



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**STUDI NUMERIK PENGARUH JARAK TRANSISI 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, EXISTING, DAN 10D, ANTARA SECONDARY SUPERHEATER DAN BOILERBANK TUBE SERTA PENGARUH SUSUNAN TUBE ALIGNED DAN STAGGERED TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DAN PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI  
“Studi Kasus PLTU PT.INDONESIA POWER Perak, Surabaya”**

**KARISMA RIZAL  
NRP 2111 100 088**

**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 EFFECT OF TRANSITION  
DISTANCE 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, EXISTING, AND 10D,  
BETWEEN SECONDARY SUPERHEATER AND  
BOILERBANK TUBE AND EFFECT OF ALIGNED  
AND STAGGERED TUBES ARRANGEMENT FOR  
FLOW AND CONVECTION HEAT TRANSFER  
CHARACTERISTICS***

***“A case study for PLTU PT.INDONESIA POWER Perak,***

**KARISMA RIZAL**

**NRP 2111 100 088**

***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 2D,  
3D, 4D, 5D, 7D, EXISTING, DAN 10D, ANTARA  
SECONDARY SUPERHEATER DAN BOILERBANK  
TUBE SERTA PENGARUH SUSUNAN TUBE ALIGNED  
DAN STAGGERED TERHADAP KARAKTERISTIK  
ALIRAN DAN PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI  
TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Konversi Energi  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**KARISMA RIZAL**  
**NRP. 2111 100 088**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :**

1. Prof.Dr.Eng.Ir. Prabowo, M.Eng ..... (Pembimbing)  
(NIP. 196505051990031005)
2. Dr. Ir. Budi Utomo K.W., ME ..... (Penguji I)  
(NIP. 195312191981031001)
3. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc ..... (Penguji II)  
(NIP. 196604021989031002)
4. Giri Nugroho, ST., M.Sc ..... (Penguji III)  
(NIP. 197910292012121002)

**SURABAYA**  
**Juli, 2015**

**STUDI NUMERIK PENGARUH JARAK TRANSISI 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, EXISTING, DAN 10D, ANTARA SECONDARY SUPERHEATER DAN BOILERBANK TUBE SERTA PENGARUH SUSUNAN TUBE ALIGNED DAN STAGGERED TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DAN PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI**  
**“Studi Kasus PLTU PT.INDONESIA POWER Perak, Surabaya”**

**Nama Mahasiswa : Karisma Rizal**  
**NRP : 2111 100 088**  
**Jurusan : Teknik Mesin FTI - ITS**  
**Dosen Pembimbing : Prof.Dr.Eng.Ir.Prabowo, M.Eng.**

**ABSTRAK**

*Rendahnya efisiensi pembangkit pada unit 1 dan 2 PLTU PT.Indonesia Power Perak menyebabkan 2 unit tersebut dimatikan secara permanen sejak 1995. Pada 2012 unit 3 dan 4 dimatikan sementara hingga efisiensi pembangkit ini dapat ditingkatkan. Penggantian bahan bakar dari MFO menjadi gas menjadi salah satu solusi yang diberikan. Solusi lain yang ditawarkan adalah dengan meningkatkan perpindahan panas tube-tube boiler khususnya pada secondary superheater dan boilerbank tube.*

*Penelitian dilakukan dengan memvariasikan jarak transisi antara secondary superheater dan boilerbank tube sebesar 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, existing, dan 10D. Fluida kerja berupa gas sisa hasil pembakaran yang diasumsikan sebagai gas ideal dengan kecepatan sebesar 5.46 m/s pada pembebanan 100% yang mengalir pada sisi eksternal tube dengan temperatur 1000 K. Boundary condition yang diambil adalah 3 baris tube pada secondary superheater, 2 baris tube pada boilerbank tube staggered, dan 2 baris tube pada aligned boilerbank tube. Studi numerik dilakukan secara 2 dimensi dengan aliran steady dengan prinsip Computational Fluid Dynamic (CFD) dengan*

*menggunakan software GAMBIT 2.4.6 untuk membuat geometri dari domain dan software FLUENT 6.3.26 untuk mensimulasikan.*

*Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan grafik Nusselt lokal pada susunan tube aligned dan susunan tube staggered, grafik Nusselt rata-rata secondary superheater dan boilerbank tube pada seluruh variasi, serta grafik perbandingan Nusselt lokal pada seluruh variasi. Susunan tube bank Staggered memiliki nilai Nusselt Number lokal dan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan susunan tube bank Aligned. Serta didapatkan kesimpulan bahwa variasi jarak transisi tidak memiliki efek yang signifikan terhadap perpindahan panas pada secondary superheater dan boilerbank tube tipe aligned, namun memiliki pengaruh yang signifikan terhadap boilerbank tube tipe staggered. Kecepatan inlet boilerbank tube tipe staggered berturut-turut pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D adalah 8.94 m/s, 7.31 m/s, 6.3 m/s, 5.64 m/s, 4.72 m/s, dan jarak transisi existing dan 10D dengan kecepatan sama sebesar 4.5 m/s. Peningkatan Nusselt Number tertinggi terjadi pada variasi jarak transisi 2D dengan peningkatan Nusselt pada tube pertama sebesar 18.98% dan pada tube kedua sebesar 6.97% dibandingkan dengan kondisi existing. Pressure Drop yang terjadi pada seluruh variasi menunjukkan nilai yang relatif sama.*

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

**NUMERICAL STUDY EFFECT OF TRANSITION  
DISTANCE 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, EXISTING, AND 10D,  
BETWEEN SECONDARY SUPERHEATER AND  
BOILERBANK TUBE AND EFFECT OF ALIGNED AND  
STAGGERED TUBES ARRANGEMENT FOR FLOW AND  
CONVECTION HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS  
“A case study for PLTU PT.INDONESIA POWER Perak,  
Surabaya”**

**Name of Student** : Karisma Rizal  
**NRP** : 2111 100 088  
**Department** : Teknik Mesin FTI - ITS  
**Advisor Lecturer** : Prof.Dr.Eng.Ir.Prabowo, M. Eng.

**ABSTRACT**

*Because of The low efficiency of the power plant units 1 and 2 PT.Indonesia Power Perak Surabaya is permanently disabled since 1995. In 2012, units 3 and 4 is temporary disabled until this power plant efficiency can be improved. Replacement of MFO fuel into gas fuel is one of the solutions provided. Another solution offered is to increase the heat transfer in boiler tubes especially at the secondary boiler superheater and boilerbank tube.*

*The study is concerning of varying the transition distance between the secondary superheater and boilerbank tube for 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, existing, and 10D. The working fluid is fluel gas that assumed as an ideal gas at a rate of 5,46 m/s flowing on the external side of the tube with a temperature of 1000 K. The boundary condition is 3 rows of tubes in the secondary superheater , 2 rows of tubes in boilerbank staggered, and 2 rows of tube in tube boilerbank aligned. Numerical study conducted two-dimensional steady flow with the principle of Computational Fluid Dynamic (CFD) using GAMBIT 2.4.6 software to create the geometry of the domain and FLUENT 6.3.26 software to simulate.*

*The results of this study showed local Nusselt chart of aligned tube arrangement and staggered tube arrangement, average Nusselt charts of secondary superheater and boilerbank tubes in all variations, and local Nusselt charts compared on all variations. Staggered arrangement tube bank has the higher local and average value of Nusselt Number than Aligned arrangement tube bank. the result showed that the variations within the transition distance does not have a significant effect on heat transfer at the secondary superheater and aligned boilerbank tube, but has a significant effects on heat transfer at staggered boilerbank tube. the inlet velocity at staggered boilerbank tube on the transition distance variation 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, existing, and 10D is 8.94 m/s, 7.31 m/s, 6.3 m/s, 5.64 m/s, 4.72 m/s, existing and 10D has the same speed 4.5 m/s. the highest increased of nusselt number at 2D transition distance, the nusselt number of first tube increased by 18,8% and the second tube increased by 6,6% compared to the existing conditions. Pressure Drop which occurs in all variations showed the same relative value.*

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

## KATA PENGANTAR

### **Assalamualaikum Wr.Wb.**

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, Tuhan Maha Pengasih Maha Penyayang, karena atas segala nikmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat dan salam penulis ucapkan kepada Nabi Muhammad SAW yang membawa cahaya keimanan dan agama Islam sebagai pedoman kehidupan untuk selalu bertaqwa dan beriman kepada Allah SWT.

Dalam 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. Ibu tercinta, Siti Indiah yang selalu mendukung, memberikan kasih sayang, dan tak henti-hentinya mendoakan penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini. Terima kasih ibunda atas segalanya
2. Ayah tercinta, Ridwan yang selalu mendukung, menasehati, mengarahkan, dan mendoakan penulis. Terima kasih ayah untuk semuanya
3. Nenek dan Kakek tercinta yang selalu mendukung dan menyayangi penulis selama ini
4. Prof.Dr.Eng.Ir.Prabowo,M.Eng, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan ide, pembelajaran dan pengetahuan yang tidak ternilai harganya bagi penulis untuk memberikan hasil yang bermanfaat
5. Dr. Ir. Budi Utomo K.W., ME, Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc, dan Giri Nugroho, ST., M.Sc, sebagai dosen penguji tugas akhir sekaligus reviewer pomits yang telah memberikan kritik dan saran terhadap penulis dan memberikan pembelajaran kepada penulis
6. Dr. Eng. Sutikno, ST, MT, sebagai dosen wali penulis, terima kasih untuk saran-saran serta bimbingannya dalam merencanakan perkuliahan penulis selama 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. Seluruh keluarga besar penulis yang tak hneti mendukung, menyemangati, dan mendoakan penulis selama perkuliahan
9. Seluruh keluarga M54 yang telah menemani penulis dari POROS hingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan. Untukmu angkatanku sehabat sejatiku
10. Agus Jonianto dan Faizal Hafiz Taqriri partner tugas akhir yang telah berjuang bersama-sama dibawah bimbingan Bp.Prabowo. terima kasih untuk perjuangan bersama penulis dan dapat lulus bersama semester ini. Selamat!
11. Keluarga Lab.Perpindahan Panas Agus, Sinkron, mbeng, ary, azwar, bobby, colbut, danan, botol, cak hud, eka, fitrie, fuad, tomi, ilham, iqbal, khisni, kukuh, atus, mbak nisa, ridho, mas maho, ucap, rony, fadhil, rofia, supri, rury, warida, yulia, putri reymond, bintang, mas gentong, khafid, nazilah, ricky, sekar, step, wildan, sholeh, richi, dan lainnya yang tidak dapat penulis sebut satu persatu yang selalu membantu dan menghibur penulis selama mengerjakan tugas akhir di lab. Semoga kesuksesan selalu menyertai kita
12. Teman-teman LBMM tercinta yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah bnyak memberikan ilmu dan pengalaman yang bermanfaat kepada penulis. Terima kasih untuk semua yang telah diberikan kepada penulis selama ini
13. Teman-teman Ash-Shaff yang telah berjuang bersama-sama selama ini, terima kasih untuk selalu mengingatkan penulis ketika berbuat kesalahan dan selalu membantu penulis dalam mengemban amanah yang pernah diberikan
14. Teman-teman kosan mas eko, mas ibnu, mas pandu, mas awang, mas zaki, wasis, miftah, fandi, zaki, dan Si Mbah kosan Gang Makam 10A yang telah menemani penulis dari

pertama masuk kuliah hingga penulis lulus. Banyak cerita, banyak canda tawa, dan banyak masalah yang dihadapi. Terima kasih untuk dukungan, bantuan, dan doa kepada penulis selama ini

15. Seluruh pihak civitas akademika Teknik Mesin FTI ITS dan Sarekat Merah Rakyat Mesin

Pada akhirnya penulis berharap agar tugas akhir ini bermanfaat untuk pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan ke depannya.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Surabaya, 29 Juli 2015

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
<i>TITLE PAGE</i>	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	
<i>ABSTRACT</i>	
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB 1 : PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB 2 : TINJAUAN PUSATAKA .....	7
2.1 Boiler .....	7
2.2 Penelitian Terdahulu .....	9
2.2.1 Necati Mahir, Zekeriya Altaç (2008) .....	9
2.2.2 Dongkyun Lee, Joon Ahn , Seungwon Shin (2013)	
.....	10
2.3 Konsep Aliran dan perpindahan Panas Pada Tube Banks	
.....	13
2.3.1 Aliran Fluida Melintasi Tube Banks .....	13
2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi Pada Tube Banks	
.....	14
2.4 Penurunan Tekanan Pada Tube Banks .....	18
2.5 Pemodelan Pada FLUENT .....	20
BAB 3 : METODE PENELITIAN .....	25
3.1 Tahapan Penelitian .....	25
3.2 Tahapan Pemodelan dan Simulasi .....	26
3.2.1 Pre-Processing .....	26
3.2.2 Processing .....	31

3.2.3 Post-Processing .....	33
3.2.4 Pengolahan Data .....	34
BAB 4 : ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	39
4.1 Analisa Visualisasi Aliran dan perpindahan Panas Pada Domain Secara Overall dalam Numerik .....	39
4.1.1 Visualisasi Kecepatan Aliran pada Domain Secara Overall .....	40
4.1.2 Visualisasi Perpindahan Panas Pada Domain Secara Overall .....	41
4.1.3 Analisa Distribusi Nusselt Pada Domain Secara Overall .....	45
4.2 Analisa Visualisasi Aliran dan perpindahan Panas Pada Susunan <i>Tube Bank</i> tipe <i>Aligned</i> dan <i>Staggered</i> .....	49
4.2.1 Visualisasi Aliran dan Perpindahan Panas Pada Susunan <i>Tube Aligned</i> .....	50
4.2.2 Visualisasi Aliran dan Perpindahan Panas Pada Susunan <i>Tube Staggered</i> .....	53
4.3 Analisa Visualisasi Aliran dan perpindahan Panas Pada Daerah Transisi dalam Numerik .....	55
4.3.1 Visualisasi Aliran dan Perpindahan Panas Pada Daerah Transisi Kondisi <i>existing</i> .....	56
4.3.2 Analisa Visualisasi Aliran dan Perpindahan Panas Pada Daerah Transisi model variasi .....	61
4.3.2.1 Analisa Visualisasi Aliran Pada Daerah Transisi model variasi .....	61
4.3.2.2 Analisa Perpindahan Panas Pada Daerah Transisi model variasi .....	64
4.4 Penurunan Tekanan (Pressure Drop) pada Tube Banks Model Existing dan Model Variasi .....	68
BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN .....	71
5.1 Kesimpulan .....	71
5.2 Saran .....	71
DAFTAR PUSTAKA .....	xiii
LAMPIRAN .....	xv

