existing, (a) Control Volume, (b) Dimensi Control Volume dalam Satuan mm

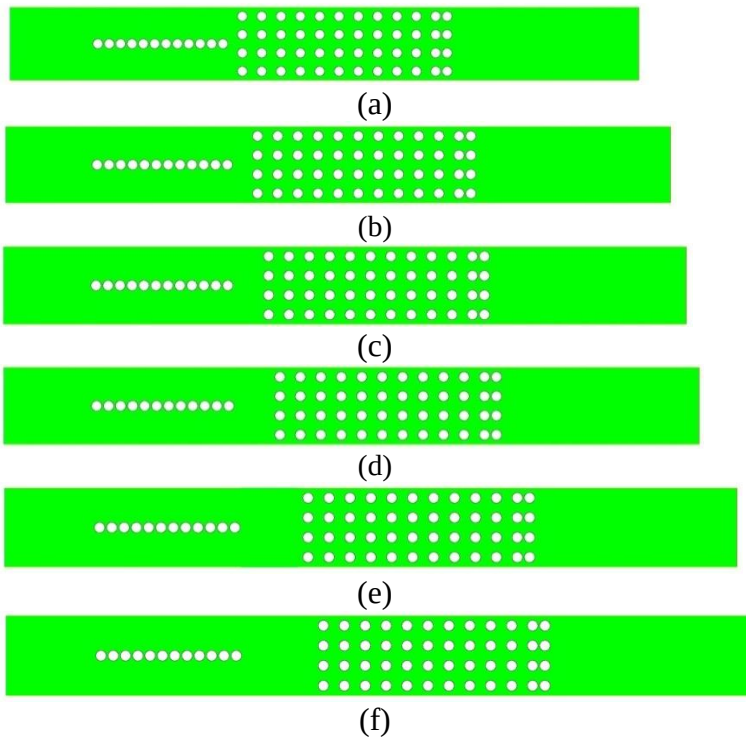


Gambar 3.4 Hasil Pembuatan Geometri Model Tube Primary dan Secondary Superheater Kondisi Existing

Pada tahap selanjutnya, dilakukan *meshing* dari geometri model. *Meshing* yang digunakan adalah jenis *Quadrilateral-Map*. *Meshing* adalah pembagian geometri menjadi bagian-bagian kecil yang nantinya akan dilakukan perhitungan secara komputasi. *Meshing* pada sekitar *tube* sengaja dibuat lebih rapat karena pada daerah tersebut terjadi gradasi kondisi yang signifikan, seperti penurunan suhu, kenaikan kecepatan, dan lain-lain. Hasil *meshing* tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

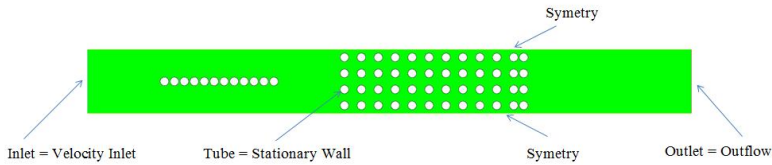


Gambar 3.5 : Hasil Meshing di Sekitar Tube



Gambar 3.6 Hasil Meshing Model *Tube Primary* dan *Secondary Superheater*, (a) 2D, (b) 3D, (c) 4D, (d) 5D, (e) 7D, (f) 8,33D (Kondisi *Existing*)

Pada tahap selanjutnya dilakukan pemberian kondisi batas (*boundary condition*) pada model. Pada sisi *inlet* diberi *boundary condition* berupa *velocity inlet*. Pada sisi *outlet* diberi *boundary condition* berupa *outflow*. Pada batas atas dan bawah diberi *boundary condition* berupa *symmetry*. Pada dinding luar *tube* diberi *boundary condition* berupa *stationary wall*. Keseluruhan tahapan pemberian kondisi batas ini diperjelas melalui gambar di bawah ini.



Gambar 3.7 Pemberian *Boundary Condition* pada Domain Pemodelan

3.3.2 Tahap *Processing*

Pada tahap *processing*, dilakukan proses simulasi model yang telah dibuat dengan menggunakan *Fluent 6.3*. Langkah-langkah yang harus dilakukan pada tahap *processing* ini adalah sebagai berikut.

1. Model 2D

Model dua dimensi dipilih karena domain yang akan disimulasikan hanya berbentuk dua dimensi. Sedangkan jenis *double precision* dipilih karena domain yang akan disimulasikan memiliki geometri dan ukuran yang rumit serta memiliki gradasi dimensi yang tinggi.

2. Solver

Pressure Base dipilih karena fluida pada simulasi diasumsikan tidak mengalami perubahan *density*. Selain itu, proses simulasi diasumsikan telah mengalami kondisi tunak, sehingga pengaturan *steady state* diaktifkan.

3. Turbulence Modeling

Pada pengaturan *turbulence modeling*, dipilih *k-ε RNG*. Jenis turbulensi model ini dipilih karena bilangan *Reynolds* dari fluida bernilai rendah. Selain itu, karena terdapat efek turbulensi aliran akibat *wall*, *Enhance Wall Treatment* dipilih dengan mengaktifkan opsi *Pressure Gradient Effect* dan *Thermal Effect*.

4. *Energy Equation*

Energy Equation diaktifkan karena simulasi yang dilakukan membutuhkan adanya perhitungan persamaan energi.

5. *Materials*

Pada pengaturan ini, material fluida yang digunakan adalah udara. Sedangkan material solid yang digunakan adalah *steel*. *Properties* udara dan *steel* diasumsikan berada pada kondisi suhu 1000 K, seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.1 *Properties* udara dan *steel* pada suhu 1000 K

Material	Massa Jenis (kg/m ³)	Cp (j/kg k)	Konduktivitas Thermal (w/m K)	Viskositas Kinematik (kg/m s)
<i>Air</i>	0,3482	1141	0,0667	4,244
<i>Steel</i>	8055	606	25,4	-

6. *Operating Condition*

Besarnya nilai tekanan pada sistem adalah 1 atm.

7. *Boundary Condition*

Nilai dari kondisi batas berupa temperatur luar *tube* pada simulasi kali ini ditunjukkan pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 3.2 Temperatur *Superheater* pada Pembebanan 100%

Tube Kolom ke-	Temperatur Superheater (K)	
	Primary	Secondary
1	579,00	626,00
2	584,45	640,55
3	589,91	655,09
4	595,36	669,64
5	600,82	684,18
6	606,27	698,73
7	611,73	713,27
8	617,18	727,82
9	622,64	742,36
10	628,09	756,91
11	633,55	771,45
12	639,00	786,00

8. *Control Monitoring and Residual Solution*

Pada menu *Control Monitoring and Residual Solution*, terdapat pengaturan tentang jenis perhitungan numerik seperti *First Order*, *Second Order Upwind*, dan lain-lain. Selain itu, pada menu ini juga dilakukan pengaturan tentang pembatasan nilai *error* yang diterima dari hasil proses perhitungan. Semakin kecil batas *error* yang diterima, maka hasil proses simulasi akan semakin akurat.

9. *Initialize Condition*

Pada menu *Initialize Condition*, terdapat pengaturan tentang nilai awal dari proses perhitungan. Nilai awal dari proses perhitungan secara numerik ini dapat dilakukan dari berbagai tempat pada domain.

10. *Iteration*

Langkah terakhir proses pengaturan simulasi ini adalah *iteration*. Pada menu ini terdapat pengaturan tentang batasan jumlah iterasi yang dilakukan. Proses iterasi akan berhenti bila *error* hasil perhitungan telah memenuhi kriteria dari hasil pengaturan pada tahap *Control Monitoring and Residual Solution*.

3.3.3 Tahap *Post-Processing*

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisa data dan pembahasan. Untuk mengetahui kualitas hasil simulasi, perlu dilakukan beberapa metode dalam proses validasi. Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kualitas hasil simulasi adalah *Grid Independency*. Berdasarkan teori, semakin besar jumlah *grid*, maka hasil simulasi akan semakin bagus. Namun, pada penggunaan *grid* yang terlalu besar, dibutuhkan daya komputasi yang besar sehingga dianggap kurang efektif. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini digunakan jumlah *grid* yang paling optimal. Metode *Grid independency* yang dilakukan pada penelitian kali ini yaitu melakukan perbandingan hasil distribusi *Nusselt Number* rata-rata pada *Secondary Superheater* hasil simulasi dengan perhitungan secara teoritis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

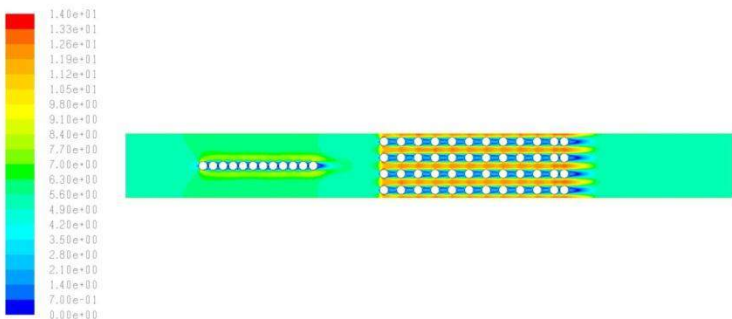
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

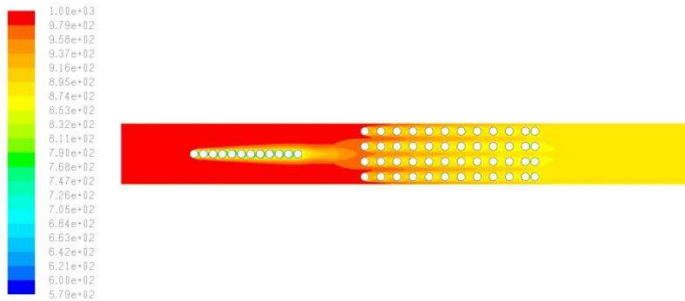
4.1 Validasi dengan Metode *Grid Independency*

Sebelum divariasikan, hasil simulasi aliran serta perpindahan panas yang telah dilakukan harus dibandingkan terlebih dahulu dengan perhitungan teoritis. Salah satu metode perbandingan atau validasi yang dipilih pada penelitian ini adalah *Grid Independency*. Hasil distribusi *Nusselt Number* rata-rata dari proses simulasi akan dibandingkan dengan perhitungan *Nusselt Number* rata-rata secara teoritis seperti pada tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Perbandingan *Nusselt Number* Rata-Rata Simulasi dengan Perhitungan

Jumlah <i>Grid</i>	<i>Nu</i> Rata-Rata Simulasi <i>Secondary Superheater</i>	Grimisson <i>Nu</i> Rata-Rata	<i>Error (%)</i>
469.863	48,86	45,56	6,75
812.398	47,86	45,56	4,81
1.200.964	44,22	45,56	3,04
1.961.292	44,27	45,56	2,91





Gambar 4.1 Hasil Proses Simulasi pada Domain kondisi *Existing*

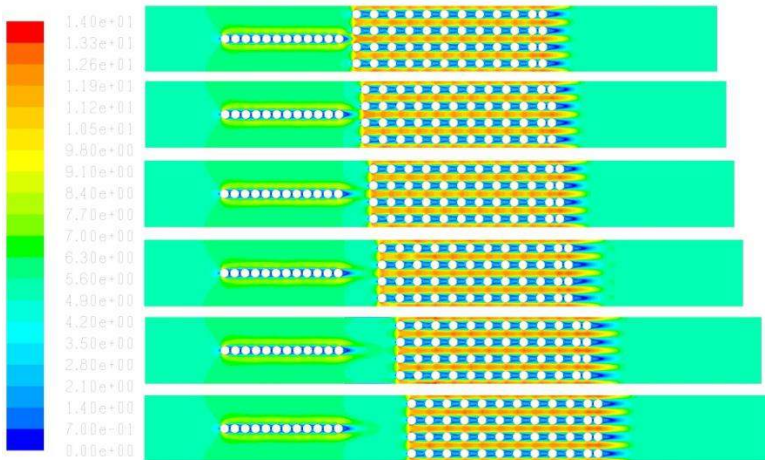
Nilai *Nusselt Number* rata-rata simulasi *secondary superheater* pada tabel 4.1 di atas merupakan hasil dari proses simulasi domain pada gambar 4.1. Dari tabel di atas, terlihat bahwa nilai *error* perbandingan distribusi *Nusselt Number* rata-rata dari proses simulasi dengan perhitungan berkisar pada nilai 2,9% dengan jumlah grid sebesar 1.961.292 buah. Hal ini menunjukkan bahwa domain simulasi telah merepresentasikan keadaan sebenarnya dan layak untuk dilakukan proses lanjutan. Proses lanjutan tersebut adalah berupa simulasi pada domain yang akan disimulasikan, yaitu domain dengan variasi jarak transisi $2D$, $3D$, $4D$, $5D$, $7D$, dan $8,33D$ (kondisi *existing*) antara *primary* dan *secondary superheater* dengan konstanta D sebagai diameter tube. Jumlah *grid* yang dipilih pada proses simulasi tersebut adalah 1.961.292 buah karena pada jumlah grid ini perbandingan antara proses simulasi dan perhitungan memiliki nilai *error* yang terkecil.