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai <i>Nusselt</i> rata-rata pada <i>upstream</i> dan <i>downstream</i> silinder berdasarkan nilai <i>Reynolds</i> dan rasio L/D .....	10
Tabel 2.2 Konfigurasi Susunan <i>Tube</i> secara <i>staggered</i> untuk Aliran yang Melintasi <i>Tube Banks</i> yang terdiri dari 10 baris atau lebih .....	15
Tabel 2.3 Faktor Koreksi C 2 perumusan 2.4 untuk $NL < 10$ .....	16
Tabel 2.4 Konstanta untuk Persamaan 2.9 untuk <i>tube Banks</i> pada cross flow .....	17
Tabel 2.5 Faktor Koreksi C2 perumusan 2. 6 untuk $NL < 20$ .....	18
Tabel 3.1 Geometri Secondary Superheater dan Boilerbank Tubes existing .....	28
Tabel 3.2 variasi jarak transisi antara Secondary Superheater dan Boilerbank Tube .....	29
Tabel 3.3 Boundary Condition Secondary Superheater dan Boilerbank Tubes .....	30
Tabel 3.4 Properties Fluida ( Udara yang dimodelkan sebagai gas ideal) .....	32
Tabel 3.5 Properties Stainless Steel .....	32

Tabel 3.6 Grid Independency Validation untuk 3 Jenis meshing model existing .....	35
Tabel 3.7 4 Jenis meshing yang digunakan pada proses Grid Independency Validation .....	36

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Boiler PT. Indonesia Power UBP Perak .....	1
Gambar 2.1 Desain <i>Boiler</i> pada PLTU PT. Indonesia Power UP Perak .....	8
Gambar 2.2 Domain untuk dua silinder tandem .....	9
Gambar 2.3 Domain dan <i>Boundary Condition</i> .....	11
Gambar 2.4 efek rasio jarak longitudinal terhadap nilai <i>Nusselt</i> total .....	11
Gambar 2.5 efek rasio transisi dan jarak longitudinal terhadap nilai <i>Nusselt</i> total .....	12
Gambar 2.6 Konfigurasi susunan <i>tube Banks</i> , (a) <i>Aligned</i> , (b) <i>Staggered</i> ( Incropera, 2002) .....	13
Gambar 2.7 <i>Friction factor</i> ( $f$ ) dan <i>correction factor</i> ( $\chi$ ) untuk susunan <i>tube In-Line</i> .....	19
Gambar 2.8 <i>Friction factor</i> ( $f$ ) dan <i>correction factor</i> ( $\chi$ ) untuk susunan <i>tube Staggered</i> .....	19
Gambar 2.9 Tahapan dalam Menggunakan Metode CFD ....	21
Gambar 3.1 Geometri <i>Secenary Superheater</i> dan <i>Boilerbank Tubes existing</i> .....	28
Gambar 3.2 Meshing untuk <i>Secondary Superheater</i> dan <i>Boilerbank Tube</i> untuk aliran 2D dengan bentuk <i>Quadrilateralmap</i> .....	30

- Gambar 4.1 Visualisasi Kontur kecepatan *Tube Banks* untuk kecepatan *inlet* 5.64 m/s pada variasi jarak transisi, (A) 2D, (B) 3D, (C) 4D, (D) 5D, (E) 7D, (F) model *existing*, dan (G) 10D ..... 40
- Gambar 4.2 Visualisasi Kontur Temperatur *Tube Banks* untuk kecepatan *inlet* 5.64 m/s pada variasi jarak transisi, (A) 2D, (B) 3D, (C) 4D, (D) 5D, (E) 7D, (F) model *existing*, dan (G) 10D ..... 42
- Gambar 4.3 Visualisasi kontur temperatur pada *Secondary Superheater* model *existing* ..... 42
- Gambar 4.4 Visualisasi kontur temperatur pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* model *existing* ..... 43
- Gambar 4.5 Visualisasi kontur temperatur pada *Boilerbank Tube* tipe *Aligned* model *existing* ..... 44
- Gambar 4.6 Grafik Temperatur *outlet* pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing*, dan 10D ..... 45
- Gambar 4.7 Nusselt *Number* rata-rata *Secondary Superheater* pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing*, dan 10D. .... 46
- Gambar 4.8 Nusselt *Number* rata-rata *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing*, dan 10D. .... 47
- Gambar 4.9 Nusselt *Number* rata-rata *Boilerbank Tube* tipe *Aligned* pada variasi jarak transisi 2, 3, 4, 5, 7, *existing*, dan 10. .... 49

- Gambar 4.10 Visualisasi Kontur kecepatan susunan *Tube Banks Aligned* pada *Secondary Superheater*. ..... 50
- Gambar 4.11 Visualisasi Kontur temperatur susunan *Tube Banks Aligned* pada *Secondary Superheater*. ..... 51
- Gambar 4.12 Distribusi bilangan Nusselt lokal susunan *Tube Banks Aligned* pada *Secondary Superheater*. (1) *Tube* pertama (2) *Tube* kedua ..... 52
- Gambar 4.13 Visualisasi Kontur kecepatan susunan *Tube Banks Staggered* pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* ..... 53
- Gambar 4.14 Visualisasi Kontur temperatur susunan *Tube Banks Staggered* pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* ..... 54
- Gambar 4.15 Distribusi bilangan Nusselt lokal susunan *Tube Banks Staggered* pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered*. (1) *Tube* pertama (2) *Tube* kedua ..... 55
- Gambar 4.16 Visualisasi kontur aliran pada area transisi kondisi *existing* ..... 56
- Gambar 4.17 Visualisasi kontur aliran pada area transisi kondisi *existing* ..... 57
- Gambar 4.18 Visualisasi vektor kecepatan (A) *Tube* 1 dan (B) *Tube* 2 *Boilerbank Tube* pada kondisi *existing* ..... 59
- Gambar 4.19 Distribusi bilangan Nusselt lokal pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* (1) *Tube* pertama (2) *Tube* kedua ..... 60
- Gambar 4.20 Kontur kecepatan daerah transisi pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing* dan 10D ..... 62

- Gambar 4.21 Grafik kecepatan Daerah transisi pada Garis 1 dan 2 Sepanjang sumbu Y pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing* dan 10D ..... 63
- Gambar 4.22 Grafik Nusselt *Number* lokal *Tube 1 Boilerbank Tube* tipe *Staggered* pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing*, dan 10D. .... 65
- Gambar 4.23 Grafik Nusselt *Number* lokal *Tube 2 Boilerbank Tube* tipe *Staggered* pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing*, dan 10D. .... 66
- Gambar 4.24 Grafik Nusselt rata-rata *Tube 1 dan 2* pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing*, dan 10D .. 67
- Gambar 4.25 Grafik penurunan tekan pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing* , dan 10D ..... 69
- Gambar 4.26 Kontur tekanan daerah transisi pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing* dan 10D ..... 70

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Tanjung Perak merupakan salah satu unit pembangkit dari PT. Indonesia Power. Unit pembangkit perak ini terletak di dekat Pelabuhan Tanjung Perak, pantai utara Surabaya, Jawa Timur. Terdapat empat unit pembangkit tenaga uap yaitu unit 1 dan 2 dengan kapasitas 2 x 25 MW dan unit 3 dan 4 dengan kapasitas 2 x 50 MW. Seluruh unit pembangkit pada PLTU Perak menggunakan bahan bakar minyak berupa *Marine Fuel Oil* (MFO). Konsumsi bahan bakar perhari dari keempat unit pembangkit tersebut dinilai sangat boros, yaitu mencapai 550 Kl per hari. Untuk unit pembangkit 1 dan 2 saja dengan kapasitas hanya 2 x 25 MW menghabiskan konsumsi bahan bakar hingga 200 Kl perharinya. Hal tersebut disebabkan oleh efisiensi dari unit pembangkit yang rendah. Karena konsumsi bahan bakar yang boros ini operasional dari unit pembangkit 1 dan 2 dihentikan permanen sejak 1995, dan unit pembangkit 3 dan 4 berhenti pada 2012. Salah satu alasan mengapa unit 3 dan 4 tidak dihentikan bersamaan dengan unit 1 dan 2 adalah karena adanya rencana dari PT. Indonesia Power untuk mengganti bahan bakar dari *Marine Fuel Oil* (MFO) menjadi bahan bakar gas. Salah satu alasan penggantian dari MFO menjadi bahan bakar gas adalah untuk meningkatkan efisiensi pembangkit terutama pada boiler. Dapat dilihat dari Gambar 1.1 bentuk boiler dari unit pembangkit 3 dan 4 PLTU Perak.

Proses pada boiler dimulai dari udara masuk melewati *air preheater*, udara dipanaskan dalam pre-heater menggunakan panas dari gas buang sebelum keluar melalui stack. Setelah melewati *air preheater* udara masuk ke dalam ruang pembakaran yang selanjutnya dicampur dengan bahan bakar sehingga terjadi pembakaran. Pembakaran terjadi didalam boiler secara kontinu untuk memanasi air yang melewati *tube-tube* baik secara konveksi maupun radiasi. Gas sisa hasil pembakaran mengalir dalam boiler

melewati *Primary Superheater*, *Secondary Superheater*, dan *Boilerbank Tube* hingga air didalam *tube-tube* menjadi uap kering yang selanjutnya digunakan untuk memutar turbin.



**Gambar 1.1** Boiler PT. Indonesia Power UBP Perak

Pembebanan pada boiler berubah-ubah sesuai pembebanan pada pembangkit berdasarkan beban listrik yang diperlukan oleh PLN selaku konsumen tetap dari PT. Indonesia Power. Pembebanan yang diberikan adalah 50%, 75%, dan 100% dimana beban diatur dengan aliran massa bahan bakar yang masuk kedalam pembakaran. Guna meningkatkan efisiensi dari boiler tidak hanya dapat dilakukan dengan mengganti bahan bakar minyak menjadi bahan bakar gas. Cara lain yang dapat meningkatkan efisiensi boiler adalah dengan meningkatkan perpindahan panas pada bagian-bagian utama boiler yang memiliki fungsi vital, seperti *Primary Superheater*, *Secondary Superheater*, dan *Boilerbank Tube*. Pada *Primary* dan *Secondary Superheater* terjadi proses dari uap jenuh menjadi uap kering, pada *Boilerbank Tube* terjadi proses perubahan *fase* dari cair menjadi uap sehingga dibutuhkan penyerapan panas yang baik pada ketiga bagian tersebut.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perpindahan panas pada *superheater* dipengaruhi salah satunya oleh pembebanan pada pembangkit. Pembebanan pada pembangkit berkaitan erat dengan jumlah massa bahan bakar yang dibakar dalam boiler, dimana semakin besar masaa yang masuk maka semakin bsar pula kecepatan flue gas pada boiler. Tentu saja hal tersebut mempengaruhi perpindahan panas pada *tube-tube superheater* karena perpindahan panas dipengaruhi oleh turbulensi aliran dan kecepatan aliran. Selain itu, perpindahan panas pada *tube-tube superheater* juga dipengaruhi oleh beberapa hal seperti jarak antar *tube* yaitu jarak longitudinal *tube*, jarak transversal *tube*, dan jarak diagonal *tube*.

Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa semakin jauh jarak antar *tube* maka perpindahan panas pada *tube* bundle akan semakin baik pula. Namun disisi lain pressure drop juga akan meningkat seiring dengan bertambahnya jarak antar *tube* tersebut. Maka dari itu untuk mengetahui perpindahan panas yang baik pada *Secondary Superheater* dan *Boilerbank Tube* perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang pengaruh pembebanan dan jarak transisi antara *Secondary Superheater* dan *Boilerbank Tube* terhadap karakteristik aliran, kontur kecepatan, penurunan tekanan, karakteristik perpindahan panas, kontur perpindahan panas, serta distribusi *Nusselt Number*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah untuk Mengetahui pengaruh jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, existing, 10D, antara *Secondary Superheater* dan *Boilerbank Tube* serta pengaruh susunan *tube aligned* dan *staggered* terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas. Hasil simulasi akan ditinjau berdasarkan analisa distribusi *Nusselt Number* lokal & rata-rata, distribusi kontur, dan penurunan tekanan.

#### 1.4 Batasan Masalah

Pada Penelitian ini digunakan beberapa batasan sehingga pembahasan yang dilakukan tidak menyimpang dari tujuan yang diinginkan. Adapun batasan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Pemodelan *Secondary Superheater* dan Boiler Bank *Tube* dibuat dengan menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6 dan disimulasikan dengan perangkat lunak FLUENT 6.3.26 dengan domain aliran dua dimensi
2. Fluida kerja yang mengalir pada celah antar fin berupa fluida panas (udara yang dimodelkan sebagai gas ideal), propertinya konstan dan yang mengalir pada *tube* berupa fluida *steam*.
3. Kondisi operasi diasumsikan *steady flow* dan *uniform* pada sisi *inlet*.
4. Perpindahan panas terjadi secara konveksi dan konduksi dengan mengabaikan perpindahan panas secara radiasi
5. Pada sisi *inlet* dikondisikan berupa *velocity inlet* dan *outflow* pada sisi *outlet*.
6. Perancangan tidak mengikut sertakan analisa ekonomi, metalurgi, dan manufaktur.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap semua pihak. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan pengetahuan Fenomena aliran, karakteristik aliran, dan perpindahan panas secara analisa 2D pada *Secondary Superheater* dan Boiler Bank *Tube* melalui visualisasi aliran dengan bantuan perangkat lunak.
2. Meningkatkan pengetahuan tentang perpindahan panas dan fenomena aliran khususnya pada *Secondary Superheater* dan Boiler Bank *Tube*. sebagai referensi dalam upaya mengoptimalkan kerja pada *clinker cooler*.

3. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi industri khususnya dibidang konversi energi, pembangkit, boiler, dan *Superheater*.
4. Sebagai referensi untuk perancangan boiler pada dunia Industri dan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

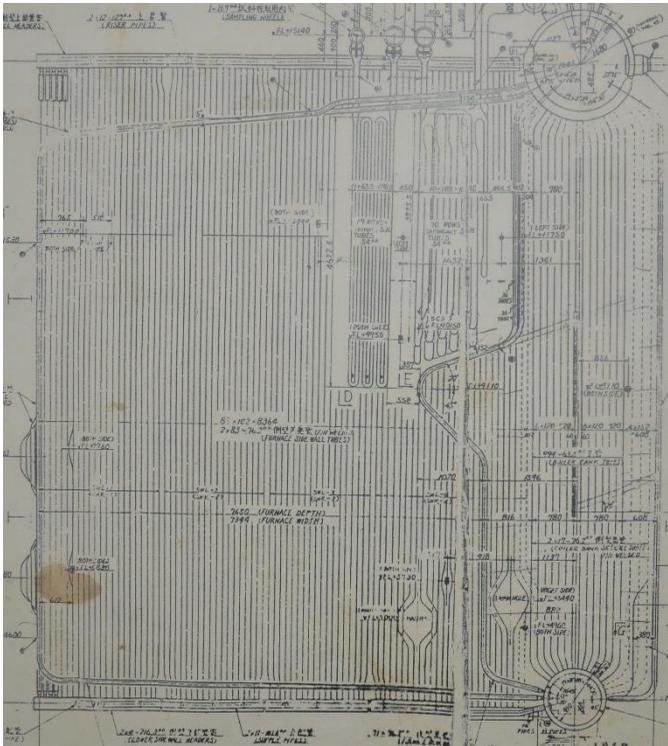
## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Boiler*

*Boiler* atau ketel uap merupakan salah satu bagian utama dari Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Fungsi dari *Boiler* adalah untuk mengubah air menjadi uap kering yang nantinya akan digunakan sebagai penggerak turbin. Putaran turbin tersebut akan memutar generator dan menghasilkan energi listrik. Proses merubah air menjadi uap dilakukan dengan memanaskan air dalam pipa-pipa menggunakan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan *Boiler* adalah uap kering dengan tekanan dan temperatur tinggi. Jumlah uap yang diproduksi pada *Boiler* bergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas yang dihasilkan pembakaran.

Siklus air pada *Boiler* dimulai dari setelah air didinginkan dalam kondensor. Setelah air didinginkan dalam kondensor air dipompa melewati reheat untuk dipanaskan terlebih dahulu sebelum memasuki *Boiler*. Setelah itu air masuk kedalam *Waterwall tube* atau pipa-pipa pada dinding *Boiler* untuk dipanaskan menjadi uap jenuh. Setelah dipanaskan pada *Waterwall tube* uap jenuh masuk kedalam *Steam Drum* untuk dipisahkan antara fase air dan fase uap. Fase air akan turun dan dipanaskan kembali didalam *Waterwall Tube* dan *Boilerbank Tube*, sedangkan fase uap akan masuk kedalam *Superheater* untuk dipanaskan hingga menjadi uap kering.

Dari Gambar 2.1 dapat dilihat desain *Boiler* pada PLTU PT. Indonesia Power UP Perak. Ada beberapa komponen-komponen heat exchanger didalam desain *Boiler* PT. Indonesia Power UP Perak berupa *Furnace wall tube*, *Waterwall Tube*, *Boilerbank Tube*, *Steam Drum*, *Water Drum*, *Primary Superheater*, dan *Secondary Superheater*.



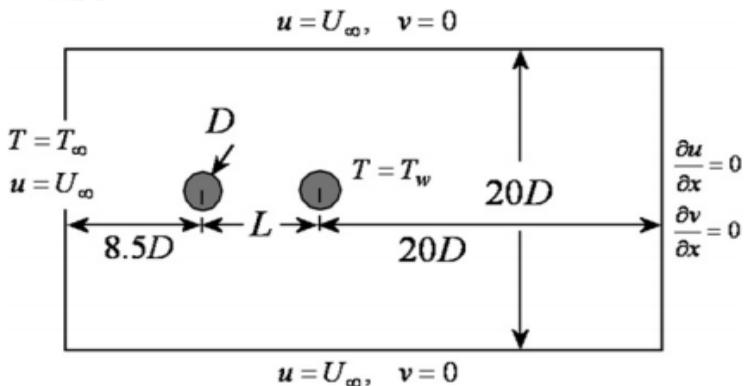
**Gambar 2.1** Desain Boiler pada PLTU PT. Indonesia Power UP Perak

*Superheater* merupakan salah satu komponen penting didalam *Boiler*. Fungsi dari *Superheater* adalah untuk menaikkan suhu uap jenuh menjadi uap kering (*Superheated Steam*). *Superheater* memiliki peran yang sangat penting, ketika performa dari *Superheater* meningkat maka begitu pula dengan performa dari pembangkit. Hal tersebut dikarenakan semakin meningkatnya performa *Superheater* maka kualitas *Steam* yang dihasilkan akan semakin bagus sehingga daya yang dihasilkan oleh turbin akan meningkat.

## 2.2 Penelitian Terdahulu

### 2.2.1 Necati Mahir, Zekeriya Altaç (2008)

Penelitian yang dilakukan adalah studi numerik aliran udara *laminar unsteady convective* melintasi dua silinder tandem menggunakan *software* FLUENT. Persamaan aliran dan energi diselesaikan untuk  $Re = 100$  dan  $200$ , dan terlihat pada Gambar 2.2 persamaan aliran dan energi diselesaikan untuk jarak antara dua silinder tandem *tube*  $L/D = 2,3,4,5,7$ , dan  $10$ .



**Gambar 2.2** Domain untuk dua silinder tandem

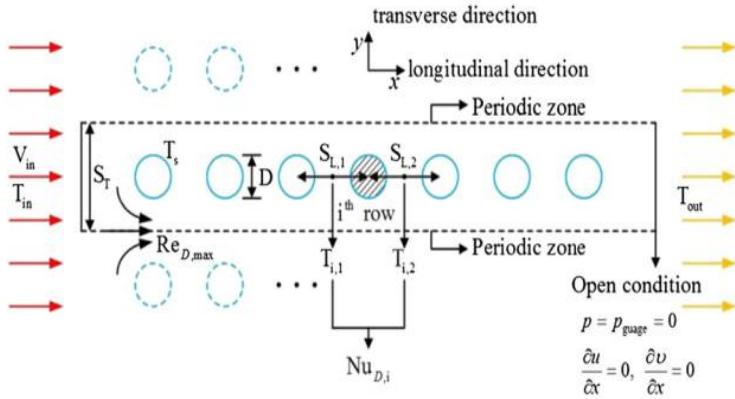
Pada penelitian tersebut diperoleh data nilai *Nusselt* rata-rata dan nilai *Nusselt* lokal sepanjang *upstream* dan *downstream* pada silinder. Penelitian sebelumnya jarak kritis antara dua silinder tandem adalah  $3.5D - 3.8D$ . Hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.1 bahwa nilai *Nusselt* rata-rata baik pada *upstream* maupun *downstream* meningkat seiring dengan meningkatnya nilai *Reynolds* dan jarak antar silinder  $L/D$ . Namun untuk  $L/D \geq 4$ , *Nusselt* number rata-rata untuk *upstream* mendekati nilai *Nusselt* rata-rata pada silinder tunggal. Selain itu terlihat bahwa nilai *Nusselt* rata-rata baik *upstream* maupun *downstream* pada  $L/D \geq 4$  menunjukkan fluktuasi nilai namun besarnya relatif sama.

**Tabel 2.1** Nilai *Nusselt* rata-rata pada *upstream* dan *downstream* silinder berdasarkan nilai *Reynolds* dan rasio L/D

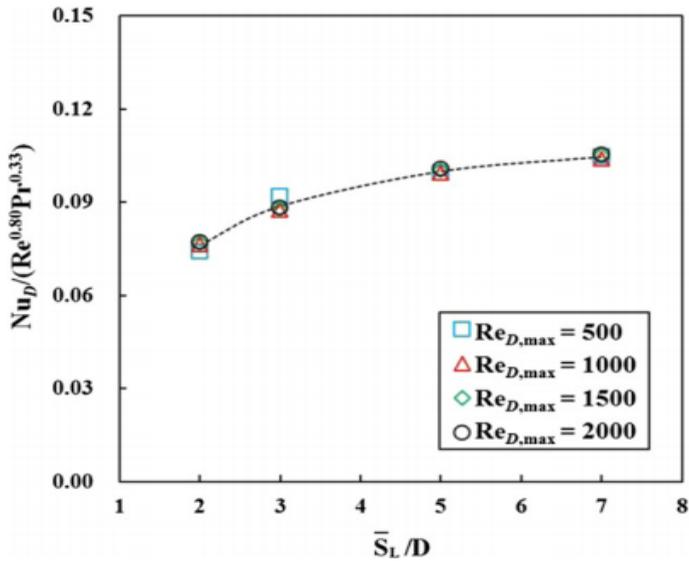
Re	L/D	Nu <sub>1</sub>	Nu <sub>2</sub>
<b>100</b>	2	4.74	2.03
	3	4.804	2.293
	4	5.176 ± 0.006	4.02 ± 0.43
	5	5.180 ± 0.005	4.28 ± 0.40
	7	5.159 ± 0.003	4.21 ± 0.26
	10	5.174 ± 0.003	4.27 ± 0.18
<b>200</b>	2	6.460	2.88 ± 0.03
	3	6.56 ± 0.001	3.54 ± 0.11
	4	7.44 ± 0.046	6.15 ± 0.51
	5	7.43 ± 0.034	5.96 ± 0.47
	7	7.45 ± 0.029	5.83 ± 0.32
	10	7.46 ± 0.027	5.86 ± 0.26

### 2.2.2 Dongkyun Lee, Joon Ahn , Seungwon Shin (2013)

Penelitian dilakukan untuk mencari operasi maksimal pada HRSG, dengan mengontrol jarak longitudinal antar *tube* pada *tubebank*. Jenis susunan *tube* yang diteliti adalah jenis *In-line tubebank*. Domain geometri dan *Boundary layer* ditunjukkan pada Gambar 2.3, terlihat bahwa *control volume* ditentukan 7 *tube* yang tersusun *In-line* dengan aliran masuk diasumsikan sebagai gas ideal dengan *Reynolds* number 500 – 2000.:

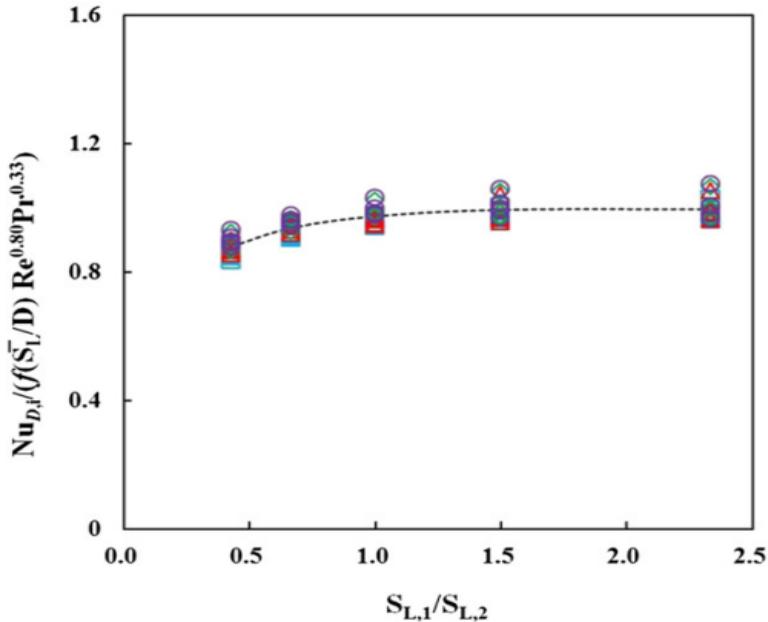


Gambar 2.3 Domain dan *Boundary Condition*



Gambar 2.4 efek rasio jarak longitudinal terhadap nilai *Nusselt* total

Gambar 2.4 menunjukkan *Nusselt* number total yang melewati 7 baris silinder pada *tubeBanks* dengan beberapa variasi rasio jarak longitudinal antar *tube* ( $SL/D$ ). Terlihat bahwa seiring meningkatnya ratio jarak longitudinal antar *tube* ( $SL/D$ ) meningkat pula nilai *Nusselt* total.



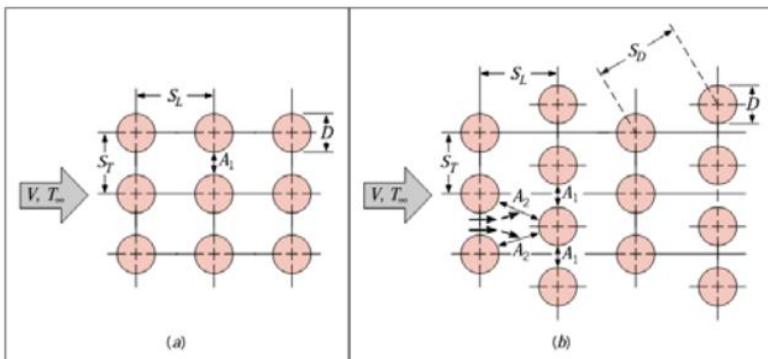
**Gambar 2.5** efek rasio transisi dan jarak longitudinal terhadap nilai *Nusselt* total

Terlihat pada gambar 2.5 merupakan efek dari rasio jarak transisi dan jarak longitudinal pada susunan *tube Aligned* terhadap konstanta *Nusselt* number. Pada grafik terlihat bahawa pada jarak transisi kurang dari jarak longitudinal konstanta memiliki nilai yang rendah. Ketika jarak transisi semakin menjauh nilai konstanta semakin membesar, namun pada rasio jarak transisi dibanding jarak longitudinal 1,5 dan seterusnya, nilai bilangan *Nusselt* relatif konstan dan tidak mengalami perubahan.

## 2.3 Konsep Aliran dan perpindahan Panas pada *Tube Banks*

### 2.3.1 Aliran *Fluida* Melintasi *Tube Banks*

Perpindahan panas pada suatu *Tube Banks* banyak digunakan di dunia industri, seperti pada instalasi *Boiler* yang mengubah air menjadi uap maupun pada pendingin ruangan. *Tube Banks* memiliki 2 jenis susunan *tube*, yaitu susunan secara *Aligned* dan susunan secara *Staggered*. Terlihat pada Gambar 2.5 (a) susunan *Aligned* dan Gambar 2.5 (b) susunan secara *Staggered* terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi aliran *Fluida*. Konfigurasi dari susunan *Tube* dikarakteristikan berdasarkan diameter *Tube* ( $D$ ), jarak Transversal ( $S_T$ ), dan jarak Longitudinal ( $S_L$ ) yang diukur diantara dua titik pusat antar *Tube*. Kondisi aliran pada susunan *tube* didominasi oleh efek separasi *Boundary layer* dan interaksi wake yang kemudian mempengaruhi perpindahan panas secara konveksi.