4.2 Analisa Aliran dan Perpindahan Panas pada Domain secara *Overall*

4.2.1 Analisa Aliran pada Domain secara *Overall*

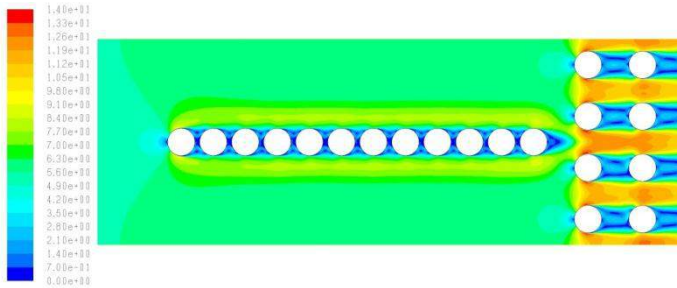
Hasil dari proses simulasi pada penelitian ini menghasilkan data kualitatif berupa kontur kecepatan aliran. Analisa yang akan dilakukan pada kedua jenis data tersebut

meliputi kondisi *existing* dan kondisi saat domain divariasikan. Kontur kecepatan aliran hasil proses simulasi untuk kondisi *existing* dan variasi ditunjukkan seperti pada gambar di bawah ini. Gambar tersebut merupakan kontur kecepatan aliran yang ditunjukkan dengan spektrum warna yang berbeda-beda untuk setiap nilai kecepatan. *Range* spektrum warna untuk setiap gambar dibuat sama yaitu pada skala nilai kecepatan aliran 0 m/s sampai 14 m/s. *Range* spektrum warna yang dibuat sama ini ditujukan agar setia gambar dapat dibandingkan. Spektrum warna yang semakin mendekati warna biru menunjukkan nilai kecepatan aliran yang semakin rendah. Sebaliknya, spektrum warna yang semakin mendekati warna merah menunjukkan nilai kecepatan aliran yang semakin tinggi. Secara keseluruhan, pada gambar tersebut terlihat bahwa nilai kecepatan aliran menjadi semakin tinggi pada celah-celah *tube*. Fenomena ini ditunjukkan dengan adanya spektrum warna merah pada daerah celah antar *tube* tersebut. Kecepatan yang tinggi ada celah-celah antar *tube* terjadi pada setiap domain yang disimulasikan, yaitu pada domain kondisi *existing* maupun pada domain yang divariasikan. Kontur kecepatan aliran di sekitar *tube* pada *primary* dan *secondary superheater* juga terlihat relatif sama untuk seluruh domain yaitu semakin tinggi pada bagian atas dan bawah *tube*.

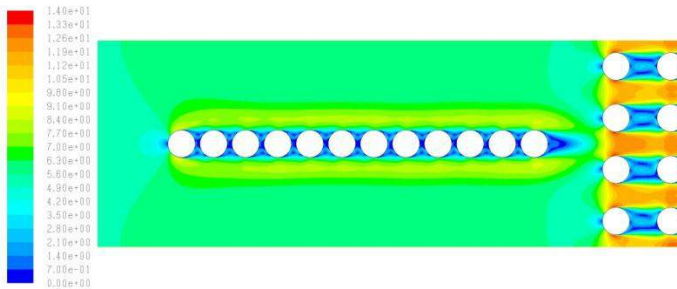


Gambar 4.2 Kontur Kecepatan Aliran pada Domain secara Overall

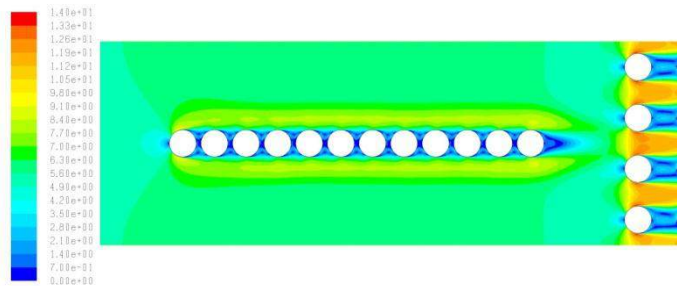
Pada seluruh domain yang divariasikan, pengaruh aliran akibat variasi jarak transisi hanya akan terjadi pada *tube* pada *secondary superheater*. *Tube* pada *primary superheater* tidak pernah terpengaruh oleh variasi jarak transisi karena kecepatan *inlet* akan selalu sama untuk seluruh variasi. Hal ini akan mengakibatkan kesamaan kontur aliran pada *primary superheater tube* pertama sampai kesebelas. Kontur aliran yang berbeda pada *primary superheater* hanya terjadi pada bagian belakang *tube* kedua belas seperti ditunjukkan pada gambar 4.3 sampai gambar 4.8 di bawah ini. Pengaruh dari jarak transisi pada bagian belakang *tube* membuat aliran mengalami perubahan penampang yang berbeda-beda. Pada jarak transisi kecil, *vortex* yang berasal dari belakang *tube primary superheater* langsung mengenai jajaran *tube* bagian depan dari *secondary superheater*. Seiring dengan bertambahnya jarak transisi, intensitas *vortex* tersebut semakin hilang. Aliran kembali normal dengan kecepatan yang sama dengan *freestream* saat jarak transisi $8,33D$ (kondisi *existing*).



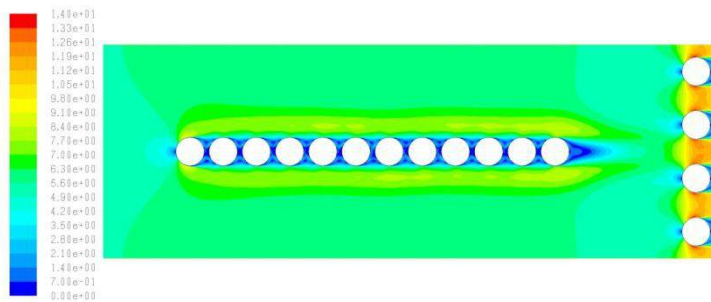
Gambar 4.3 Kontur Kecepatan Aliran pada Primary Superheater secara Overall pada Jarak Transisi 2D



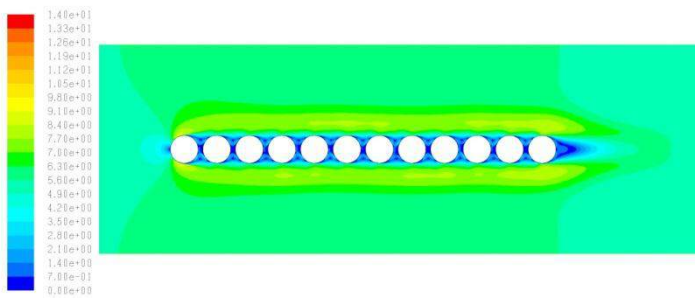
Gambar 4.4 Kontur Kecepatan Aliran pada *Primary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 3D



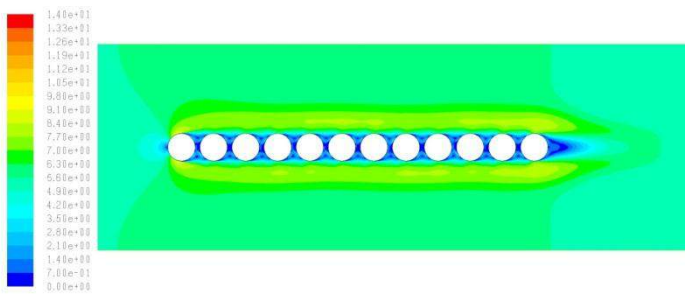
Gambar 4.5 Kontur Kecepatan Aliran pada *Primary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 4D



Gambar 4.6 Kontur Kecepatan Aliran pada *Primary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 5D

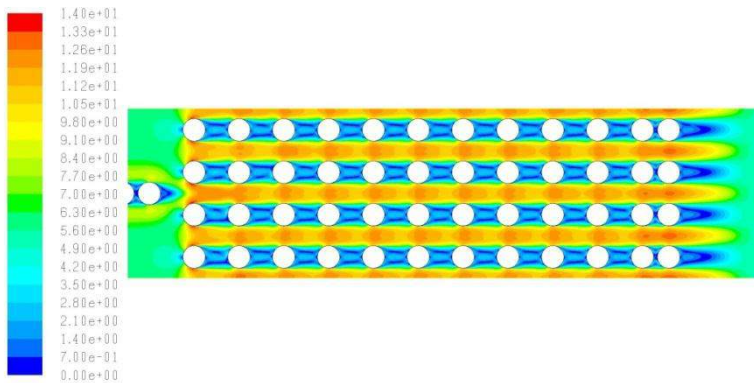


Gambar 4.7 Kontur Kecepatan Aliran pada *Primary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 7D

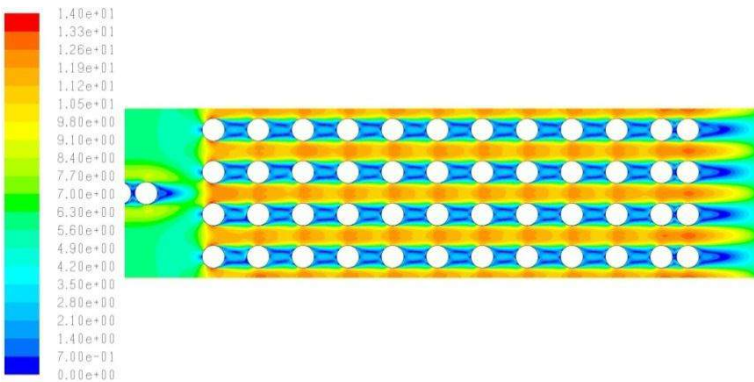


Gambar 4.8 Kontur Kecepatan Aliran pada *Primary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 8,33D (Kondisi Existing)

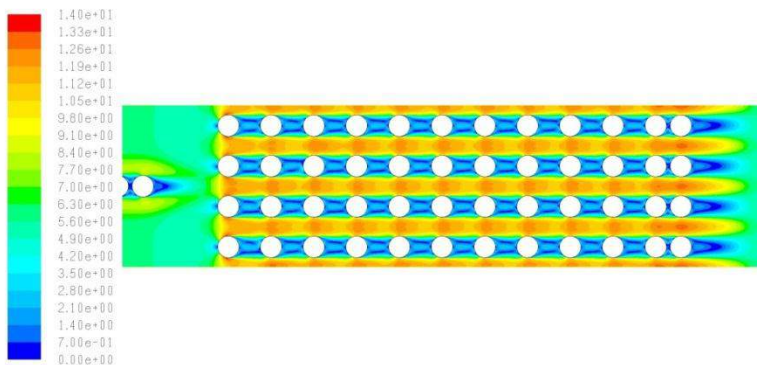
Sebaliknya, *tube* pada *secondary superheater* memiliki kecepatan *inlet* yang berbeda-beda pada beberapa variasi akibat pengaruh jarak transisi tersebut. Berdasarkan pada penjelasan di atas, saat jarak transisi kecil, *vortex* yang berasal dari belakang *tube primary superheater* langsung mengenai jajaran *tube* bagian depan dari *secondary superheater*. Hal inilah yang menyebabkan kecepatan *inlet* pada *secondary superheater* berbeda-beda untuk setiap jarak transisi. Fenomena ini ditunjukkan pada gambar 4.9 sampai gambar 4.14 berikut ini.



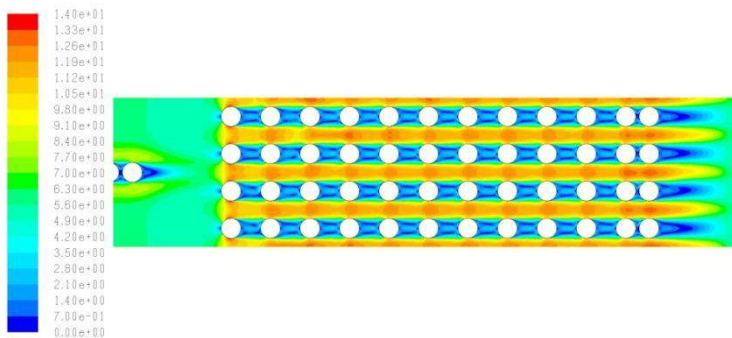
Gambar 4.9 Kontur Kecepatan Aliran pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 2D



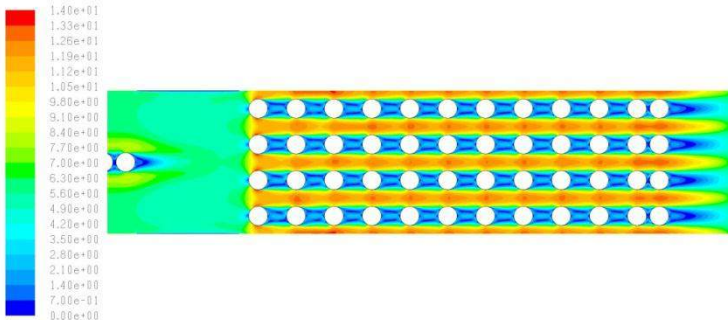
Gambar 4.10 Kontur Kecepatan Aliran pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 3D