**Gambar 2.6** Konfigurasi susunan *tube Banks*, (a) *Aligned*, (b) *Staggered* ( Incropera, 2002)

Koeffisien perpindahan panas pada *Tube* bergantung pada posisi *Tube* didalam *Tube Bank*. Aliran melintasi *tube* pada baris pertama pada *tube bank* serupa dengan aliran yang melintasi *tube* tunggal secara tegak lurus. Untuk baris *tube* berikutnya, aliran sangat dipengaruhi oleh susunan *tube*. Nilai

koefisien konveksi sangat dipengaruhi oleh tingkat *turbulensi* aliran melintasi *tube* dan jumlah baris. *Tubes* pada baris pertama berperan menghasilkan *turbulensi* dimana akan meningkatkan koefisien perpindahan panas pada baris-baris *Tubes* setelahnya.

### 2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi Pada *Tube Banks*

Pada umumnya, perlu diketahui koefisien perpindahan panas rata-rata pada keseluruhan *Tube Banks*. Untuk aliran melewati *Tube Bundles* dengan sepuluh baris atau lebih ( $N_L \geq 10$ ), Grimson menentukan korelasi dalam persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$\bar{Nu}_D = C_1 Re_{D,Max}^m \left[ \begin{array}{l} N_L \geq 10 \\ 2000 \leq Re_{D,max} \leq 40.000 \\ Pr \geq 0,7 \end{array} \right] \quad 2.1$$

Dimana  $C_1$  dan  $m$  tercantum dalam tabel 2.2 dan besarnya nilai *Reynolds* dapat dicari menggunakan persamaan 2.2,

$$Re_{D,Max} = \frac{\rho V_{max} D}{\mu} \quad 2.2$$

Perumusan umum yang biasa digunakan untuk mendapatkan hasil lebih akurat, perumusan dikalikan dengan  $1,13 Pr^{1/3}$ , sesuai persamaan 2. 3 berikut :

$$\bar{Nu}_D = 1,13 C_1 Re_{D,max}^m Pr^{1/3} \left[ \begin{array}{l} N_L \geq 10 \\ 2000 \leq Re_{D,max} \leq 40.000 \\ Pr \geq 0,7 \end{array} \right] \quad 2.3$$

Semua properti dari persamaan di atas dievaluasi pada temperatur film. Jika  $N_L < 10$ , faktor koreksi yang diaplikasikan yaitu sesuai persamaan 2.4.

**Tabel 2.2** Konfigurasi Susunan *Tube* secara *staggered* untuk Aliran yang Melintasi *Tube Banks* yang terdiri dari 10 baris atau lebih

$S_T/D$	$S_T/D$							
	1.25		1.5		2.0		3.0	
	$C_1$	$m$	$C_1$	$m$	$C_1$	$m$	$C_1$	$m$
<b>Aligned</b>								
<b>1.25</b>	0.348	0.592	0.275	0.608	0.100	0.704	0.0633	0.752
<b>1.50</b>	0.367	0.586	0.250	0.620	0.101	0.702	0.0678	0.744
<b>2.00</b>	0.418	0.570	0.299	0.602	0.229	0.632	0.198	0.648
<b>3.00</b>	0.290	0.601	0.357	0.584	0.374	0.581	0.286	0.608
<b>Staggered</b>								
<b>0.600</b>	-	-	-	-	-	-	0.213	0.636
<b>0.900</b>	-	-	-	-	0.446	0.571	0.401	0.581
<b>1.000</b>	-	-	0.497	0.558	-	-	-	-
<b>1.125</b>	-	-	-	-	0.478	0.565	0.518	0.560
<b>1.250</b>	0.518	0.556	0.505	0.554	0.519	0.556	0.522	0.562
<b>1.500</b>	0.451	0.568	0.460	0.562	0.452	0.568	0.488	0.568
<b>2.000</b>	0.404	0.572	0.416	0.568	0.482	0.556	0.449	0.570
<b>3.000</b>	0.310	0.592	0.356	0.580	0.440	0.562	0.428	0.574

$$\bar{N}u_D \mid_{(N_L < 10)} = C_2 \bar{N}u_D \mid_{(N_L \geq 10)}$$

2.4

Dimana  $C_2$  tercantum dalam tabel 2.3 berikut :

**Tabel 2.3** Faktor Koreksi C 2 perumusan 2.4 untuk  $N_L < 10$ 

$N_L$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Aligned</i>	0.64	0.8	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

Besar *Reynolds* Number maksimum  $Re_{Dmax}$  berkorelasi dengan kecepatan maksimum dari aliran yang melintasi *tube Banks* Untuk susunan secara *Aligned*, kecepatan maksimum terjadi di A1, sesuai dengan persamaan 2.5.

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V \quad 2.5$$

Sedangkan untuk susunan secara *staggered*, kecepatan maksimum dapat terjadi pada jarak transversal A1 dan jarak longitudinal A2. Hal ini dapat terjadi di A2, jika jarak antar baris *tube* memenuhi syarat seperti persamaan 2.6.

$$2(S_D - D) < (S_T - D) \quad 2.6$$

Dari *Fluida* yang bergerak dari A1 ke A2, maka  $V_{max}$  terjadi di A2 dengan syarat seperti pada persamaan 2.7.

$$S_D = \left[ S_L^2 + \left( \frac{S_T}{2} \right)^2 \right]^{1/2} < \frac{S_T + D}{2} \quad 2.7$$

Maka, kecepatan maksimum pada susunan secara *staggered* di A2 sesuai persamaan 2.8.

$$V_{max} = \frac{S_T}{2(S_D - D)} V \quad 2.8$$

Hasil lain dikemukakan oleh Zukauskas menyatakan korelasi tersebut dalam persamaan 2.9 berikut.

$$\bar{Nu}_D = C \cdot Re_{D,max}^m Pr^{0.36} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right) \left[ \begin{array}{l} N_L \geq 20 \\ 1000 \leq Re_{D,max} \leq 2 \times 10^6 \\ 0.7 \leq Pr \leq 500 \end{array} \right] \quad 2.9$$

Dimana seluruh *properties* kecuali  $Pr_s$  dihitung pada temperatur rata-rata antara temperatur *inlet* dan temperatur outlet sedangkan  $Pr_s$  dihitung pada temperatur permukaan,  $C$  dan  $m$  dituliskan pada tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Konstanta untuk Persamaan 2.9 untuk *tube Banks* pada cross flow

<i>Configuration</i>	$Re_{D,max}$	$C$	$m$
<i>Aligned</i>	$10 - 10^2$	0.8	0.4
<i>Staggered</i>	$10 - 10^2$	0.9	0.4
<i>Aligned</i>	$10^2 - 10^3$	<i>Approximate as a single (isolated) cylinder</i>	
<i>Staggered</i>	$10^2 - 10^3$		
<i>Aligned</i> ( $S_T/S_L > 0.7$ ) <sup>n</sup>	$10^3 - 2 \times 10^5$	0.27	0.63
<i>Staggered</i> ( $S_T/S_L < 2$ )	$10^3 - 2 \times 10^5$	$0.35 (S_T/S_L)^{1/5}$	0.60
<i>Staggered</i> ( $S_T/S_L > 2$ )	$10^3 - 2 \times 10^5$	0.40	0.60
<i>Aligned</i>	$2 \times 10^5 - 2 \times 10^6$	0.021	0.84
<i>Staggered</i>	$2 \times 10^5 - 2 \times 10^6$	0.022	0.84

Jika  $N_L > 20$ , diaplikasikan faktor koreksi  $C_2$  yang ditunjukkan pada Tabel 2.5 sesuai dengan persamaan 2.10 berikut.

$$\bar{Nu}_D \mid (N_L < 10) = C_2 \bar{Nu}_D \mid (N_L \geq 10) \quad 2.10$$

**Tabel 2.5** Faktor Koreksi  $C_2$  perumusan 2. 6 untuk  $N_L < 20$

$N_L$	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

#### 2.4 Penurunan Tekanan Pada *Tube Banks*

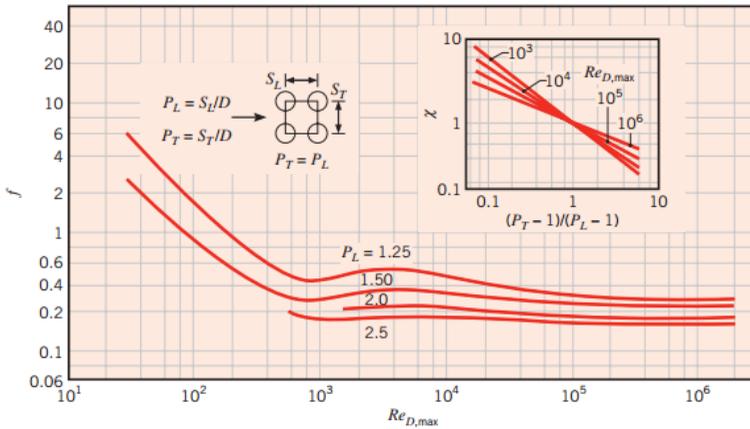
Mempelajari penurunan tekanan pada *tube Banks* tidak kalah pentingnya dengan total perpindahan panas yang terjadi. Tenaga yang dibutuhkan untuk mengalirkan aliran melewati *tube Banks* merupakan beban operasi utama yang sebanding dengan besarnya penurunan tekanan. Besar penurunan tekanan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.11 berikut.

$$\Delta p = N_L \chi \left( \frac{\rho V_{\max}^2}{2} \right) f$$

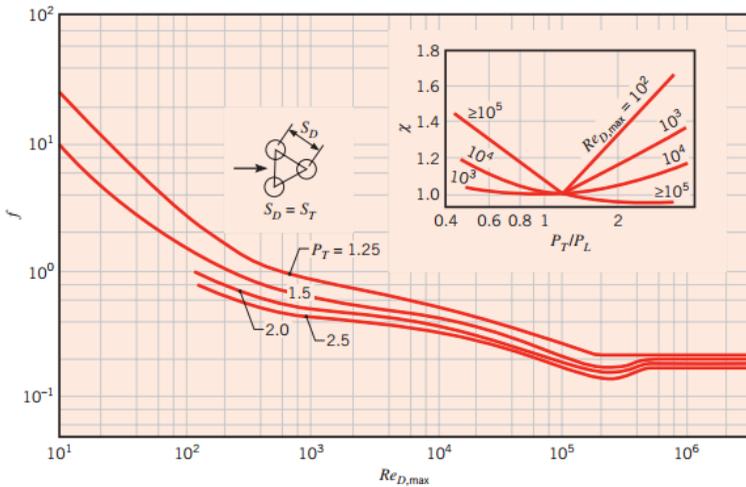
2.11

*Friction factor* ( $f$ ) dan *correction factor* ( $\chi$ ) ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan 2.7. Gambar 2.6 untuk susunan *tube In-line* dan Gambar 2.7 untuk susunan *tube staggered*. Jarak longitudinal dan transversal adalah  $PL = SL/D$ , dan  $PT = ST/D$ . Untuk Gambar 2.7 dapat diaplikasikan untuk susunan *tube staggered* dengan  $ST = SD$ .

Namun secara umum nilai penurunan tekanan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.12 yaitu persamaan bernouli yang merupakan penurunan dari persamaan momentum.



**Gambar 2.7** Friction factor ( $f$ ) dan correction factor ( $\chi$ ) untuk susunan tube In-Line



**Gambar 2.8** Friction factor ( $f$ ) dan correction factor ( $\chi$ ) untuk susunan tube Staggered

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{constant}$$

Persamaan 2.12 dapat digunakan untuk menghitung dengan batasan masalah Aliran Tunak, tidak ada gesekan, *Fluida* mengalir sepanjang Streamline dan Aliran Incompressibel, dimana:

$P$  = Tekanan (Pa)

$\rho$  = Massa Jenis *Fluida* (Kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = Kecepatan *Fluida* (m/s)

$G$  = Gaya Gravitasi (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$Z$  = Ketinggian *control volume* (m)

Dikarenakan pada *tube Banks* tidak mengalami perubahan ketinggian maka suku  $gz$  dapat diabaikan, sehingga menjadi persamaan 2.13 berikut :

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} \quad 2.13$$

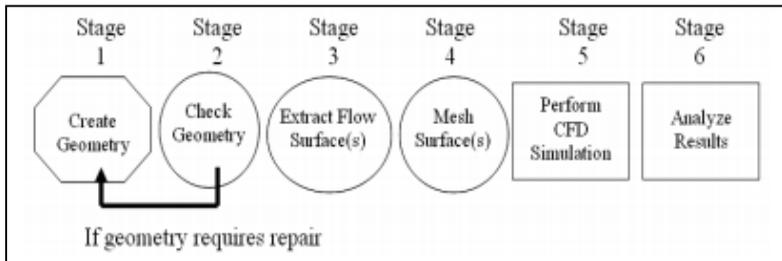
Dengan kondisi  $P_1 > P_2$  dan  $V_1 < V_2$  maka penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan 2.14 berikut :

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} (V_2^2 - V_1^2) \quad 2.14$$

## 2.5 Pemodelan Pada FLUENT

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 2.9 berikut ini merupakan tahapan-tahapan sederhana untuk menggunakan metode CFD.



**Gambar 2.9** 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 *single precision*. Model dua dimensi dipilih jika domain yang akan disimulasikan hanya berbentuk dua dimensi. Sedangkan jenis *single precision* dipilih jika domain yang akan disimulasikan memiliki geometri dan ukuran yang sederhana serta tidak memiliki gradasi dimensi yang sangat 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 Reynold *Fluida* rendah, maka dapat dipilih - 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.

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PERCOBAAN**

#### **3.1 Tahapan Penelitian**

Dalam melakukan penelitian dan studi numerik mengenai pengaruh variasi beban pembangkit dan jarak transisi antara Secondary Superheater dan Boilerbank Tube terhadap karakteristik perpindahan panas, Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, antara lain :

1. Studi Kasus

Permasalahan yang diangkat adalah usaha untuk meningkatkan perpindahan panas yang terjadi pada Secondary Superheater dan Boilerbank Tube pada boiler Pembangkit listrik tenaga uap PT. Indonesia Power Perak.

2. Studi Literatur

Untuk memperdalam pemahaman mengenai permasalahan yang dibahas, dilakukan studi literatur yang berkaitan dengan proses perpindahan panas yang terjadi pada tube bank yang dipengaruhi oleh pembebanan pada boiler dan jarak longitudinal pitch (SL) antar tube, serta studi literatur mengenai simulasi numerik perpindahan panas melalui susunan Tube Banks baik In-Line maupun Stegger. Studi Literatur diperoleh dari buku-buku, Jurnal, e-book, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan permasalahan yang dibahas.

3. Pemodelan dan Simulasi

Proses Pemodelan dimulai dengan pembuatan geometri control volume yang telah ditentukan dan menentukan domain menggunakan software GAMBIT 2.4.6. Setelah itu dilakukan proses Simulasi dari domain control volume yang telah dibuat dengan memasukkan properties serta data-data yang dibutuhkan kedalam software FLUENT 6.3.26. Setelah proses simulasi, dilakukan proses Post-Processing dengan menampilkan hasil simulasi berupa distribusi bilangan Nusselt, kecepatan outlet, dan Pressure Drop.

#### 4. Pengolahan dan Analisa Data Hasil Simulasi

Setelah proses simulasi selesai, dilakukan pengambilan data hasil simulasi. Data tersebut ditampilkan dalam bentuk kontur dan pathline untuk dianalisa secara kualitatif, dan juga diolah dalam bentuk grafik atau tabe sehingga dapat dianalisa secara kuantitatif. Dari kedua parameter tersebut, dapat dibahas fenomena aliran dan karakteristik hasil perpindahan panas yang terjadi pada tube banks.

### 3.2 Tahapan Pemodelan dan Simulasi

Pada penelitian ini akan dibandingkan hasil simulasi numerik pada Boiler tube banks dengan melakukan variasi jarak transisi antara Secondary Superheater dan Boilerbank Tube. Simulasi numerik adalah sebuah proses simulasi berbasis perhitungan yang dilakukan oleh sebuah perangkat lunak komputer dengan mendefinisikan parameter-parameter yang sesuai dengan boundary conditions, lalu dilanjutkan dengan proses iterasi atau pengulangan sampai tercapainya konvergensi untuk mendapatkan nilai pendekatan yang signifikan. Pada proses numerik terbagi menjadi 3 tahapan, yakni Pre- Processing, Processing, dan PostProcessing.

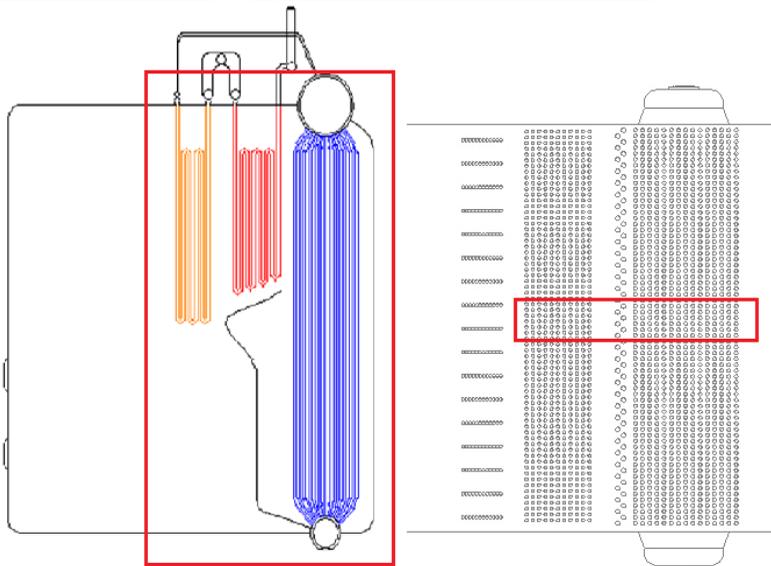
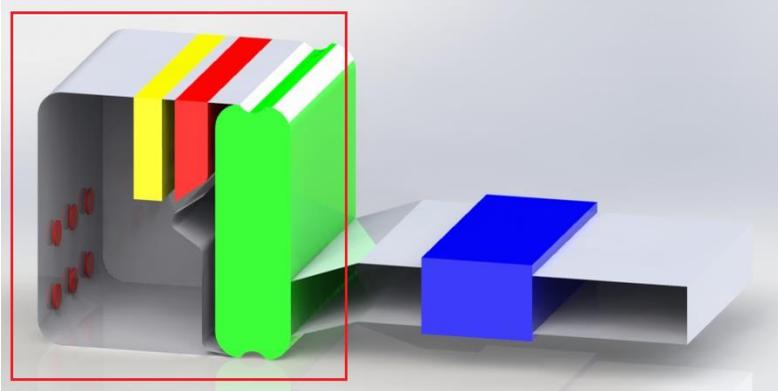
#### 3.2.1 Pre-Processing

Pre-processing adalah proses awal dari suatu simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD). Pada proses ini dilakuakn pembuatan geometri dan menentukan domain dari control volume yang akan disimulasikan. Proses Pre-Processing seluruhnya dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6. Beberapa tahapan dari proses Pre-Processing antara lain :

##### 1. Pembuatan Model

Model awal yang akan dibuat adalah bentuk existing dari Susunan Secondary Superheater dan Boilerbank Tube yang kemudian akan ditentukan suatu control volume yang dapat mewakili sistem secara menyeluruh seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1, serta rincian dimensi tercantum pada tabel 3.1. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan 24 buah Tubes Secondary Superheater yang tersusun In-Line dan 28 buah Tubes

Boilerbank Tubes yang tersusun Stegged pada 2 Tubes depan dan In-Line pada 26 buah Tubes yang berada dibelakang. Jarak  $8.5D$  pada sisi inlet bertujuan agar aliran masuk sudah dalam keadaan fully developed ketika melewati tube dan jarak  $20D$  pada sisi outlet bertujuan agar dapat dilakukannya pengamatan terhadap kontur aliran seperti wake dan vortex yang terjadi dibelakang tube paling akhir.

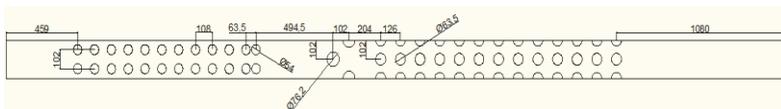


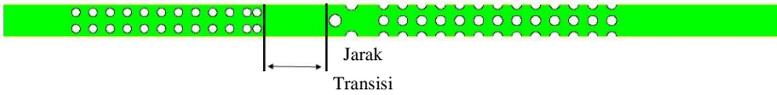


<b>Jarak Longitudinal (SL/D)</b>	<b>1.338</b>
<b>Jumlah Baris Tube</b>	<b>2</b>
<b><i>Boilerbank Tube In-Line</i></b>	
<b>Diameter luar tube (mm)</b>	<b>63.5</b>
<b>Jarak Transversal (ST/D)</b>	<b>1.606</b>
<b>Jarak Longitudinal (SL/D)</b>	<b>1.984</b>
<b>Jumlah Baris Tube</b>	<b>13</b>
<b>Jarak Transisi</b>	
<b><i>Secondary Superheater dan Boilerbank Tube (mm)</i></b>	<b>494.5</b>
<b><i>Boilerbank Tube Stegger dan In-line (mm)</i></b>	<b>204</b>

## 2. Pembuatan Meshing

Pembuatan meshing dilakukan berdasarkan dari geometri control volume dimana ada aliran fluida didalamnya. Mesh yang digunakan adalah jenis quadrilateral-map. Fenomena dan karakteristik aliran yang akan dianalisa adalah aliran pada control volume yang melewati tube-tube dari Secondary Superheater dan Boilerbank Tube. Meshing untuk pemodelan 2D dari Secondary Superheater dan Boilerbank Tube ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut.





**Gambar 3.2** Meshing untuk Secondary Superheater dan Boilerbank Tube untuk aliran 2D dengan bentuk Quadrilateral-map

**Tabel 3.2** variasi jarak transisi antara Secondary Superheater dan Boilerbank Tube

Variasi	2	3	4	5	7	existing	10
Jarak (mm)	108	162	216	270	378	495	540

### 3. Penentuan boundary condition yang digunakan.

Setelah pembuatan geometri dan proses meshing, dilakukan proses penentuan boundary conditions. Kondisi batas yang ditentukan untuk pemodelan diinformasikan pada Tabel 3.2. Setelah dilakukan proses penentuan boundary conditions, geometri model disimpan dan diekspor dalam bentuk file \*.msh agar dapat dibaca oleh perangkat lunak FLUENT.

**Tabel 3.3** Boundary Condition Secondary Superheater dan Boilerbank Tubes

<i>Boundary Condition</i>	<i>Keterangan</i>
<b>Inlet</b>	Tipe : <i>Velocity Inlet</i> Kecepatan : 5.46 m/s Temperatur : 1000 K
<b>Outlet</b>	Tipe : Outflow
<b>Tubes Secondary Superheater</b>	Tipe : <i>Stationary Wall</i> Temperatur :

	640K, 655K, 669K, 684K, 698K, 713K, 727K, 742K, 756 K , 771 K , 786 K
<b>Tubes Boilerbank Tubes</b>	Tipe : <i>Stationary Wall</i> Temperatur : 579 K
<b>Garis bantu atas dan bawah</b>	Tipe : <i>Symetry</i>

### 3.2.2 Processing

Proses selanjutnya dari CFD adalah Processing, proses ini dilakukan menggunakan software FLUENT 6.3.26. Tahapan pemodelan yang dilakukan dalam proses ini antara lain adalah mengatur solver model, viscous model, materials, boundary conditions, operating conditions, control dan monitoring conditions, serta initialize conditions. Setelah seluruh pemodelan ditentukan dilakukan proses iterasi untuk menyelesaikan proses simulasi. Berikut Adalah penjelasan lebih lanjut mengenai langkah-langkah dalam Processing :

#### 1. Solver Model

Pada Simulasi tugas akhir ini digunakan penyelesaian 2 Dimensi (2D) Double Precision dengan keakuratan ganda untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dalam menyelesaikan masalah. Untuk Solver yang digunakan yaitu Pressured Based yang merupakan solver berbasis tekanan dengan pengondisian waktu Steady. Persamaan energi diaktifkan guna mendukung penyelesaian heat-transfer maupun efke kompreibilitas aliran terhadap perubahan tekanan dan temperatur. Turbulence Modelling yang digunakan adalah k- $\epsilon$  RNG (Renormalization Group) karena model ini mendukung efek turbulensi dan model diferensial viskositas untuk menghitung efek bilangan Reynold

yang rendah serta model ini telah digunakan dalam dunia industri. Untuk mendukung keakuratan hasil iterasi pada daerah di dekat dinding, diaktifkan menu Enhanced Wall Treatment dengan memilih opsi Pressure Gradient Effect dan Thermal Effect.

## 2. Material

Material yang digunakan dalam proses simulasi ini ada 2 yaitu fluida kerja yang mengalir dan material tube. Fluida kerja yang digunakan dimodelkan sebagai gas ideal dengan temperatur 1000K dan material tube berupa Stainless Steel. Properties fluida diperoleh dari tabel A4 dan properties Stainless Steel dapat dilihat dari tabel A1 pada buku berjudul “Fundamentals Heat and Mass Transfer sixth edition” karya Incropera, dkk. (2002). Properties Gas ideal ditabelkan pada Tabel 3.3 dan Properties Stainless Steel ditabelkan pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Properties Fluida ( Udara yang dimodelkan sebagai gas ideal)

<b>Temperature Inlet (K)</b>	<b>1000</b>
<i>Density</i> (Kg/m <sup>3</sup> )	0.3482
<i>Specific Heat</i> (Cp) (KJ/kg.K)	1141
<i>Thermal Conductivity</i> (W/m.K)	0.0667
<i>Absolut Viscosity</i> ( $\mu$ ) (Kg/m.s)	424.4 x 10 <sup>-7</sup>
<i>Prandlt Number</i> (Pr)	0.726

**Tabel 3.5** Properties Stainless Steel

<b>Temperature Stainless Steel (K)</b>	<b>1000</b>
<i>Density</i> (Kg/m <sup>3</sup> )	8055

<i>Specific Heat (Cp) (KJ/kg.K)</i>	606
<i>Thermal Conductivity (W/m.K)</i>	25.4

### 3. Operating Condition

Operating conditions digunakan untuk mengatur tekanan di dalam sistem yang disimulasikan. Dalam simulasi ini, tekanan operasional diatur pada tekanan 101.325 Pa (absolut).

### 4. Boundary Condition

Informasi variabel yang akan disimulasikan dimasukkan sebagai parameter nilai untuk setiap boundary conditions. Pada simulasi ini menggunakan kondisi batas yang tertera pada tabel 3.2.

### 5. Control and Monitoring Solution

Solution control yang digunakan untuk metode pressure-velocity coupling adalah SIMPLE dengan diskritasi second order upwind untuk seluruh parameter. Pada monitoring solution dilakukan pengaturan kriteria residual untuk seluruh parameter sebesar 10-5, kecuali Energy sebesar 10-6.

### 6. Initialize Condition

Initialize merupakan nilai awal untuk setiap parameter sebelum dilakukan proses iterasi pada simulasi. Metode inialisasi yang dilakukan adalah standard initialize untuk mendapatkan nilai parameter awal berdasarkan boundary conditions pada sisi inlet udara.

### 7. Iterations

Setelah seluruh pengaturan dilakukan, proses simulasi dimulai dengan melakukan iterasi sejumlah 2.500 iterasi hingga mencapai kriteria konvergensi. Kriteria konvergensi ditentukan berdasarkan residual monitoring level yang telah diatur sebelumnya.

### 3.2.3 *Post-Processing*

Dari hasil simulasi diperoleh data perpindahan panas dan karakteristik aliran berupa visualisasi aliran yang melewati Tube-

Tube. Selain itu dapat diketahui besar dari Nusselt number pada surface tubes, kecepatan aliran melewati Tubes yang selanjutnya akan diolah dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2013 dan akan disajikan dalam bentuk grafik.