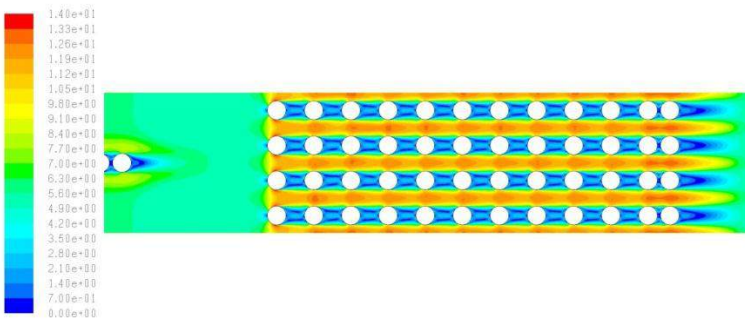
Gambar 4.11 Kontur Kecepatan Aliran pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 4D



Gambar 4.12 Kontur Kecepatan Aliran pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 5D



Gambar 4.13 Kontur Kecepatan Aliran pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 7D



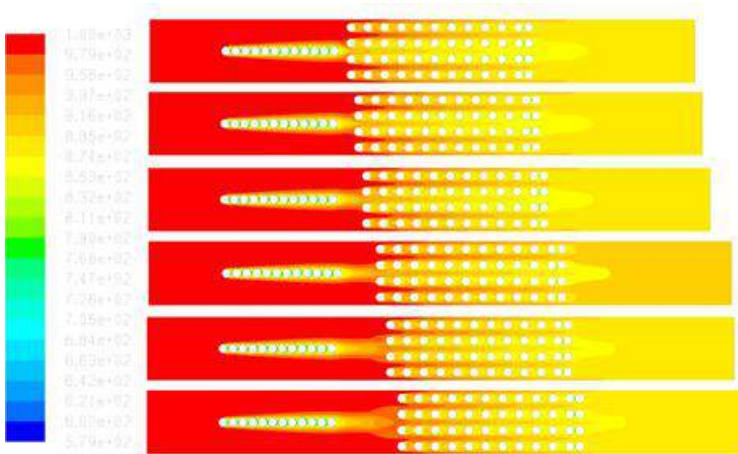
Gambar 4.14 Kontur Kecepatan Aliran pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 8,33D (Kondisi *Existing*)

Pada jarak transisi 2D sampai 4D, pengaruh turbulensi dari *primary superheater* masih terjadi pada *secondary superheater*. Namun pada jarak transisi 5D sampai 8,33D (kondisi *existing*), pengaruh turbulensi dari *primary superheater* sangat kecil. Pada jarak transisi ini, aliran telah mendekati normal kembali sehingga kecepatan *inlet secondary superheater* hampir sama dengan kecepatan *freestream*. Selain itu, pada gambar tersebut juga terlihat bahwa terjadi kesamaan kontur aliran pada *tube secondary superheater* kolom kedua sampai kolom

keduabelas. Hal ini menandakan bahwa pengaruh jarak transisi hanya terdapat pada kolom pertama *tube secondary superheater*.

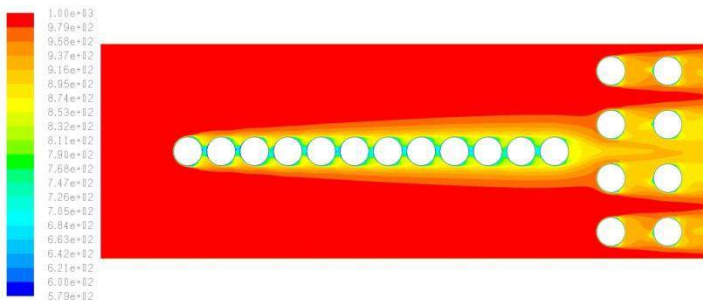
4.2.2 Analisa Perpindahan Panas pada Domain secara Overall

Hasil proses simulasi pada penelitian ini juga menghasilkan data kualitatif berupa kontur temperatur. Analisa tentang kontur temperatur ini akan dilakukan pada domain saat kondisi *existing* dan seluruh domain yang divariasikan. Kontur temperatur tersebut ditampilkan seperti pada gambar 4.15 di bawah ini. Gambar tersebut merupakan kontur temperatur yang ditunjukkan dengan spektrum warna yang berbeda-beda untuk setiap nilai temperaturnya. *Range* spektrum warna untuk setiap gambar dibuat sama yaitu pada skala nilai temperatur sebesar 0°K sampai 1000°K . *Range* spektrum warna yang dibuat sama ini ditujukan agar setiap gambar dapat dibandingkan. Spektrum warna yang semakin mendekati warna biru menunjukkan nilai temperatur yang semakin rendah. Sebaliknya, spektrum warna yang semakin mendekati warna merah menunjukkan nilai temperatur yang semakin tinggi.

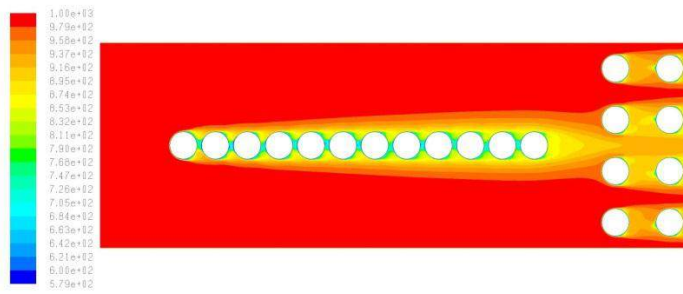


Gambar 4.15 Kontur Temperatur pada Domain secara Overall

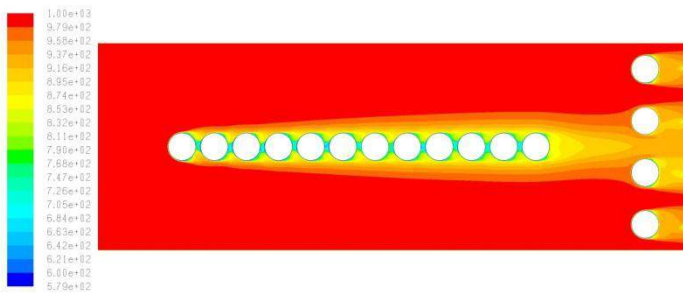
Gambar di atas merupakan kontur temperatur dari domain kondisi *existing* dan domain yang telah divariasikan. Berdasarkan teori yang ada, nilai temperatur sangat dipengaruhi oleh nilai *Nusselt Number*. Nilai *Nusselt Number* yang besar menandakan bahwa terjadi penyerapan kalor yang besar juga antara *tube* dan *fluegass* yang dimodelkan sebagai udara. Nilai *Nusselt Number* sangat dipengaruhi oleh karakteristik aliran yang ada. Aliran dengan bilangan *Reynolds* yang tinggi akan menyebabkan nilai *Nusselt Number* yang tinggi. Bilangan *Reynolds* yang tinggi menandakan bahwa fluida yang mengalir memiliki intensitas turbulensi yang tinggi. Partikel-partikel fluida mengalir secara acak sehingga tumbukan antara fluida dengan *tube* terjadi secara intensif. Hal inilah yang menyebabkan bila semakin besar nilai *Reynolds Number*, maka nilai *Nusselt Number* juga akan semakin besar.



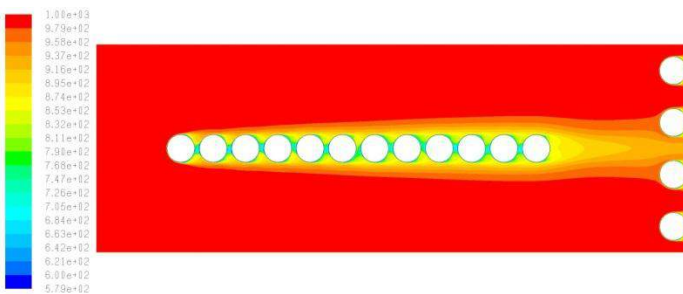
Gambar 4.16 Kontur Temperatur pada *Primary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi *2D*



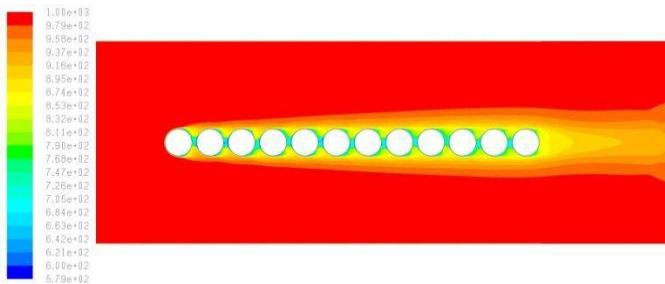
Gambar 4.17 Kontur Temperatur pada *Primary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 3D



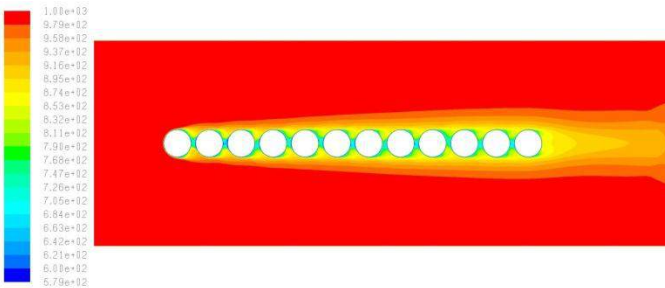
Gambar 4.18 Kontur Temperatur pada *Primary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 4D



Gambar 4.19 Kontur Temperatur pada *Primary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 5D

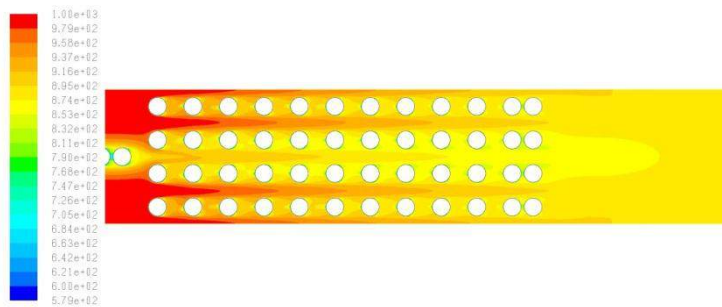


Gambar 4.20 Kontur Temperatur pada *Primary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi $7D$

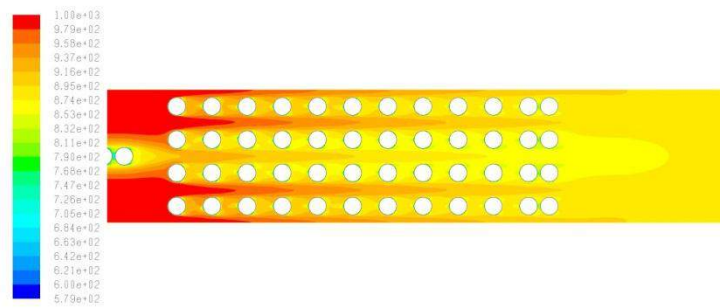


Gambar 4.21 Kontur Temperatur pada *Primary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi $8,33D$ (Kondisi *Existing*)

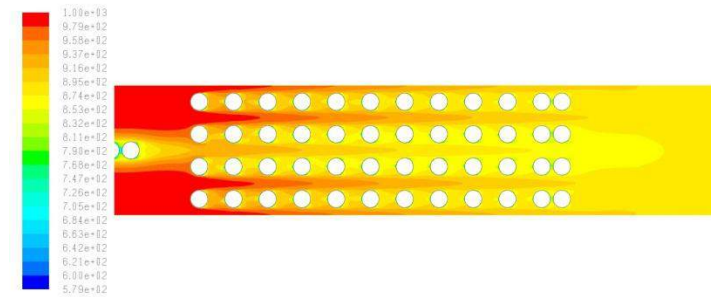
Pembahasan di atas menyebutkan bahwa pengaruh jarak transisi pada *primary superheater* tidak ada pada *tube* pertama sampai *tube* kesebelas. Gambar 4.16 sampai 4.21 di atas memperlihatkan kontur temperatur domain secara *overall* pada *primary superheater*. Pengaruh jarak transisi hanya ada pada *tube* keduabelas. Sehingga kontur tempratur yang berbeda hanya akan ada pada bagian ini.