### 3.2.4 Pengolahan Data

Setelah dilakukan proses simulasi mulai dari pre-processing, processing, hingga post-processing menggunakan software GAMBIT 2.4.6 dan FLUENT 6.3.26. Diperoleh data kuantitatif yang kemudian disimpan kedalam bentuk excel workbook. Data tersebut kemudian diolah secara matematis menggunakan rumus seperti yang sudah dipaparkan dalam bab II. Adapun tahapan pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan Nusselt Number secara teoritis

Perhitungan Nusselt Number dilakukan untuk melihat validasi dari pemodelan yang telah kita lakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi dengan hasil perhitungan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung Nusselt Number adalah persamaan 2.5 untuk mencari kepatan maksimum, persamaan 2.2 untuk mencari Reynolds Number, dan persamaan 2.3 untuk menghitung Nusselt Number. Sedangkan untuk konstanta yang dibutuhkan dalam perumusan dapat dilihat pada tabel 2.2 dan 2.3. selanjutnya dilakukan plot grafik untuk melihat fenomena validasi pemodelan.

2. Grid Independency dan Validasi

Grid Independency dilakukan untuk memastikan grid yang telah independen terhadap kasus yang akan disimulasikan. Pada independensi grid ini, dilakukan pembagian jumlah meshing ke dalam 4 jenis, kemudian dari jenis meshing ini akan dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis yang telah dilakukan sebelumnya. Menurut Jagadesh dan Murali (2005), keakuratan dari metode solusi numerik yang baik diiringi dengan meningkatnya jumlah

cell. Namun penggunaan dari jumlah cell yang banyak akan dibatasi dengan proses dari komputer tersebut. Pada penelitian ini akan digunakan analisa grid independency bilangan Nusselt rata-rata seluruh tube. Nilai bilangan Nusselt dari grid independency ditampilkan pada tabel 3.5 berikut :

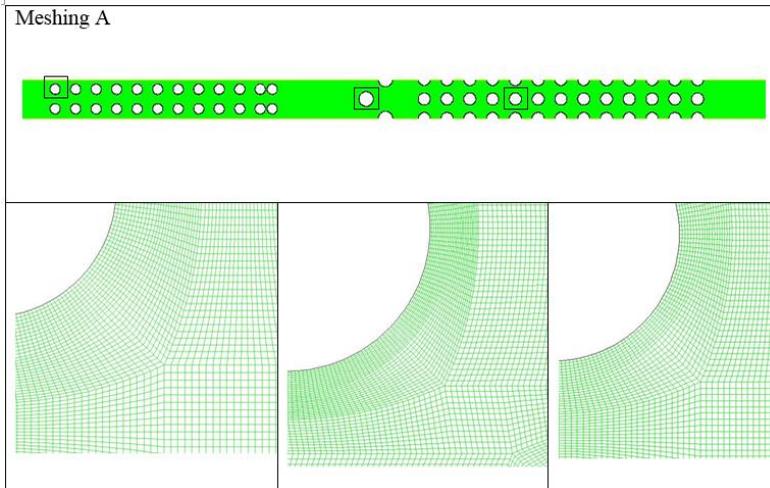
**Tabel 3.6** Grid Independency Validation untuk 3 Jenis meshing model existing

Mesh	Jumlah Cell	Nu <sub>D</sub>		Nu <sub>D</sub> teoritis Grimmison SS = 51.98 BBS = 50.82 BBA = 74.79
				Error (%)
A	560.687	SS	55.9	7.5 %
		BBS	52.55	3.4 %
		BBA	77.69	3.8 %
B	1.189.373	SS	54.75	5.33 %
		BBS	53.982	6.21 %
		BBA	76.41	2.1 %
C	1.319.008	SS	54.22	4.31 %
		BBS	53.18	4.65 %
		BBA	74.58	0.27 %

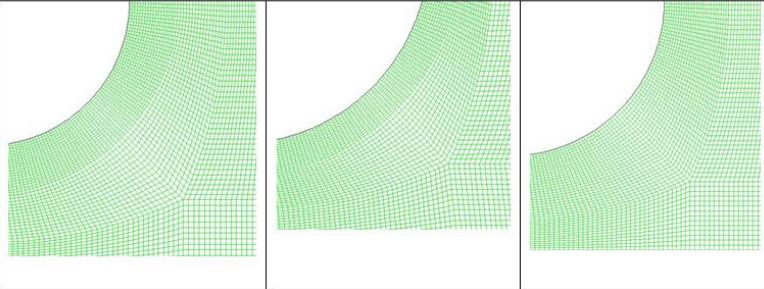
D	1.546.158	SS	53.14	2.24 %
		BBS	52.95	4.18 %
		BBA	74.59	0.26 %

Berdasarkan Tabel 3.5 diatas diperoleh hasil bahwa error hasil simulasi terhadap bilangan Nusselt hasil perhitungan secara teoritis yang memiliki nilai terkecil adalah meshing D dengan jumlah cell 1.546.158. Vaidasi ini hanya dilakukan terhadap tubebanks model existing, dikarenakan model variasi lainnya mengacu pada model existing. Pemodelan atau bentuk meshing yang digunakan untuk Grid Independency pada tabel 3.5 diatas ditunjukkan pada tabel 3.6.

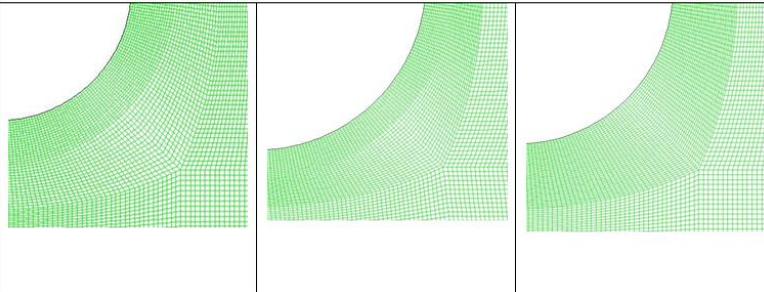
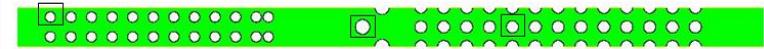
**Tabel 3.7** 3 Jenis meshing yang digunakan pada proses Grid Independency Validation

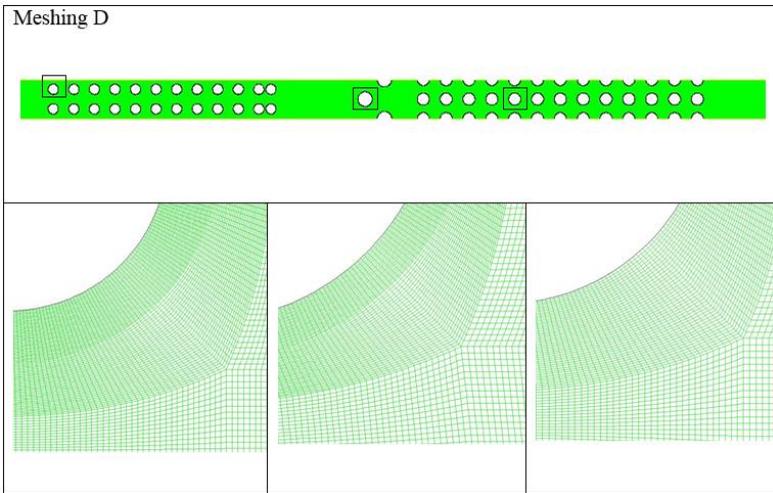


Meshing B



Meshing C





## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi numerik tentang pengaruh jarak transisi antara *Secondary Superheater* dan *Boilerbank Tubes* terhadap karakteristik perpindahan panas secara konveksi. Simulasi numerik telah dilakukan menggunakan *Software FLUENT 6.3.26*. Adapun data kuantitatif yang akan ditampilkan dan dibahas yaitu analisa bilangan Nusselt lokal, dan penurunan tekanan pada *Tube Banks*. Data kualitatif yang ditampilkan dan dibahas antara lain *velocity pathline*, kontur kecepatan, kontur temperatur dan *velocity vector* yang digunakan untuk memperkuat data yang telah diolah sebelumnya.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi jarak transisi yang digunakan adalah 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing*, dengan D yang digunakan adalah diameter *Secondary Superheater* yaitu dengan panjang diameter 54 mm. Penelitian ini difokuskan untuk meneliti fenomena perpindahan panas dan karakteristik aliran pada permukaan *Tube* dan rata-rata perubahan nilai yang terjadi pada keseluruhan sistem penukar kalor. Pemodelan numerik yang digunakan pada studi ini adalah 2D *steady turbulence* model *k-epsilon Renormalized Group* (k- $\epsilon$  RNG).

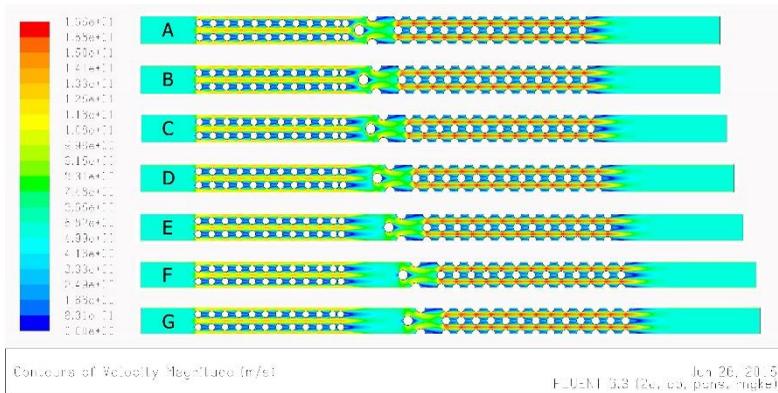
#### **4.1 Analisa Visualisasi Aliran dan perpindahan Panas Pada Domain Secara Overall dalam Numerik**

Dari pemodelan dan simulasi numerik didapatkan data kualitatif berupa visualisasi kontur, *pathline*, dan vektor dari aliran. Pada studi kasus ini akan dilakukan analisa data kualitatif yang meliputi visualisasi kontur, *pathline*, dan vektor kecepatan, serta analisa terhadap kontur temperatur pada model *existing* dan model variasi 2D,3D,4D,5D,7D, *existing* dan 10D. Kebutuhan udara yang diperlukan untuk pendinginan pada setiap *section grate cooler* akan berbeda sehingga jumlah *fan* serta besar daya *fan* yang dibutuhkan juga berbeda. Untuk *section* pertama dimana klinker

baru keluar dari *rotary kiln* akan membutuhkan pendinginan yang lebih besar dibandingkan dengan *section* lain sesudahnya. Oleh karena itu dibutuhkan suplai udara yang lebih besar sehingga jumlah *fan* yang digunakan lebih banyak.

#### 4.1.1 Visualisasi Kecepatan Aliran pada Domain Secara Overall

Fenomena aliran pada *Tube Banks* secara detail ditunjukkan pada tampilan kontur kecepatan, *pathline*, dan vektor kecepatan. Kontur kecepatan untuk *Tube Banks* model baseline dan model modifikasi pada kecepatan *inlet* 5.46 m/s ditunjukkan pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Visualisasi Kontur kecepatan *Tube Banks* untuk kecepatan *inlet* 5.64 m/s pada variasi jarak transisi, (A) 2D, (B) 3D, (C) 4D, (D) 5D, (E) 7D, (F) model *existing*, dan (G) 10D

Terlihat Pada Gambar 4.1 Distribusi kecepatan lokal pada model ditunjukkan oleh spektrum warna kontur aliran. Kontur dengan spektrum warna merah memiliki nilai kecepatan yang tinggi, sedangkan kontur dengan spektrum warna biru memiliki nilai kecepatan yang rendah. Terlihat pada seluruh model baik model *existing* maupun model dengan variasi jarak transisi, bahwa aliran mengalami percepatan dan mencapai kecepatan maksimum

ketika melewati celah antara *Tube* atas dan *Tube* bawah pada susunan *Tube Banks In-Line*. Namun pada susunan *Tube Staggered* aliran mengalami percepatan pada 2 tempat yaitu pada celah *Transversal* dan *longitudinal* antar *Tubes*. Dengan adanya variasi jarak Transisi antar *Tube Banks* aliran memiliki pola yang berbeda-beda. Perbedaan terlihat saat aliran keluar dari *Secondary Superheater* hingga mengenai *Boilerbank Tubes*.

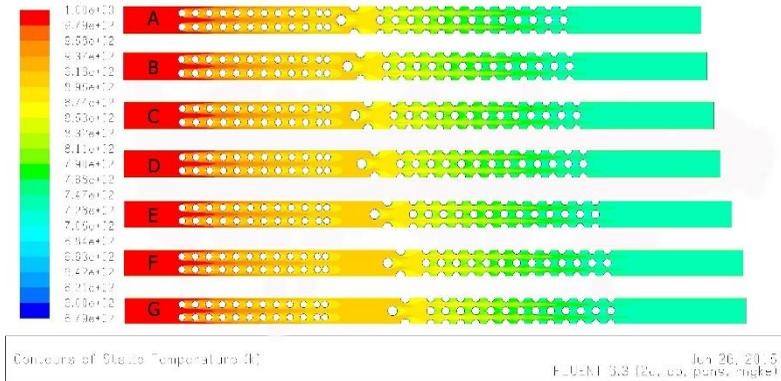
Namun berdasarkan Gambar 4.1 belum diperoleh informasi secara detail mengenai terjadinya fenomena-fenomena aliran melalui kontur *Tube* yang menjadi fokus utama dalam pembahasan pada penelitian ini.

#### **4.1.2 Visualisasi Perpindahan Panas Pada Domain Secara Overall**

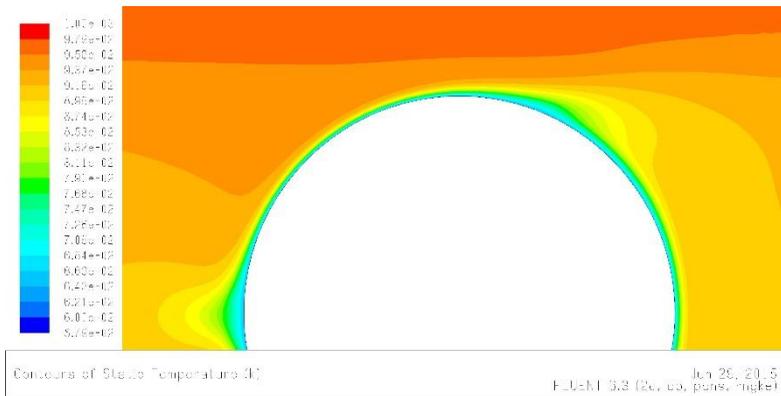
Gambar 4.2 menunjukkan visualisasi kontur temperatur pada model *existing* dan model variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, dan 10D dengan kecepatan *inlet* 5.46 m/s. Pada sisi *inlet* memiliki temperatur konstan sebesar 1000 K sedangkan pada *Tube* memiliki temperatur yang berbeda-beda. Pada *Secondary Superheater* memiliki temperatur *Tube* terendah sebesar 626 K dan tertinggi sebesar 786 K. Pada *Boilerbank Tube* memiliki temperatur yang seragam yaitu 579 K. Distribusi temperatur dapat dilihat dari spektrum warna yang dapat dilihat pada gambar. Warna merah menunjukkan temperatur tertinggi, sedangkan warna biru tua menunjukkan temperatur terendah. Terlihat bahwa temperatur tertinggi berwarna merah terdapat pada sisi *inlet* sedangkan temperatur biru tua berada pada sisi *wall Tube*.

Terlihat pada Gambar 4.2 diatas bahwa Pada model *existing* maupun model variasi jarak transisi memiliki kontur temperatur yang serupa. Temperatur berubah seiring mengalirnya fluida. Aliran masuk dengan suhu seragam 1000 K, aliran melewati *Tube-Tube* yang kemudian panas dari aliran diserap oleh *Tube-Tube* sehingga suhu pada sisi *outlet* berkurang menjadi spektrum warna biru muda yaitu rentang suhu 700 K hingga 800 K. Distribusi temperatur daerah *Tube* pada model *existing* akan

disajikan dengan perbesaran ke bagian dinding *Tube* pada *Secondary Superheater* dan *Boilerbank Tube*.



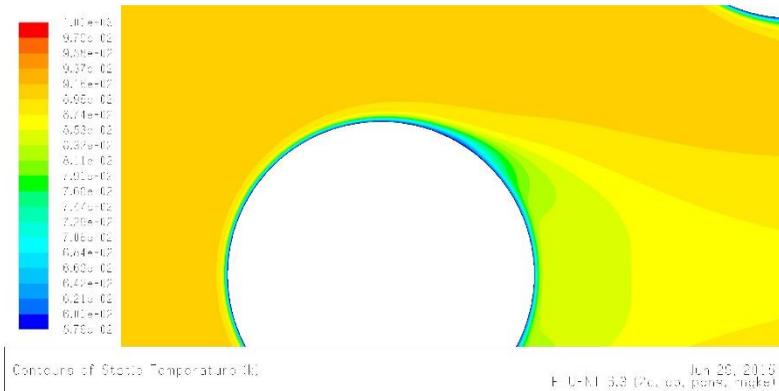
**Gambar 4.2** Visualisasi Kontur Temperatur *Tube Banks* untuk kecepatan *inlet* 5.64 m/s pada variasi jarak transisi, (A) 2D, (B) 3D, (C) 4D, (D) 5D, (E) 7D, (F) model *existing*, dan (G) 10D



**Gambar 4.3** Visualisasi kontur temperatur pada *Secondary Superheater* model *existing*

Pada Gambar 4.3 diatas merupakan perbesaran dari *Tube* kelima *Secondary Superheater* dimana *wall Tube* berwarna biru muda dengan temperatur sebesar 684 K. Sedangkan aliran yang

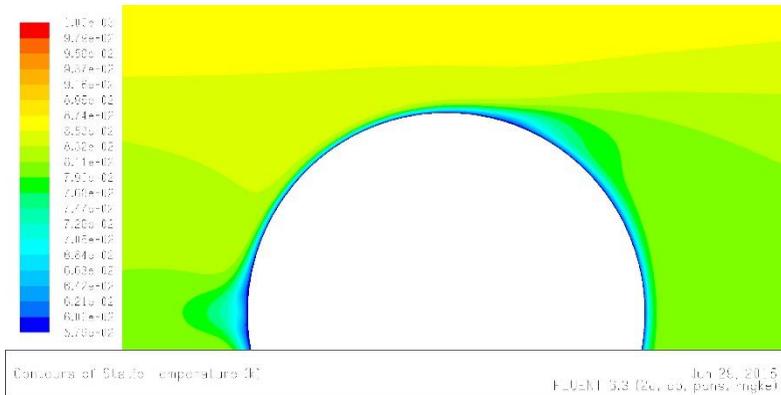
melewati berwarna oranye dengan temperatur sekitar 916 K. Setelah aliran melewati *Tube* terjadi perpindahan panas ( $q$ ) aliran yang memiliki temperatur tinggi ke *Tube* dengan temperatur yang lebih rendah. Perpindahan panas memiliki nilai yang lebih besar pada area setelah titik separasi hingga titik stagnasi bagian belakang. Hal tersebut ditunjukkan dengan kontur warna fluida mengalir setelah titik separasi hingga titik stagnasi yang memiliki warna lebih kuning. Dibandingkan dengan kontur warna fluida yang melewati bagian sebelum separasi yang memiliki warna lebih oranye. Hal tersebut menunjukkan bahwa fluida yang mengalir sebelum separasi memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan fluida yang mengalir setelah titik separasi. Fenomena tersebut disebabkan lapis batas laminar sepanjang keliling *Tube* telah berubah menjadi turbulen setelah melewati titik separasi. Pada kondisi aliran turbulen, terbentuk *vortex* yang mengakibatkan aliran fluida berolak sehingga pencampuran (*mixing*) molekul fluida menjadi lebih baik. Dengan adanya turbulensi aliran, perpindahan panas terjadi lebih baik.



**Gambar 4.4** Visualisasi kontur temperatur pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* model *existing*

Gambar 4.4 diatas merupakan perbesaran dari *Tube* pertama pada *Boilerbank Tube* dengan susunan *Staggered*. Pada *Tube* tersebut aliran mengenai *Tube* memiliki kontur *uniform*

dikarenakan pengaruh *wake* dari *Tube* sebelumnya sudah menghilang akibat dari jarak transisi yang cukup panjang. Aliran fluida memiliki kontur warna oranye dengan temperaur berkisar 900 K dimana temperatur tersebut lebih rendah dikarenakan ketika melewati *Secondary Superheater* panas sudah diserap.

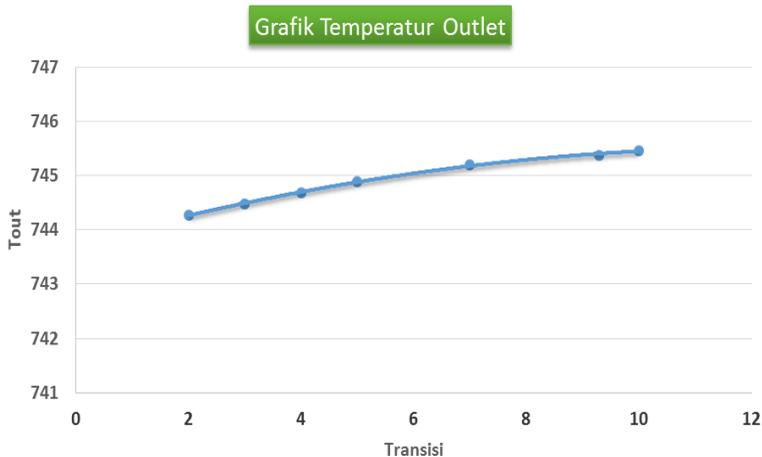


**Gambar 4.5** Visualisasi kontur temperatur pada *Boilerbank Tube* tipe *Aligned* model *existing*

Perbesaran pada Gambar 4.5 merupakan *Tube* dari *Boilerbank Tube* tipe *Aligned* pada baris ketiga, dimana aliran fluida melewati *Tube* memiliki kontur temperatur berwarna hijau dan kuning yaitu memiliki temperatur sekitar 820 K. Pada *Tube* nari ketiga ini aliran fluida melewatinya dipengaruhi oleh *wake* yang ditimbulkan oleh *Tube* baris kedua. Perpindahan panas pada *Tube*bank tipe *Aligned* semakin menurun pada *Tube* baris belakang dikarenakan aliran fluida terhalang oleh *Tube* sebelumnya. *Tube* baris paling depan memiliki karakteristik perpindahan panas yang paling tinggi namun seakan-akan menjadi penghalang dari *Tube* berikutnya, begitu pula untuk *Tube* seterusnya. *Wake* yang ditimbulkan oleh *Tube* depan menyebabkan kecepatan fluida melewati *Tube* belakang menjadi rendah, begitu pula dengan temperatur *main steam* telah berkurang akibat penyerapan oleh *Tube* bagian depan. Sehingga secara teori, semakin dekat jarak

*longitudinal pitch* antar *Tube* maka perpindahan panas akan semakin menurun.

Pada Gambar 4.6 merupakan grafik temperatur *outlet* dari jarak transisi 2D hingga 10D. Terlihat bahwa trend grafik mengalami kenaikan namun cukup landai. Temperatur *outlet* pada jarak transisi 2 merupakan yang paling rendah yaitu 744.27 K. Pada jarak transisi 3 memiliki temperatur outlet lebih tinggi yaitu 744.48 K. Semakin jauh jarak transisi, semakin besar temperatur *outlet*nya hingga yang tertinggi adalah jarak transisi 10D yaitu memiliki temperatur *outlet* sebesar 745.46 K. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin dekat jarak transisi maka semakin baik perpindahan panas yang terjadi pada *Tube*. Namun, melihta trend grafik yang landai dan selisih temperatur *outlet* yang sangat kecil yaitu 1.18 K maka dapat disimpulkan bahwa jarak transisi memiliki pengaruh terhadap perpindahan panas namun tidak signifikan.



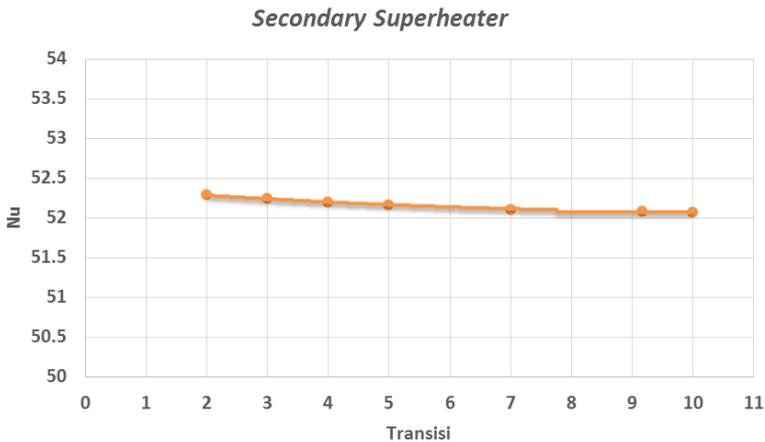
**Gambar 4.6** Grafik Temperatur *outlet* pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing*, dan 10D.

### 4.1.3 Analisa Distribusi Nusselt Pada Domain Secara Overall

Karakteristik dan fenomena perpindahan panas pada *Tube Banks* sebagian besar terjadi secara konveksi. Perpindahan panas

secara konveksi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti luasan perpindahan panas, perbedaan temperatur dan koefisien perpindahan panas. Indikator perpindahan panas yang baik dapat diamati melalui bilangan Nusselt yang berbanding langsung dengan nilai koefisien konveksi ( $h$ ) pada suatu permukaan.

Perpindahan panas dominan yang terjadi pada suatu *Tube Banks* didominasi oleh perpindahan panas secara konveksi, dimana kualitas perpindahan panas secara konveksi ini dapat dilihat dari besarnya nilai Nusselt. Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai besar Nusselt *Number* rata-rata yang terjadi pada masing-masing *Tube Banks*, semakin besar nilai Nusselt dari suatu *Tube Banks* maka semakin besar pula perpindahan panas yang terjadi pada *Tube Banks* tersebut.



**Gambar 4.7** Nusselt *Number* rata-rata *Secondary Superheater* pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, existing, dan 10D.

Terlihat pada Gambar 4.7 diatas bahwa nilai Nusselt rata-rata pada *Secondary Superheater* tidak terjadi perubahan baik peningkatan maupun penurunan. Besar nilai Nusselt rata-rata mengalami fluktuasi pada angka 51.9 hingga 52.3 dimana nilai tertinggi ada pada variasi jarak transisi 2D yaitu sebesar 52.28 dan

yang terendah pada variasi jarak transisi  $10D$  yaitu 51.97, Sedangkan pada kondisi *existing* Nusselt rata-rata bernilai 52.08. Perbedaan nilai Nusselt rata-rata pada *Secondary Superheater* antara yang tertinggi dan terendah pada semua variasi hanya 0.3 atau sekitar 0.5 % dari Nusselt tertinggi.

Menurut perumusan besarnya Nusselt Number dipengaruhi oleh kecepatan serta geometri suatu *Tube bank*. Tidak adanya perbedaan nilai Nusselt rata-rata pada *Secondary Superheater* disebabkan karena tidak adanya perubahan geometri pada keseluruhan *Tube bank* baik jarak longitudinal *pitch* maupun jarak *Transversal pitch*. Selain itu kecepatan dan temperatur masuk melewati *Secondary Superheater* memiliki nilai yang sama pada setiap variasi sehingga menurut perumusan Nusselt Number tidak ada perubahan.



**Gambar 4.8** Nusselt Number rata-rata *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* pada variasi jarak transisi  $2D$ ,  $3D$ ,  $4D$ ,  $5D$ ,  $7D$ , *existing*, dan  $10D$ .

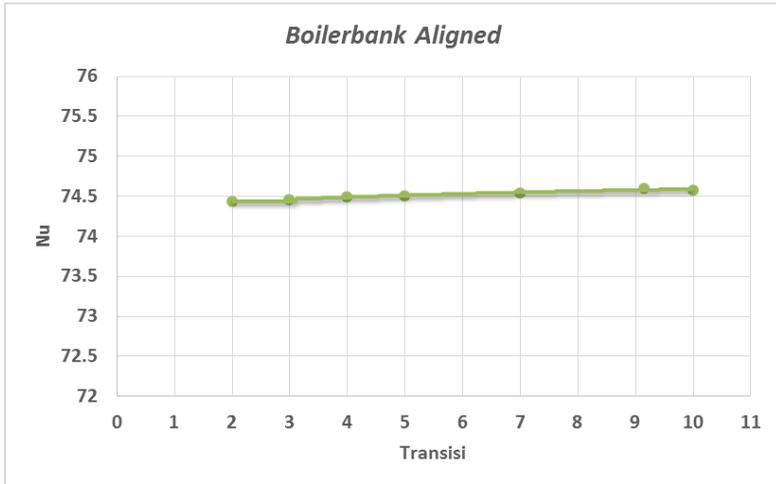
Gambar 4.8 menunjukkan nilai Nusselt rata-rata pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered*. Terlihat bahwa semakin kecil

jarak transisi maka nilai Nusselt rata-rata pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* semakin meningkat. Nilai Nusselt tertinggi ada pada jarak transisi 2D yaitu sebesar 59.72, pada jarak transisi 3D, 4D, 5D, 7D, dan *existing*, Nusselt *Number* berturut-turut bernilai 58.19, 56.81, 55.6, 53.92, dan 52.95. sedangkan nilai nussel *Number* terendah ada pada jarak transisi 10D yaitu 52.47. namun pada jarak transisi 8D hingga 10D nilai Nusselt *Number* memiliki perubahan yang tidak signifikan seperti pada jarak transisi 2D hingga 7D.