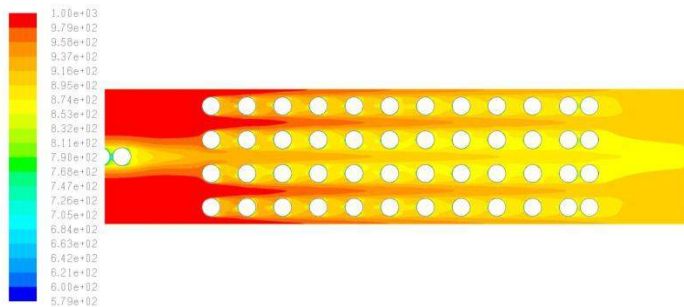
Gambar 4.22 Kontur Temperatur pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 2D



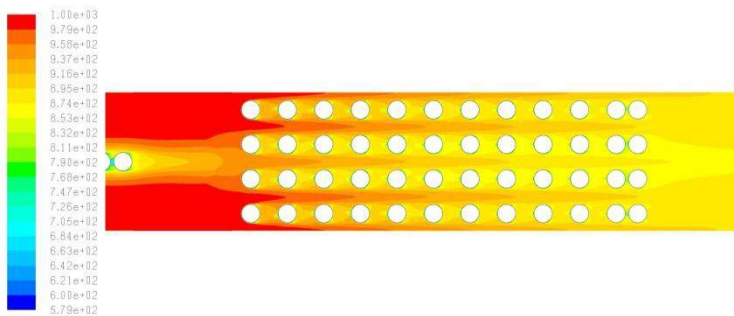
Gambar 4.23 Kontur Temperatur pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 3D



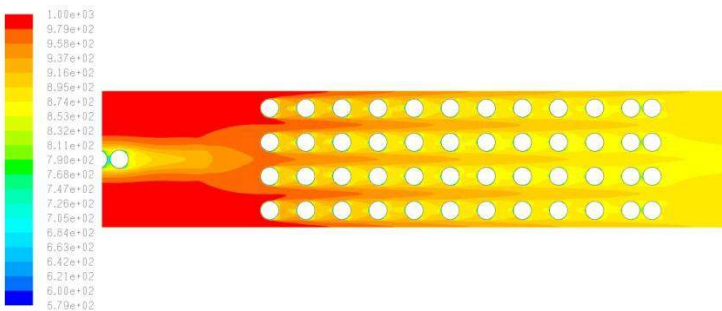
Gambar 4.24 Kontur Temperatur pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 4D



Gambar 4.25 Kontur Temperatur pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 5D

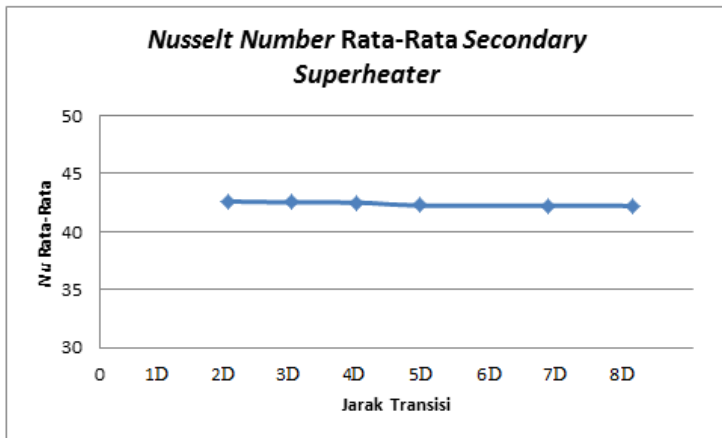


Gambar 4.26 Kontur Temperatur pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 7D



Gambar 4.27 Kontur Temperatur pada *Secondary Superheater* secara *Overall* pada Jarak Transisi 8,33D (Kondisi *Existing*)

Pada pembahasan sebelumnya, telah disebutkan bahwa pengaruh aliran akibat variasi jarak transisi hanya akan terjadi pada *tube* pada *secondary superheater* akibat adanya perubahan nilai kecepatan *inlet* pada *secondary superheater*. Gambar 4.22 sampai 4.27 di atas memperlihatkan kontur temperatur pada *secondary superheater* secara *overall*. Terlihat bahwa kontur temperatur terlihat hampir sama pada kolom kedua sampai kolom keduabelas untuk seluruh variasi. Hal ini menandakan bahwa pengaruh jarak transisi hanya terdapat pada kolom pertama *tube secondary superheater*. Sehingga, terdapat indikasi bahwa nilai *Nusselt Number* yang berubah hanya terjadi pada *tube* kolom pertama *secondary superheater*.



Gambar 4.28 Grafik Nilai *Nusselt Number* Rata-Rata pada *Secondary Superheater* terhadap Variasi Jarak Transisi

Gambar 4.28 tersebut menunjukkan nilai *Nusselt Number* rata-rata pada *secondary superheater*. Nilai *Nusselt Number* rata-rata pada *secondary superheater* yang dihasilkan dari proses

simulasi tersebut memperlihatkan adanya peningkatan yang sangat kecil pada setiap jarak transisi. Fenomena ini ditunjukkan dengan adanya nilai *Nusselt Number* yang relatif konstan pada jarak transisi 5D sampai 8,33D (kondisi *existing*) dan peningkatan yang sangat kecil pada jarak transisi 2D sampai 4D. Grafik ini juga menunjukkan bahwa dengan adanya nilai *Nusselt Number* ini mengakibatkan kalor yang diserap oleh *tube bank* pada *secondary superheater* dari *fluegass* relatif sama untuk setiap variasi. Sehingga nilai temperatur *outlet* menjadi hampir sama untuk setiap variasi. Variasi jarak transisi ini tidak berpengaruh besar pada peningkatan nilai perpindahan panas pada *secondary superheater* secara *overall*. Tabel 4.2 menunjukkan bahwa peningkatan nilai *Nusselt number* maksimal sebesar 0,9 % dari kondisi *existing* pada saat jarak transisi antara *primary* dan *secondary superheater* sebesar 2D.

Tabel 4.2 Prosentase Peningkatan *Nusselt Number* Rata-Rata pada *Secondary Superheater*

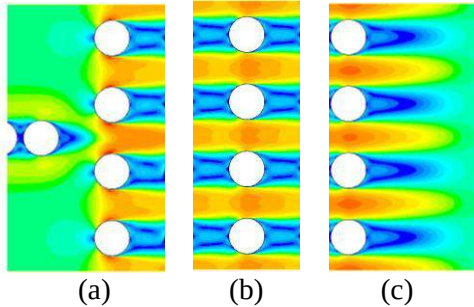
Jarak transisi	2D	3D	4D	5D	7D	8,33D
Peningkatan <i>Nu</i> (%)	0,9	0,7	0,69	0,09	0,07	0

4.3 Analisa Aliran dan Perpindahan Panas pada *Tube Kolom Pertama, Keenam, dan Keduabelas Secondary pada Superheater*

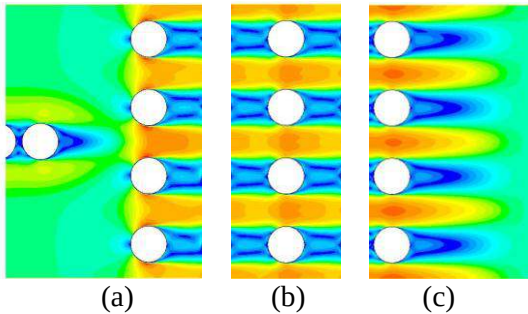
4.3.1 Analisa Aliran pada *Tube Kolom Pertama, Keenam, dan Keduabelas pada Secondary Superheater*

Pada pembahasan tentang kontur kecepatan secara *overall* dari domain, ditunjukkan bahwa pengaruh turbulensi akibat adanya *primary superheater* hanya ada pada kolom pertama pada *tube secondary superheater*. Pada *tube* kolom kedua sampai kolom keduabelas, pengaruh turbulensi akibat variasi jarak transisi sudah tidak ada. Untuk mengetahui fenomena tersebut, diperlukan data kualitatif berupa kontur kecepatan secara lebih mendalam pada kolom pertama. Selain itu, data kontur kecepatan

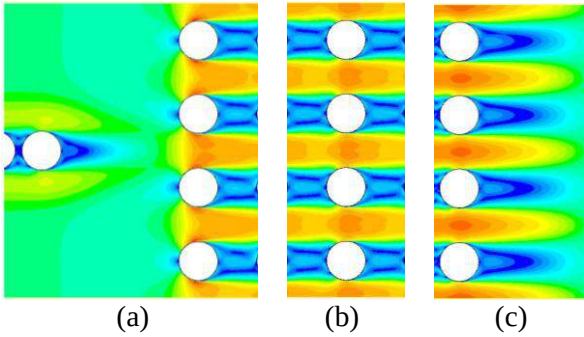
pada *tube secondary superheater* kolom keenam dan kolom keduabelas juga akan ditampilkan sebagai pembandingan dari data kontur kecepatan *tube* kolom pertama.



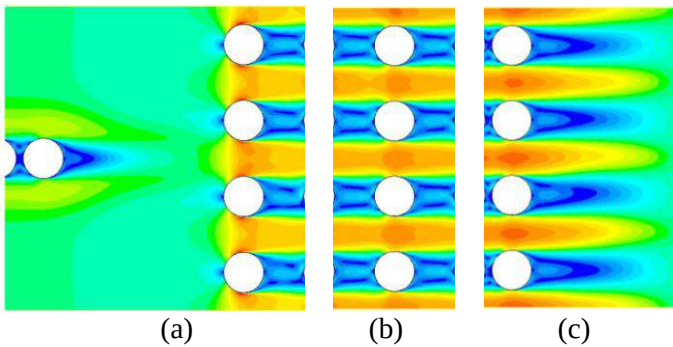
Gambar 4.29 Kontur Kecepatan Aliran pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi 2D, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas



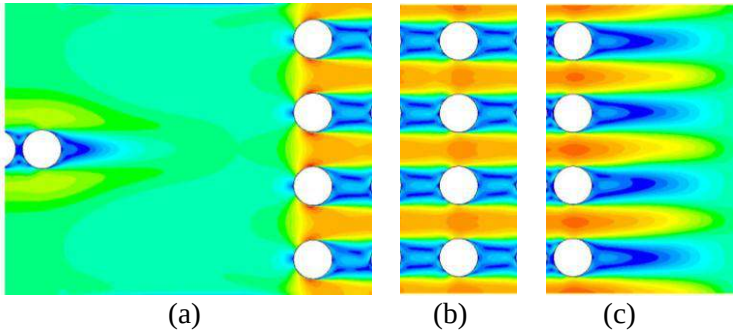
Gambar 4.30 Kontur Kecepatan Aliran pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi 3D, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas



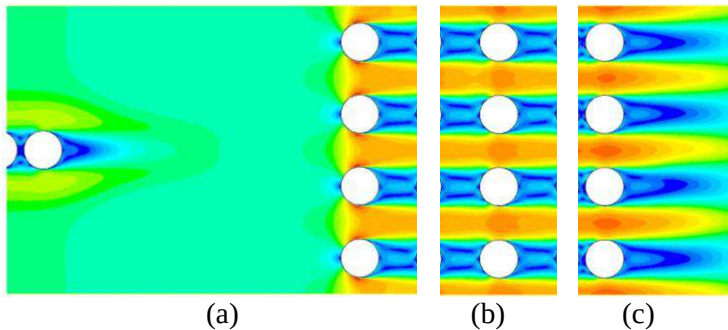
Gambar 4.31 Kontur Kecepatan Aliran pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi $4D$, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas



Gambar 4.32 Kontur Kecepatan Aliran pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi $5D$, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas



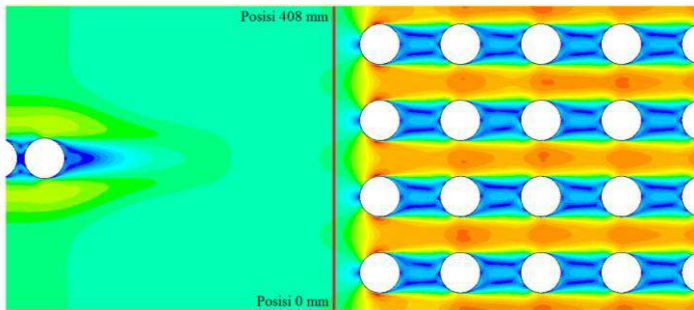
Gambar 4.33 Kontur Kecepatan Aliran pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi $7D$, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas



Gambar 4.34 Kontur Kecepatan Aliran pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi $8,33D$ (kondisi *existing*), (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas

Gambar 4.29 sampai gambar 4.34 tersebut menunjukkan bahwa kontur kecepatan aliran pada kolom keenam dan kolom keduabelas pada *secondary superheater* cenderung sama untuk seluruh domain yang divariasikan dan domain pada kondisi *existing*. Namun pada kolom pertama *secondary superheater*, kontur kecepatan aliran menunjukkan fenomena aliran yang berbeda. Pada domain dengan variasi jarak transisi sebesar $2D$,

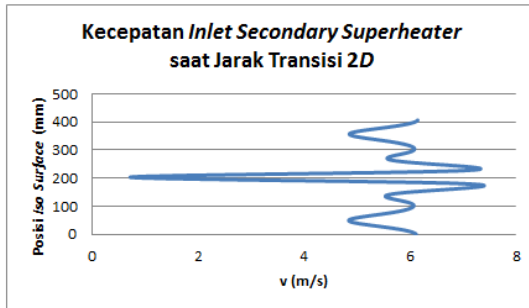
intensitas *vortex* dari *tube primary superheater* masih sangat tinggi. Sehingga aliran yang cenderung berolak ini membuat *front tube* pada *secondary superheater* teraliri oleh flida dengan keacakan yang tinggi. Partikel-partikel fluida yang menyentuh menjadi semakin *intens* dalam menumbuk *tube* kolom pertama pada *secondary superheater*. Namun, seiring dengan bertambahnya jarak transisi, intensitas *vortex* dari *primary superheater* semakin berkurang. Efek *shading* dari *primary superheater* hanya terjadi dari jarak transisi $2D$ sampai $4D$. Pada domain dengan variasi jarak transisi sebesar $5D$ sampai domain pada kondisi *existing*, *vortex* dari *primary suerheater* yang menumbuk *front tube* pada *secondary superheater* cenderung sangat kecil. Sehingga dari fenomena ini, dapat diindikasikan bahwa pada domain dengan variasi jarak transisi $2D$ sampai $4D$ memiliki kualitas perpindahan panas yang lebih baik daripada domain yang lain.



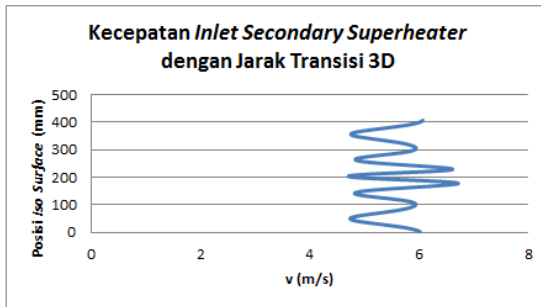
Gambar 4.35 *Iso Surface Inlet Secondary Superheater* pada posisi 0 mm sampai 408 mm

Gambar 4.35 menunjukkan posisi *iso surface inlet secondary superheater*. *Iso surface* ini digunakan untuk mengetahui kecepatan *inlet* aliran pada *secondary superheater*. Pada pembahasan ini, perlu dilakukan analisa lebih dalam mengenai kecepatan *inlet secondary superheater* karena *tube* kolom pertama dari *secondary superheater* telah terindikasi

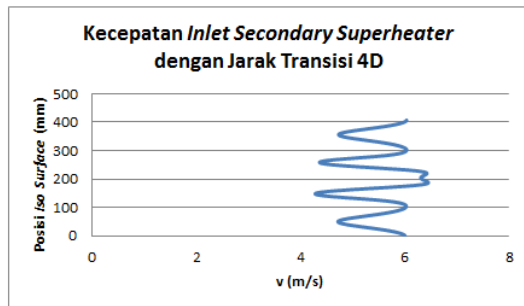
memiliki pengaruh dari aliran *primary superheater*. Berikut ini akan ditampilkan grafik nilai kecepatan pada *iso surface inlet secondary superheater* untuk setiap domain yang divariasikan.



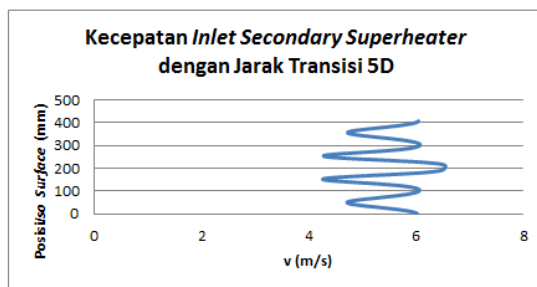
Gambar 4.36 Grafik Kecepatan *Inlet Secondary Superheater* saat Jarak Transisi 2D



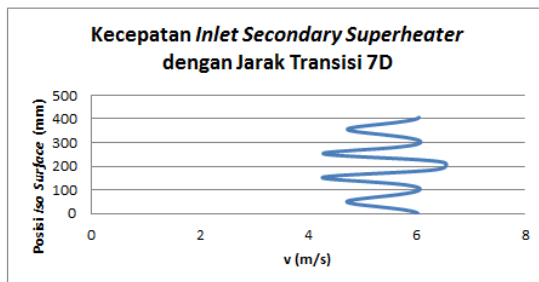
Gambar 4.37 Grafik Kecepatan *Inlet Secondary Superheater* saat Jarak Transisi 3D



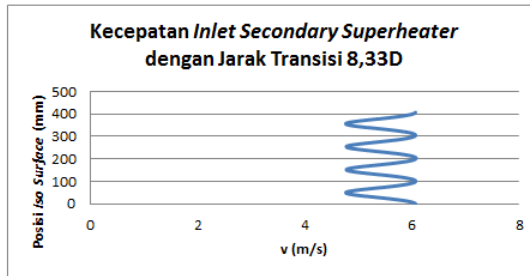
Gambar 4.38 Grafik Kecepatan *Inlet Secondary Superheater* saat Jarak Transisi 4D



Gambar 4.39 Grafik Kecepatan *Inlet Secondary Superheater* saat Jarak Transisi 5D

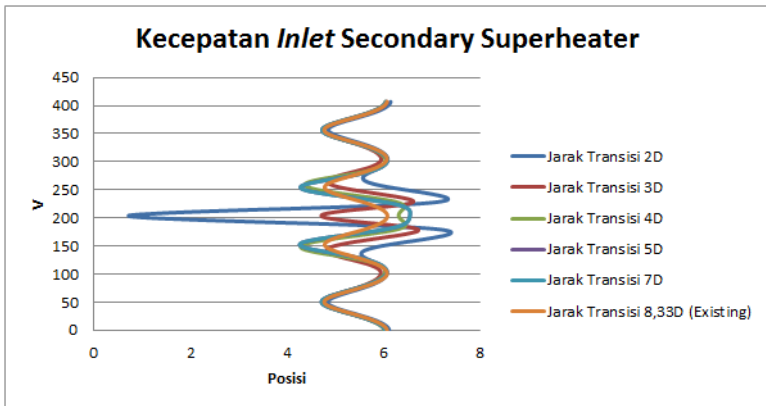


Gambar 4.40 Grafik Kecepatan *Inlet Secondary Superheater* saat Jarak Transisi $7D$



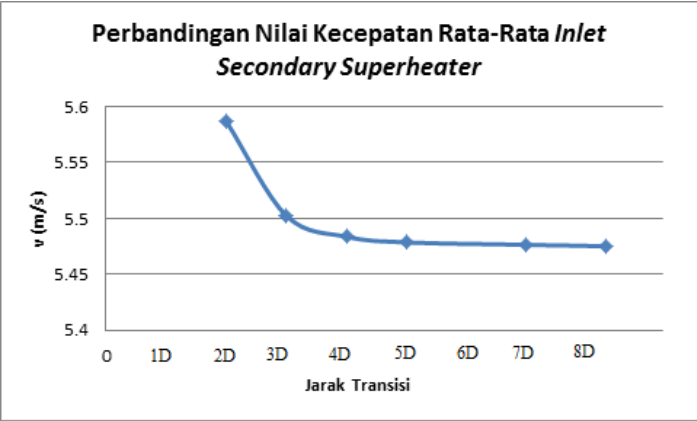
Gambar 4.41 Grafik Kecepatan *Inlet Secondary Superheater* saat Jarak Transisi $8,33D$ (Kondisi *Existing*)

Gambar 4.36 sampai 4.41 di atas menunjukkan grafik nilai kecepatan pada *iso surface inlet secondary superheater* untuk setiap domain yang divariasikan. Pada domain dengan jarak transisi sebesar $2D$, intensitas *vortex* dari aliran *primary superheater* sangat tinggi dan pada jarak transisi yang lebih besar, intensitas *vortex* dari aliran *primary superheater* semakin berkurang. Saat jarak transisi bernilai sebesar $2D$, nilai kecepatan pada *iso surface* di posisi tengah menunjukkan nilai yang paling kecil akibat adanya turbulensi dibelakang *tube primary superheater*. Namun, pada *iso surface* di posisi sedikit di atas dan di bawah dari posisi tengah, nilai kecepatan menjadi sangat besar. Hal ini terjadi akibat adanya penyempitan penampang aliran secara tiba-tiba. Sehingga fluida mengalir semakin cepat. Fenomena aliran yang hampir sama juga terjadi pada domain dengan jarak transisi $3D$ sampai $7D$. Namun, pada jarak transisi $8,33D$, grafik yang dihasilkan berfluktuasi secara konstan. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak transisi ini, aliran telah benar-benar kembali normal dengan nilai yang sama dengan kecepatan *freestream*.



Gambar 4.42 Grafik Perbandingan Kecepatan *Inlet Secondary Superheater* untuk Seluruh Variasi Jarak Transisi

Gambar 4.42 di atas merupakan grafik perbandingan kecepatan pada *iso surface inlet secondary superheater* untuk seluruh variasi jarak transisi. Pada grafik tersebut, terlihat bahwa nilai kecepatan *inlet* untuk masing-masing variasi memiliki *trend* yang berbeda-beda. Hal ini ditunjukkan dengan grafik nilai kecepatan *inlet* yang tidak menyatu. Agar lebih jelas, berikut ini akan ditampilkan perbandingan nilai kecepatan *inlet* rata-rata dari setiap jarak transisi dari grafik 4.42 tersebut.



Gambar 4.43 Grafik Perbandingan Nilai Kecepatan Rata-Rata Inlet Secondary Superheater

Grafik 4.43 tersebut menunjukkan adanya perbedaan nilai kecepatan rata-rata *inlet secondary superheater* terhadap variasi jarak transisi. Pada jarak transisi sebesar 2D, kecepatan rata-rata *inlet secondary superheater* bernilai maksimum. Namun seiring dengan bertambahnya jarak transisi, nilai kecepatan *inlet* rata-rata semakin menurun.

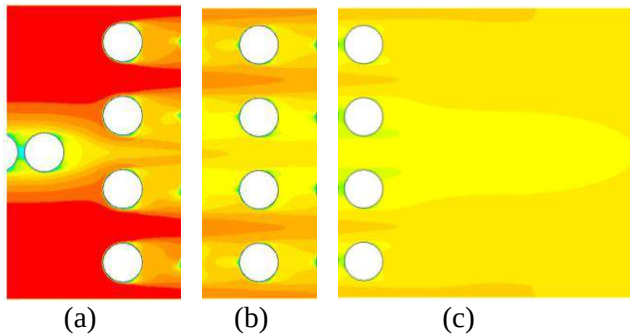
Tabel 4.3 Prosentase Peningkatan Kecepatan Rata-Rata Inlet pada Secondary Superheater

Jarak Transisi (mm)	2D	3D	4D	5D	7D	8,33D
Peningkatan Kecepatan (%)	2.03	0.50	0.15	0.06	0.02	0.00

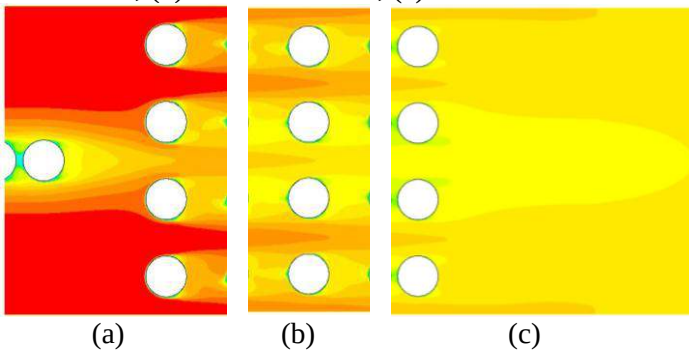
Tabel 4.3 di atas menunjukkan prosentase peningkatan nilai kecepatan rata-rata *inlet secondary superheater*. Prosentase terbesar dari proses simulasi ini terletak pada jarak transisi 2D dengan nilai sebesar 2,03 % dari kecepatan rata-rata *inlet* saat kondisi *existing*. Hal ini terjadi karena pada jarak transisi 2D, aliran mengalami penyempitan penampang yang paling kecil daripada domain yang lainnya. Sehingga kecepatan rata-rata *inlet*

yang dihasilkan sangat besar. Berdasarkan tabel tersebut, domain dengan jarak transisi $2D$ sampai $4D$ diindikasikan memiliki kualitas perpindahan panas yang lebih baik daripada domain yang lainnya.

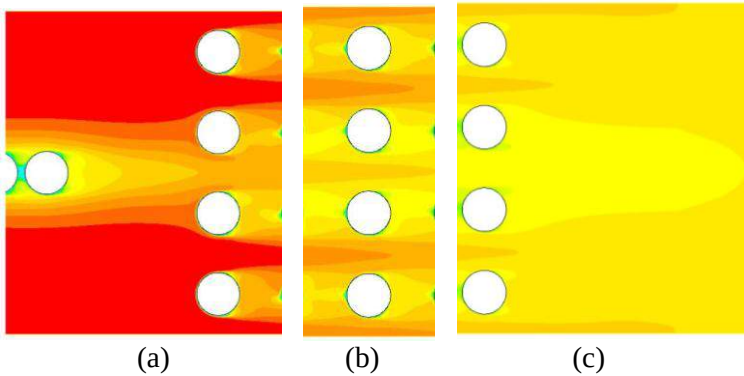
4.3.2 Analisa Perpindahan Panas pada *Tube* Kolom Pertama, Keenam, dan Keduabelas *Secondary Superheater*



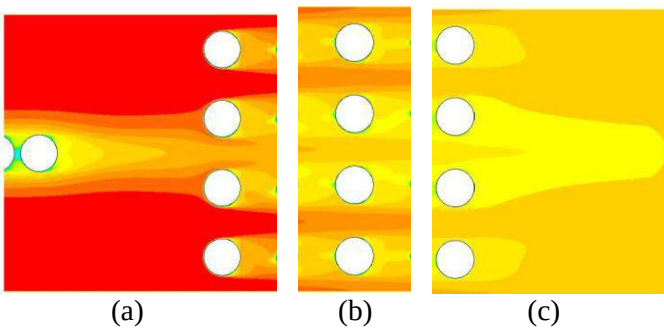
Gambar 4.44 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi $2D$, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas



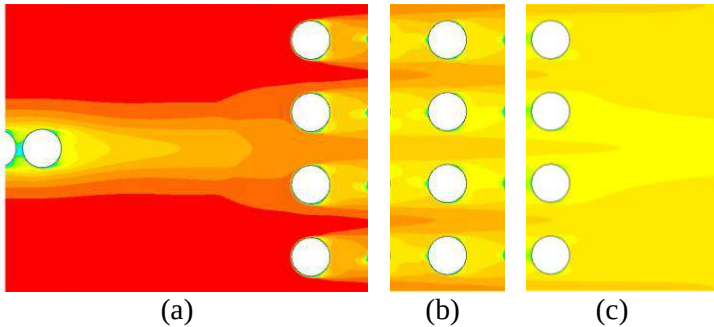
Gambar 4.45 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi $3D$, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas



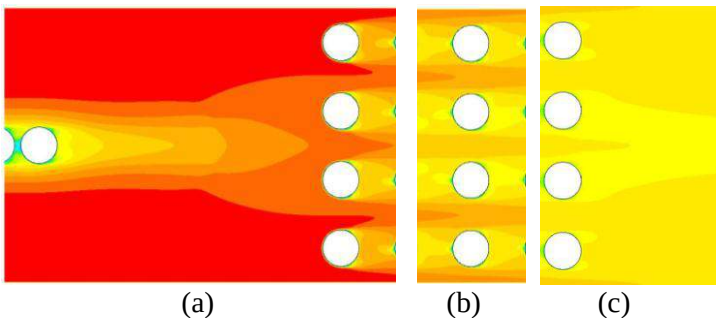
Gambar 4.46 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi $4D$, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas



Gambar 4.47 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi $5D$, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas



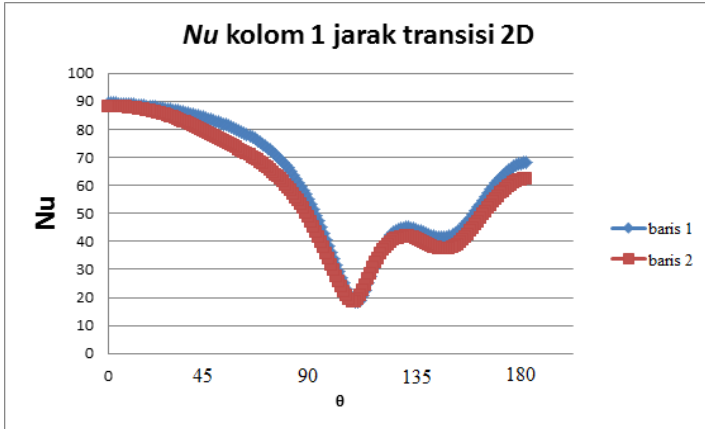
Gambar 4.48 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi $7D$, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas



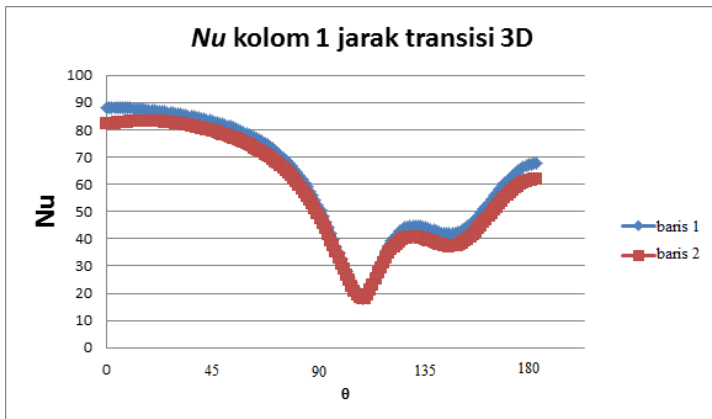
Gambar 4.49 Kontur Temperatur pada *Tube Secondary Superheater* dengan Variasi Jarak Transisi $8,33D$, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas

Gambar 4.44 sampai gambar 4.49 di atas menunjukkan kontur temperatur hasil proses simulasi pada setiap domain yang divariasikan maupun pada domain kondisi *existing*. Pembahasan sebelumnya menyebutkan bahwa terdapat indikasi pada domain dengan variasi jarak transisi $2D$ sampai $4D$ memiliki kualitas perpindahan panas yang lebih baik daripada domain yang lain. Hal ini terjadi karena pada domain tersebut masih dipengaruhi oleh *vortex* yang berasal dari *tube primary superheater*. Selain itu, pada *range* jarak transisi tersebut, terdapat peningkatan nilai

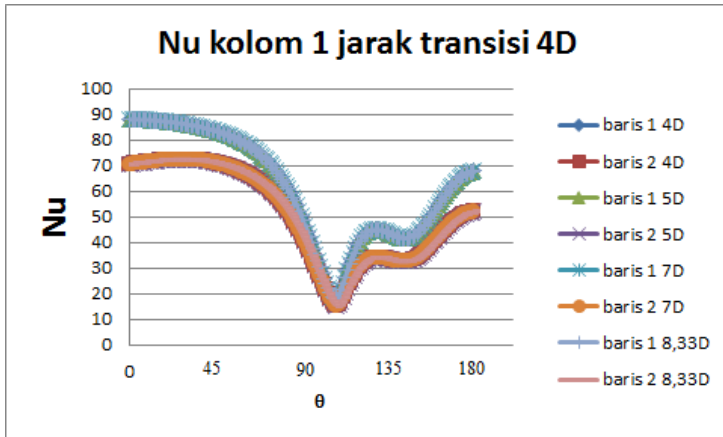
inlet rata-rata pada *secondary superheater*. Untuk membuktikan indikasi tersebut, perlu adanya data tentang fenomena tersebut.



(a)



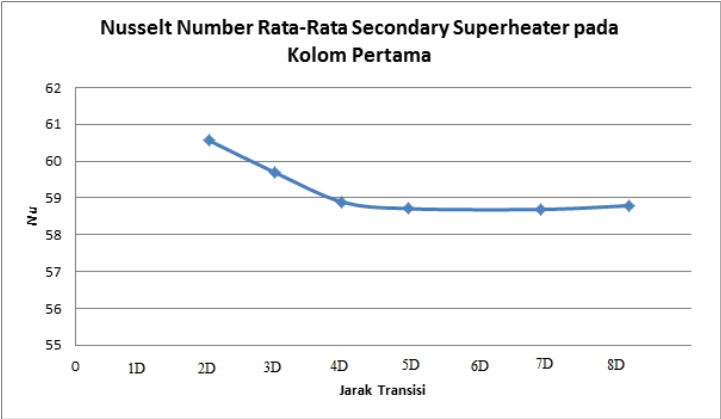
(b)



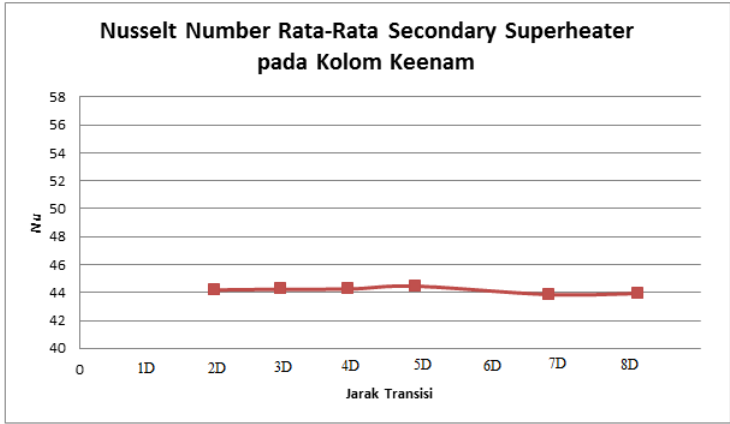
(c)

Gambar 4.50 *Nusselt Number Lokal Tube Secondary Superheater Kolom 1, (a) Jarak Transisi 2D, (a) Jarak Transisi 3D, (a) Jarak Transisi 4D, 5D, 7D, dan 8,33D.*

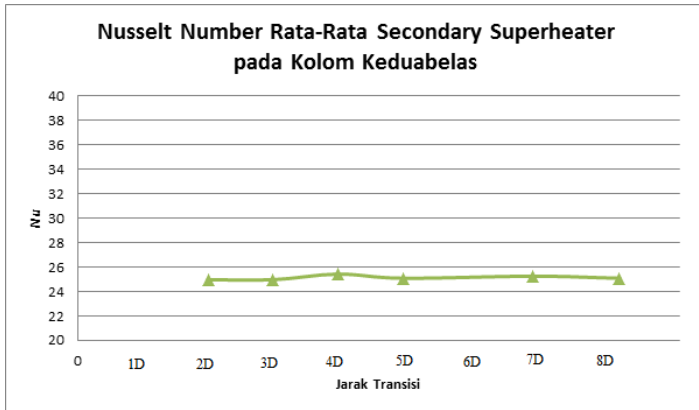
Gambar 4.50 di atas menunjukkan tentang distribusi *Nusselt Number* lokal *tube secondary superheater* kolom 1. Distribusi *nusselt number* pada *tube* baris 1 terlihat selalu sama pada semua variasi jarak transisi. Distribusi *nusselt number* yang berbeda hanya ditunjukkan pada *tube* baris 2 yang dialami saat jarak transisi sebesar $2D$ dan $3D$. Pada jarak transisi $4D$ sampai $8,33D$, distribusi *nusselt number* pada *tube* baris 2 juga terlihat sama yang dibuktikan dengan grafik yang selalu berimpit. Agar lebih jelas, dilakukan perhitungan rata-rata bagi ketiga grafik di atas seperti pada gambar di bawah ini.



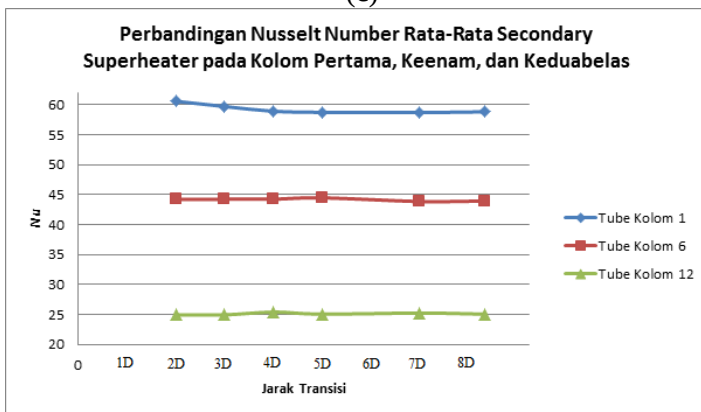
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.51 Grafik Nilai *Nusselt Number* Rata-Rata *Secondary Superheater* terhadap Variasi Jarak Transisi, (a) Kolom Pertama, (b) Kolom Keenam, (c) Kolom Keduabelas, (d) Perbandingan Kolom Pertama, Keenam, dan Keduabelas

Gambar di atas menunjukkan nilai *Nusselt Number* rata-rata *secondary superheater* pada kolom pertama, keenam, dan keduabelas. Pada grafik *tube* kolom keenam, *trend* grafik yang dihasilkan berupa garis yang cenderung konstan. Hal ini

menunjukkan bahwa *tube* kolom keenam *secondary superheater* memiliki nilai *Nusselt Number* yang hampir sama untuk semua domain yang divariasikan maupun pada domain saat kondisi *existing*. Hal yang sama juga diperlihatkan oleh grafik *tube* kolom keduabelas. *Trend* grafik yang dihasilkan juga cenderung konstan untuk setiap variasi. Hal ini juga menunjukkan bahwa *tube* kolom keduabelas *secondary superheater* memiliki nilai *Nusselt Number* yang hampir sama untuk semua domain yang divariasikan maupun pada domain saat kondisi *existing*. Fenomena yang paling berbeda ditunjukkan oleh grafik *tube* kolom pertama. *Trend* pada grafik ini cenderung naik pada nilai jarak transisi yang kecil. Pada jarak transisi $2D$ sampai $4D$, grafik semakin menurun. Hal ini terjadi karena pada *range* jarak transisi sebesar itu, intensitas turbulensi aliran dari *primary superheater* masih tinggi dan terdapat peningkatan nilai *inlet* rata-rata pada *secondary superheater*. Namun pada jarak transisi $5D$ sampai $8,33D$, *trend* grafik cenderung konstan. Hal ini terjadi karena pada Hal ini terjadi karena pada *range* jarak transisi sebesar itu, intensitas turbulensi aliran dari *primary superheater* menjadi sangat kecil. Sehingga efek turbulensi aliran dari *primary superheater* cenderung tidak ada pada *secondary superheater* di *tube* kolom pertama.

Tabel 4.4 Prosentase Peningkatan *Nusselt Number* pada *Tube* Kolom Pertama *Secondary Superheater*

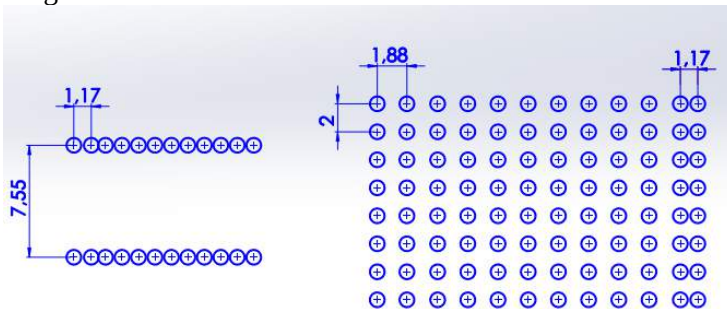
Jarak Transisi (mm)	2D	3D	4D	5D	7D	8,33D
Peningkatan Nu (%)	3,02	1,53	0,18	0,14	0,17	0,00

Tabel 4.4 di atas menunjukkan prosentase peningkatan *Nusselt Number* pada *tube* kolom pertama *secondary superheater*. Besarnya peningkatan nilai *Nusselt Number* maksimal akibat variasi jarak transisi bagi *tube* kolom pertama *secondary superheater* adalah 3,02 % dari domain saat kondisi *existing*. Data ini menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya jarak transisi, kualitas perpindahan panas menjadi lebih baik bagi *tube* kolom pertama pada *secondary superheater*.

4.4 Analisa Pengaruh St/d dan Sl/d terhadap terhadap Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas

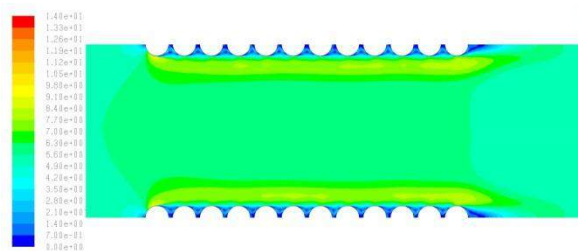
4.4.1 Analisa Pengaruh St/d dan Sl/d terhadap terhadap Karakteristik Aliran

Superheater kondisi *existing* di PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya memiliki susunan tipe *aligned* dengan nilai St/d dan Sl/d yang berbeda-beda. *Primary Superheater* memiliki nilai St/d sebesar 7,55 dan Sl/d sebesar 1,17. Pada *tube Secondary Superheater* kolom pertama sampai kesebelas memiliki nilai St/d sebesar 1,88 dan Sl/d sebesar 2. Pada *tube Secondary Superheater* kolom kedua belas memiliki nilai St/d sebesar 1,88 dan Sl/d sebesar 1.17. Skema susunan *tube* tersebut dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

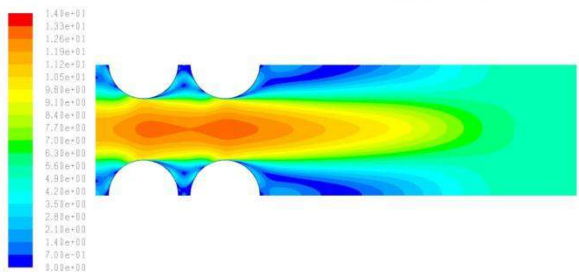


Gambar 4.52 Jarak St/d dan Sl/d pada *Primary* dan *Secondary Superheater*

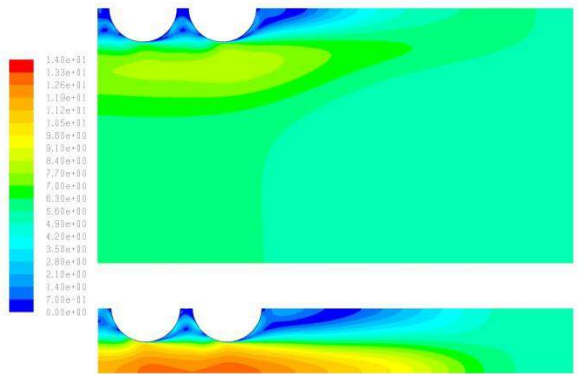
Untuk mengetahui pengaruh jarak St/d terhadap karakteristik aliran, domain yang dipilih untuk dijadikan sebagai perbandingan adalah *tube* pada *primary superheater* dengan *tube* kesebelas dan kedua belas pada *secondary superheater* pada kondisi *existing*. Kedua daerah tersebut memiliki nilai St/d yang berbeda dan nilai Sl/d yang sama. Sehingga, pengaruh dari St/d dapat ditampilkan. Untuk mengetahui pengaruh tersebut, dibutuhkan data kontur aliran seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.53 Kontur Kecepatan Aliran pada Daerah *Transversal* di *Primary Superheater*



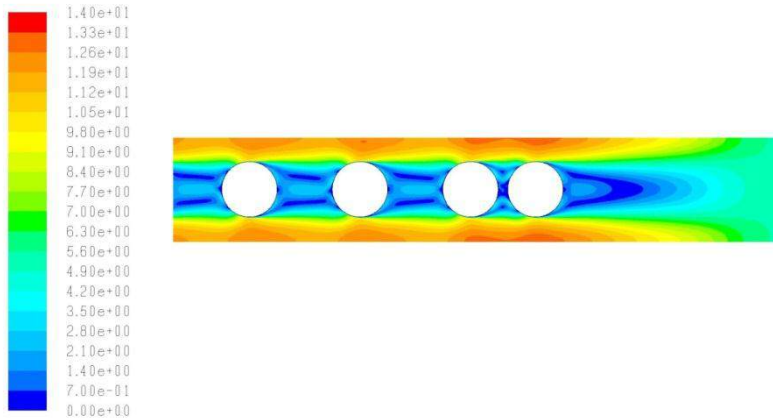
Gambar 4.54 Kontur Kecepatan Aliran pada Daerah $St/d = 2$ di *Secondary Superheater*



Gambar 4.55 Perbandingan Kontur Kecepatan Aliran pada Daerah *Transversal* antara *Secondary Superheater* dan *primary superheater*

Gambar 4.53 dan gambar 4.54 di atas menunjukkan pengaruh St/d terhadap perbedaan kontur kecepatan aliran. Aliran pada sisi *upperside* akan selalu sama dengan aliran pada *lowerside*. Pada gambar di atas, terlihat bahwa spektrum warna pada daerah transversal gambar 4.54 lebih berwarna merah dari pada gambar 4.53. Hal itu terjadi karena pengecilan penampang yang signifikan pada nilai St/d yang rendah. Akibatnya, kecepatan aliran fluida pada celah *tube* tersebut semakin tinggi. Pada St/d yang kecil, jarak antar *tube* ke arah *transversal* lebih kecil, sehingga *tube* semakin rapat. Dengan adanya kerapatan ini, terjadi efek *nozzle* bila aliran melewati daerah *transversal* ini. Aliran semakin dipercepat akibat adanya penyempitan penampang di daerah ini. Semakin kecil nilai Sl/d , maka penampang akan semakin kecil, sehingga aliran akan semakin dipercepat. Berdasarkan pada kontur kecepatan tersebut, telah terjadi peningkatan kecepatan rata-rata sebesar 12,8 % dari kondisi St/d 7,55 menjadi St/d 2.

Pada *tube secondary superheater*, terdapat dua buah nilai Sl/d yang berbeda. Nilai Sl/d pada *tube* kolom pertama sampai kesebelas adalah 1,88 dan nilai Sl/d pada *tube* kolom kesebelas sampai keduabelas adalah 1,17. Karena kedua daerah ini memiliki nilai St/d yang sama, pengaruh dari Sl/d dapat ditunjukkan. Untuk menampilkan pengaruh Sl/d , dibutuhkan data berupa kontur aliran pada kedua daerah ini.

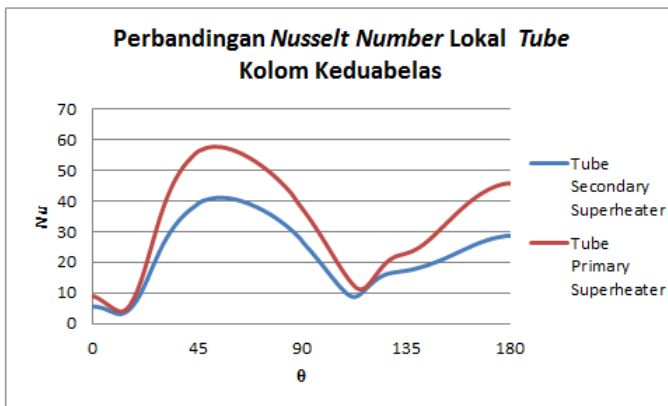


Gambar 4.56 Perbandingan Kontur Kecepatan Aliran $Sl/d = 1,88$ dengan $Sl/d = 1,17$ pada *Secondary Superheater*

Gambar 4.56 di atas menunjukkan pengaruh nilai Sl/d terhadap perbedaan kontur kecepatan aliran fluida. Pengaruh yang sangat terlihat jelas adalah terjadinya *vortex* dengan spektrum warna yang berbeda pada daerah *longitudinal*. *Vortex* yang dihasilkan pada Sl/d 1,88 lebih panjang daripada $Sl/d = 1,17$. Selain itu, spektrum warna pada *vortex* yang dihasilkan juga menunjukkan warna yang berbeda. Spektrum warna pada *vortex* dengan Sl/d 1,88 memiliki warna yang lebih terang daripada Sl/d 1,17. Susunan *tube* dengan nilai Sl/d yang rendah membuat aliran seakan-akan hanya melewati satu buah *tube* karena kerapatan antar *tube* yang tinggi. Sehingga, daerah *wake* diantara kedua *tube* memiliki kecepatan yang sangat rendah. Sedangkan susunan *tube* dengan nilai Sl/d yang tinggi membuat daerah *wake* diantara kedua *tube* memiliki kecepatan yang lebih tinggi daripada Sl/d yang rendah karena aliran pada sisi *upperside* dan *downside* seakan-akan masih memiliki waktu untuk menambah momentum kecepatannya agar menjadi normal kembali.

4.4.2 Analisa Pengaruh St/d dan Sl/d terhadap terhadap Perpindahan Panas

Pada pembahasan tentang pengaruh St/d dan Sl/d terhadap kecepatan aliran di atas, terdapat perbedaan kontur kecepatan yang berbeda-beda. Hal ini akan mempengaruhi kualitas perpindahan panasnya karena perpindahan panas secara konveksi ini sangat dipengaruhi oleh kontur kecepatan aliran fluidanya. Kecepatan aliran fluida yang tinggi akan membuat nilai *Reynolds Number* menjadi tinggi juga. Sehingga kualitas perpindahan panas yang diwakili oleh nilai *Nusselt Number* akan semakin tinggi juga. Sebaliknya, kecepatan aliran fluida yang rendah akan membuat nilai *Reynolds Number* menjadi rendah juga. Sehingga kualitas perpindahan panasnya akan semakin kecil. Kualitas perpindahan panas juga akan ditampilkan melalui pembahasan berikut ini.



Gambar 4.57 Perbandingan *Nusselt Number* Lokal Tube Kolom Keduabelas pada *Primary* dan *Secondary Superheater*

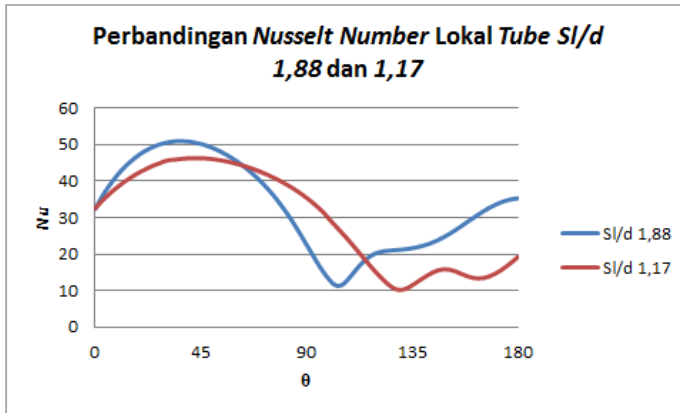
Gambar 4.57 di atas menunjukkan adanya perbedaan distribusi *Nusselt Number* pada tiap St/d yang berbeda. *Tube* kolom keduabelas dari *primary superheater* memiliki St/d sebesar 7,55 dan *tube* kolom keduabelas dari *secondary superheater* memiliki St/d sebesar 2. Grafik di atas menunjukkan *trend* yang hampir sama namun memiliki nilai yang berbeda-beda. Pada

daerah *wake*, tepatnya pada sudut 0° sampai sekitar 30° , kedua grafik terlihat berimpit. Pengaruh nilai St/d mulai terjadi pada sudut sekitar 35° . Pada titik tersebut, kedua grafik telah berpisah dan mulai menyatu kembali pada titik *separasi* di sekitar 120° . Sepanjang sudut 35° sampai 120° , terlihat bahwa *Nusselt Number* pada tube keduabelas *primary superheater* memiliki nilai yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena temperatur *fluegass* yang menyentuh permukaan *tube* tersebut masih tinggi. Sehingga perpindahan panas yang terjadi masih sangat tinggi. Sedangkan pada tube keduabelas *secondary superheater*, nilai temperatur *fluegass* yang mengalir rendah, sehingga perpindahan panas yang dihasilkan kecil.

Tabel 4.5 Perhitungan nilai $C1$ pada St/d 7,55 dan St/d 2

	Nu	ρ (kg/m ³)	v (m/s)	d (m)	μ (Ns/m ²)	Re	m	Pr	T (K)	$C1$
St/d 7,55	33,73	0,3482	5,34	0,054	4,05e-05	2482,32	0,9811	0,722	942,6	0,011
St/d 2	25,09	0,3482	6,13	0,054	3,88e-05	2971,86	0,6253	0,717	863,1	0,120

Tabel di atas menunjukkan tentang perhitungan nilai $C1$ pada St/d 7,55 dan St/d 2 *primary* dan *secondary superheater*. Untuk membandingkan kualitas perpindahan panas diantara keduanya, maka perlu ditampilkan nilai $C1$ seperti pada tabel di atas karena kondisi kecepatan dan temperatur *inlet* yang berbeda diantara keduanya. Pada *tube St/d 7,55 primary*, nilai $C1$ lebih kecil daripada *tube St/d 2 secondary*. Hal ini menandakan bahwa kualitas perpindahan panas pada *tube St/d 2 secondary* lebih baik. Hal ini terjadi karena pada St/d yang lebih kecil, aliran akan semakin dipercepat pada celah *tube*, sehingga keacakan dari fluida dalam menumbuk permukaan *tube* akan semakin *intens*.



Gambar 4.58 Perbandingan *Nusselt Number* Lokal Tube *Sl/d* 1,88 dan *Sl/d* 1,17

Gambar 4.58 di atas menunjukkan perbedaan distribusi *Nusselt Number* lokal yang berbeda untuk setiap *Sl/d*. Grafik *Sl/d* 1,88 tersebut diambil dari *tube* kolom kesepuluh dari *secondary superheater* dan grafik *Sl/d* 1,17 diambil dari *tube* kolom kesebelas dari *secondary superheater*. *Trend* pada grafik tersebut hampir sama, namun memiliki nilai yang berbeda-beda. Di posisi sudut 0° , *Nusselt Number* yang dihasilkan tidak bernilai maksimal karena posisi *tube* kedua grafik tersebut tidak berada di depan, sehingga posisi sudut 0° telah berada di daerah *wake*. Kemudian, nilai *Nusselt Number* meningkat sampai pada sudut sekitar 40° dan berangsur-angsur turun sampai ke titik separasi. Grafik *Sl/d* 1,88 memiliki nilai puncak *Nusselt Number* yang lebih besar karena posisi *tube* tersebut lebih ke depan. Posisi *tube* yang lebih kedepan membuat *tube* dialiri oleh *flue gas* dengan suhu yang lebih besar, sehingga proses perpindahan panas yang terjadi juga lebih besar. Namun, titik separasi dari kedua *tube* tersebut tidak berada pada sudut yang sama. Posisi sudut titik separasi *tube* *Sl/d* 1,88 lebih kecil daripada *tube* *Sl/d* 1,17. Hal ini terjadi karena pada *tube* dengan *Sl/d* yang kecil, aliran seakan-akan hanya melewati *single tube*. Olakan yang terjadi di sela-sela *tube* akan

cenderung memberikan tambahan momentum, sehingga aliran pada Sl/d yang kecil akan memiliki titik separasi yang lebih ke belakang daripada aliran pada Sl/d yang tinggi. Peningkatan nilai *Nusselt Number* yang terjadi pada kedua *tube* tersebut juga berbeda. Grafik dengan Sl/d 1,88 memiliki peningkatan yang lebih curam daripada grafik Sl/d 1,17. Pada daerah *wake* tersebut, panjang *vortex* yang terjadi pada Sl/d 1,88 lebih tinggi daripada Sl/d 1,17. *Vortex* yang lebih panjang ini akan membuat aliran yang berada pada daerah *wake* seakan-akan mendapatkan tambahan momentum dari aliran di sisi *upperside* dan *downside*. Sehingga pada daerah *wake* di sela-sela *tube* dengan Sl/d 1,88 akan memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada *wake* di sela-sela *tube* dengan Sl/d 1,17. Akibatnya, perpindahan panas yang terjadi pada *wake* Sl/d 1,88 lebih baik daripada Sl/d 1,17. Peningkatan nilai *Nusselt Number* rata-rata yang terjadi akibat perbedaan nilai Sl/d 1,88 dan 1,17 adalah 9,61 %.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pembahasan tentang hasil dari proses simulasi, didapatkan beberapa kesimpulan. Kesimpulan yang ada pada penelitian kali ini yaitu :

1. Jarak transisi antara *primary* dan *secondary superheater* memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap peningkatan kualitas perpindahan panas pada *secondary superheater* secara *overall*. Prosentase peningkatan kualitas perpindahan panas maksimal hanya sebesar 0,9 % pada jarak transisi sebesar 108 mm bila dibandingkan dengan nilai kondisi *existing*.
2. Aliran fluida akibat variasi jarak transisi antara *primary* dan *secondary superheater* hanya berpengaruh pada *tube* kolom pertama pada *secondary superheater* dengan peningkatan nilai kecepatan maksimal sebesar 2,0 % pada jarak transisi sebesar 108 mm bila dibandingkan dengan nilai kondisi *existing*.
3. Jarak transisi antara *primary* dan *secondary superheater* hanya berpengaruh pada *tube* kolom pertama pada *secondary superheater* dengan peningkatan nilai perpindahan panas maksimal sebesar 3,02 % pada jarak transisi sebesar 108 mm bila dibandingkan dengan nilai kondisi *existing*.
4. Nilai St/d berpengaruh terhadap kualitas perpindahan panas yang diwakilkan dengan konstanta $C1$. Nilai konstanta $C1$ untuk $St/d = 2$ lebih tinggi daripada $St/d = 7,55$. Sehingga, kualitas perpindahan panas pada $St/d = 2$ lebih tinggi daripada $St/d = 7,55$.
5. Nilai Sl/d berpengaruh terhadap kualitas perpindahan panas. Peningkatan nilai *Nusselt Number* rata-rata yang terjadi akibat perbedaan nilai Sl/d 1,88 dan Sl/d 1,17 adalah 9,61 % dengan nilai *Nusselt Number* rata-rata pada Sl/d 1,88 adalah

33,06 dan nilai *Nusselt Number* rata-rata pada *Sl/d 1,17* adalah 29,88.

5.2 Saran

Dalam melakukan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang digunakan untuk menyempurnakan hasil penelitian ini. Saran yang ada pada penelitian ini adalah :

1. Perlu didapatkan data temperatur dari *fluegass* sesaat sebelum mengenai *primary superheater* agar *input* yang dilakukan pada proses simulasi semakin mendekati kondisi sebenarnya.
2. Proses simulasi perlu dilakukan dengan metode 3D agar hasil penelitian semakin mendekati keadaan sebenarnya.
3. Berdasarkan pada kasus yang sama, menarik untuk dilakukan peneitian lebih lanjut dengan variasi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Incropera, Frank P., De Witt, David P. (2002). ***Fundamental of Heat and Mass Transfer***. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Moran, Michael J. dan Shapiro, H.N. 2006. ***Fundamentals of Engineering Thermodynamics*** (5th Edition). Inggris: John Wiley & Sons
- Fox, Robert W., Pritchard, P.J. dan McDonald, Alan T. 2010. ***Introduction to Fluid Mechanics*** (7th Edition). Asia: John Wiley & Sons.
- Nurul Komari dan Prabowo. 2014. **Studi Numerik Pengaruh Penambahan Rectangular Obstacle Terhadap Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas pada Staggered Tube Banks dengan $\ell/D = 0,2$** . Jurnal Teknik POMITS Volume 2(1), ISSN: 2337-3539
- Necati Mahir and Zekeriya Altaç. (2008). ***Numerical investigation of convective heat transfer in unsteady flow past two cylinders in tandem arrangements***. International Journal of Heat and Fluid Flow 29 (2008) 1309–1318.
- Dongkyun Lee, Joon Ahn, Seungwon Shin. (2013). ***Uneven longitudinal pitch effect on tube bank heat transfer in cross flow***. Applied Thermal Engineering 51 (2013) 937e947.

Halaman ini sengaja dikosongkan

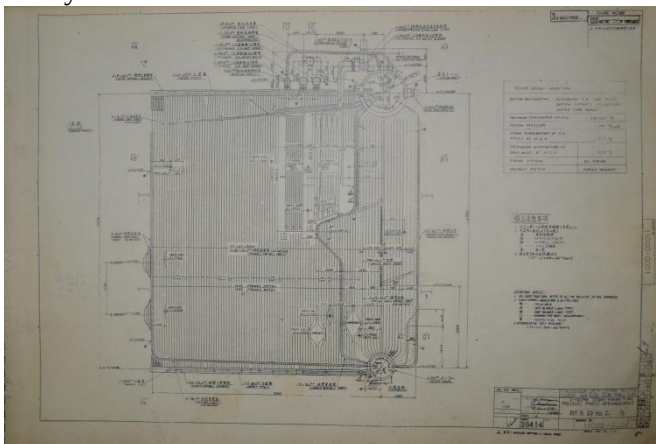
LAMPIRAN

1. Data Operasional PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya

Superheater						
Mass flow	m	kg/H	95,090	142,400	191,860	210,000
	m	kg/s	26.41	39.56	53.29	58.33
Pressure (superheater outlet)	P	kg/cm ² g	88.60	89.30	90.50	91.00
	P	bar	86.89	87.57	88.75	89.24
Temperature						
Drum outlet steam	T	K	575	577	579	580
1st Superheater outlet steam	T	K	654	645	639	636
Middle	T	K	615	611	609	608
2nd Superheater inlet steam	T	K	633	629	626	626
2nd Superheater outlet steam	T	K	786	786	786	786
Middle	T	K	710	708	706	706
Enthalpy						
Drum outlet steam	h	kJ/kg	2,758	2,762	2,769	2,772
1st Superheater outlet steam	h	kJ/kg	3,069	3,039	3,016	3,005
2nd Superheater inlet steam	h	kJ/kg	3,001	2,986	2,972	2,970
2nd Superheater outlet steam	h	kJ/kg	3,424	3,423	3,421	3,421
Specific Heat						
1st Superheater	CP	kJ/kg-K	3.73	3.86	3.97	4.02
	CP	J/kg-K	3,728	3,860	3,968	4,025
2nd Superheater	CP	kJ/kg-K	2.69	2.70	2.72	2.73
	CP	J/kg-K	2,688	2,703	2,722	2,726
Heat Absorption						
1st Superheater	Q	kJ/H	29,574,795	39,384,955	47,432,026	48,944,127
	Q	W	8,215,227	10,940,274	13,175,573	13,595,602
2nd Superheater	Q	kJ/H	40,143,566	62,219,927	86,257,877	94,612,123
	Q	W	11,151,000	17,283,327	23,960,541	26,281,166

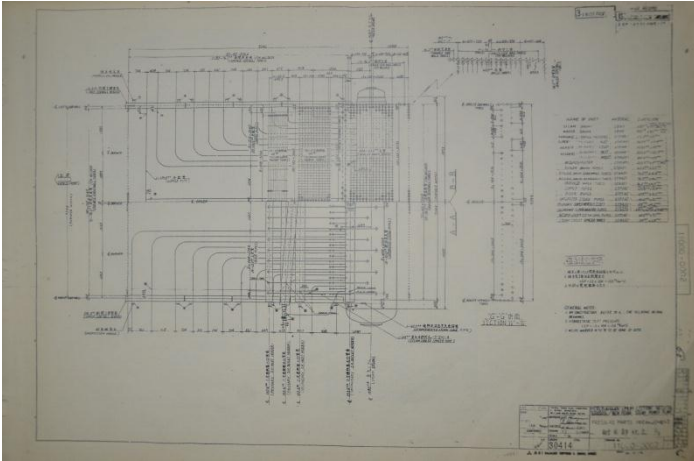
Gambar 1. Data Operasional *Superheater*

2. Data Dimensi *Boiler* PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya



Gambar 2. *Boiler* Tampak Samping

XXX



Gambar 3. *Boiler* Tampak Atas

BIODATA PENULIS



Agus Jonianto, lahir di kota Magetan pada tanggal 6 Juni 1992, merupakan anak kedua dari Bapak Sukarni dan Ibu Sukini. Penulis telah menempuh pendidikan di TK Tanada Sidoarjo, SD Putra Indonesia Surabaya, SMPN 35 Surabaya, dan SMAN 16 Surabaya. Setelah menyelesaikan pendidikan SMA pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan tingkat sarjana di Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan berhasil menyelesaikannya pada

tahun 2015.

Selama menempuh pendidikannya di kampus Teknik Mesin ITS, penulis juga aktif dalam mengikuti berbagai macam kegiatan dan organisasi. Di tahun kedua masa perkuliahan, penulis pernah menjadi finalis pada kompetisi rancang bangun pembangkit listrik dengan energi terbarukan yang diadakan oleh Badan Kerjasama Teknik Mesin (BKSTM) Indonesia. Di tahun ketiga masa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi pada bidang jurnalistik di klub pers DIMENSI. Di tahun keempat, penulis diberi amanah untuk mengikuti dua macam kegiatan dan organisasi sekaligus, yaitu sebagai Ketua Divisi Kewirausahaan di DIMENSI dan juga tergabung di ITS TEAM SAPUANGIN, tim pembuat mobil irit dan mobil balap. Selama bergabung di ITS TEAM SAPUANGIN, penulis telah banyak berkompetisi dan mendapatkan juara di tingkat nasional maupun internasional.

Penulis berharap dapat mengamalkan dan saling bertukar pikiran tentang ilmu pengetahuan yang telah didapatkan selama masa pendidikan.

Kontak Penulis : agusjonianto54@gmail.com