Secara kontur temperatur, semakin dekat jarak transisi antara *Secondary Superheater* dan *Boilerbank Tube* kontur temperatur memiliki warna yang sama. Namun secara kontur kecepatan semakin dekat jarak transisi maka kecepatan aliran fluida mengenai *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* semakin besar. Secara teori semakin dekat jarak *longitudinal pitch* pada suatu *Tubebank* maka nilai Nusselt akan semakin menurun diakibatkan aliran yang mengenai *Tube* bagian belakang terpengaruh oleh *wake* dari *Tube* bagian depan sehingga kecepatan aliran fluida mengenai *Tube* bagian belakang akan semakin rendah ketika jaraknya semakin dekat. Namun pada kasus ini semakin dekat jarak transisi *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* semakin dekat dengan celah antar dua *Tube* dari *Secondary Superheater*, dimana pada celah tersebut terjadi kecepatan maksimum dari suatu *Tubebank* tipe *aligned*. Sehingga semakin dekat jarak transisi maka semakin besar kecepatan aliran fluida yang mengenai *Boilerbank Tube* tipe *Staggered*. Untuk analisa lebih jelas mengenai fenomena aliran yang terjadi pada daerah transisi akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

Terlihat pada Gambar 4.9 Nusselt rata-rata untuk *Boilerbank Tube* tipe *Aligned* tidak terjadi perubahan baik peningkatan maupun penurunan. Besar nilai Nusselt rata-rata mengalami fluktuasi pada angka 74.4 hingga 74.6 dimana nilai tertinggi ada pada variasi jarak transisi *existing* yaitu sebesar 74.59 dan yang terendah pada variasi jarak transisi 2D yaitu 74.43. Perbedaan nilai Nusselt rata-rata pada *Boilerbank Tube* tipe

*Aligned* antara yang tertinggi dan terendah pada semua variasi hanya 0.16 atau sekitar 0.2 % dari Nusselt tertinggi.



**Gambar 4.9** Nusselt *Number* rata-rata *Boilerbank Tube* tipe *Aligned* pada variasi jarak transisi 2, 3, 4, 5, 7, *existing*, dan 10.

Menurut perumusan besarnya Nusselt *Number* dipengaruhi oleh kecepatan serta geometri suatu *Tube bank*. Tidak adanya perbedaan nilai Nusselt rata-rata pada *Boilerbank Tube* tipe *Aligned* disebabkan karena tidak adanya perubahan geometri pada keseluruhan *Tube bank* baik jarak longitudinal *pitch* maupun jarak *Transversal pitch*. Selain itu kecepatan dan temperatur masuk melewati *Boilerbank Tube* tipe *Aligned* memiliki nilai yang sama pada setiap variasi dikarenakan kecepatan aliran kembali *uniform* setelah melewati *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* sehingga menurut perumusan Nusselt *Number* tidak ada perubahan.

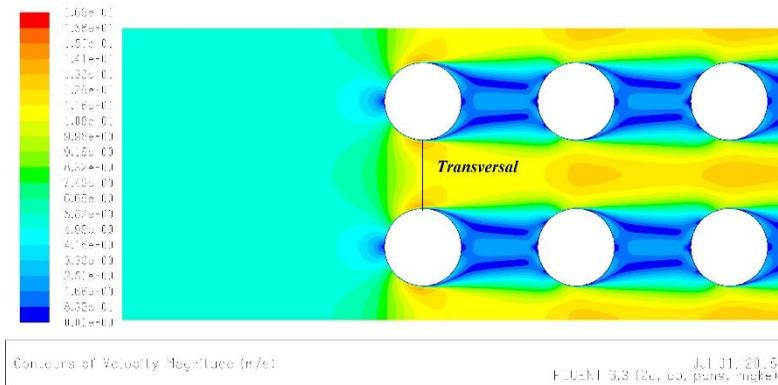
#### 4.2 Analisa Visualisasi Aliran dan perpindahan Panas Pada Susunan *Tube Bank* tipe *Aligned* dan *Staggered*

Seperti yang telah kita ketahui bahwa terdapat dua jenis susunan *Tube* pada suatu *Tube bank*. Kedua susunan *Tube* tersebut

memiliki karakteristik aliran dan perpindahan panas yang berbeda satu dengan lainnya. Pada geometri *Secondary Superheater* dan *Boilerbank Tube* telah kita ketahui bahwa terdapat dua susunan *Tube* didalamnya yaitu susunan *Aligned* pada *Secondary Superheater* dan *Boilerbank Tube* sisi belakang serai susunan *Staggered* pada *Boilerbank Tube* sisi depan.

#### 4.2.1 Visualisasi Aliran dan Perpindahan Panas Pada Susunan *Tube Aligned*

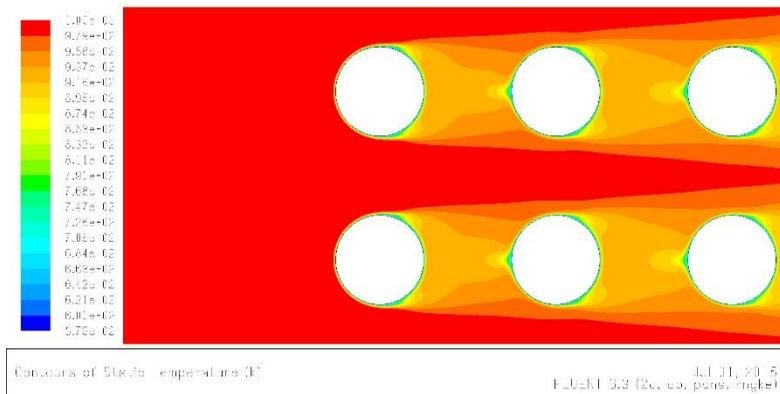
Pada Geometri percobaan yang dianalisa dalam penelitian ini terdapat dua *Tube* bank dengan susunan *Tube aligned*. Pada pembahasan karakteristik aliran dan perpindahan panas susunan *Tube Aligned* ini hanya akan dibahas pada *Secondary Superheater* dengan asumsi *Boilerbank Tube* tipe *Aligned* memiliki karakteristik dan trend grafik yang sama walaupun memiliki nilai yang berbeda.



**Gambar 4.10** Visualisasi Kontur kecepatan susunan *Tube Banks Aligned* pada *Secondary Superheater*.

Gambar 4.10 merupakan kontur aliran yang terjadi ketika suatu aliran melewati *Secondary Superheater* dimana *Tube* tersusun secara *aligned*. Terlihat bahwa aliran *uniform* dengan spektrum warna biru muda mengalir melewati *Tube* bank, pada

celah antar *Tube* atas dan bawah memiliki spektrum warna oranye hal tersebut menunjukkan bahwa pada celah *Transversal* antar *Tube* terjadi penambahan kecepatan. Dengan *massflow* yang sama ketika suatu aliran melewati celah dengan luasan yang semakin berkurang maka akan terjadi peningkatan kecepatan aliran. Namun pada *Tube* kedua dan seterusnya aliran yang melewati bagian depan *Tube* tidak terkena *main flow* melainkan terkena *wake* dari *Tube* sebelumnya sehingga aliran yang melewati *Tube* bagian depan merupakan aliran dengan kecepatan rendah.

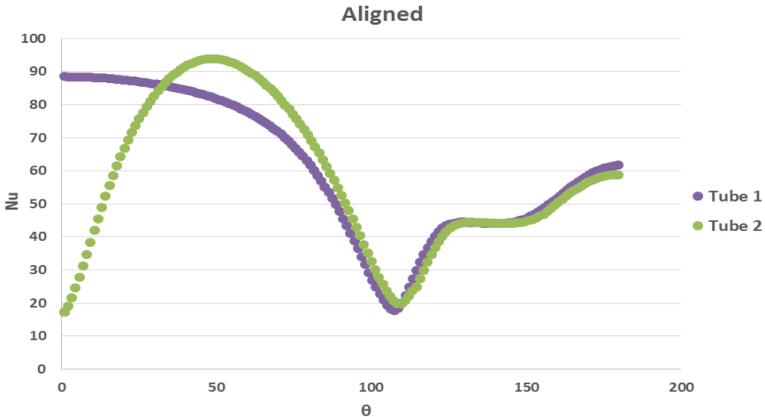


**Gambar 4.11** Visualisasi Kontur temperatur susunan *Tube Banks Aligned* pada *Secondary Superheater*.

Pada gambar 4.11 ditunjukkan kontur temperatur aliran melewati susunan *Tube Aligned* pada *Secondary Superheater*. Terlihat bahwa *Tube* pertama dilewati oleh aliran *mainflow* dengan temperatur yang masih tinggi, namun pada *Tube* kedua dan seterusnya pada susunan *Tube Aligned Secondary Superheater* ini terkena aliran dengan temperatur lebih rendah karena ada penyerapan panas dari *Tube* sebelumnya.

Untuk lebih detailnya mengenai perpindahan panas yang terjadi pada susunan *Tube Aligned Secondary Superheater* ditunjukkan pada gambar 4.12. terlihat pada gambar distribusi *Nusselt Number* lokal pada *Tube* pertama dimana pada *Tube*

tersebut aliran yang melewatinya masih merupakan *mainflow* dan *Tube* kedua dimana aliran yang melewatinya sudah terpengaruh oleh *Tube* sebelumnya.

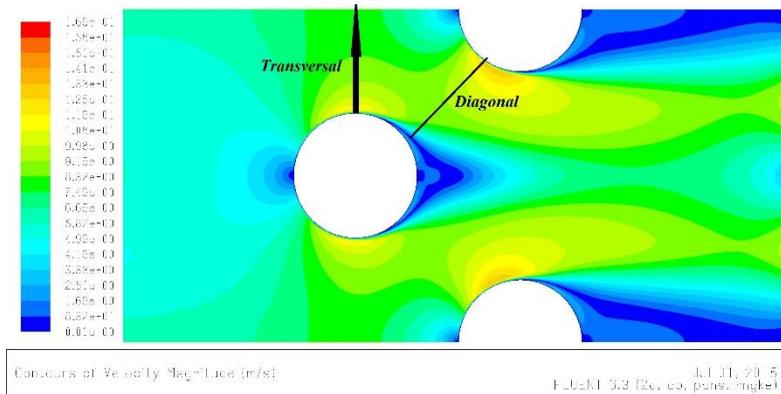


**Gambar 4.12** Distribusi bilangan Nusselt lokal susunan *Tube Banks Aligned* pada *Secondary Superheater*. (1) *Tube* pertama (2) *Tube* kedua

Terlihat pada Gambar 4.12 diatas grafik Nusselt lokal untuk *Tube* pertama pada titik stagnasi sudut  $0^\circ$  memiliki nilai bilangan Nusselt tertinggi dimana pada *Tube* pertama tersebut aliran yang melewatinya merupakan aliran *mainflow* dengan temperatur tinggi. Seiring bertambahnya sudut *boundary layer* semakin berkembang dan aliran pada permukaan *Tube* mengalami perlambatan disebabkan oleh tegangan geser dari *Tube*. Hal tersebut menyebabkan nilai Nusselt *Number* turun dan mencapai nilai minimum saat *boundary layer* kecepatan mencapai nilai minimum, nilai bilangan Nusselt naik kembali setelah terjadi separasi. Separasi terjadi setelah *boundary layer* kecepatan mencapai nilai minimum, setelah mencapai titik minimum terjadi *backflow* dan terjadi adanya olakan. Hal tersebut yang menyebabkan nilai bilangan Nusselt naik kembali sampai pada sudut  $180^\circ$ .

#### 4.2.2 Visualisasi Aliran dan Perpindahan Panas Pada Susunan *Tube Staggered*

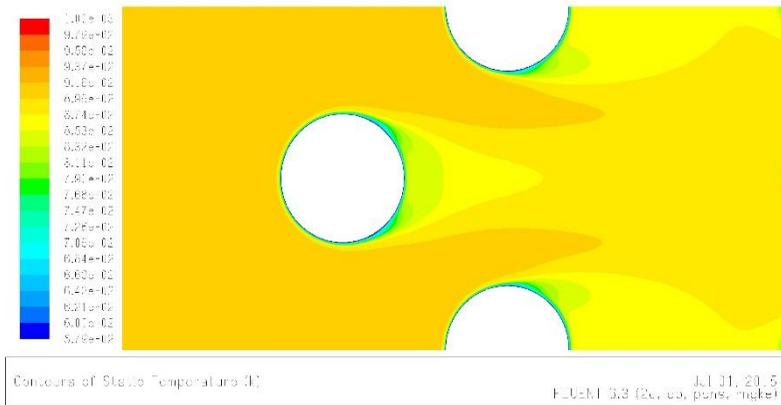
Pada pembahasan ini akan dibahas fenomena aliran dan perpindahan panas yang terjadi pada susunan *Tube Staggered*. Pada geometri penelitian yang akan dianalisa adalah pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* dimana domain yang digunakan adalah pada kondisi *existing*.



**Gambar 4.13** Visualisasi Kontur kecepatan susunan *Tube Banks Staggered* pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered*

Gambar 4.13 merupakan kontur aliran yang terbentuk oleh susunan *Tube Staggered* pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered*. Terlihat pada gambar bahwa terjadi percepatan aliran pada jarak *Transversal* antar *Tube* depan, namun spektrum warna menunjukkan bahwa pada jarak *diagonal* antar *Tube* depan dan belakang juga memiliki warna hijau. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada susunan *Tube Staggered* peningkatan kecepatan terjadi pada dua tempat yaitu pada jarak *Transversal* dan *diagonal Tube*. Pada *Tube* kedua aliran yang melewatinya memiliki kecepatan yang lebih tinggi dari pada aliran yang melewati *Tube* pertama. Hal tersebut dikarenakan sebelum melewati *Tube* kedua aliran telah mengalami percepatan pada jarak *Transversal Tube* pertama.

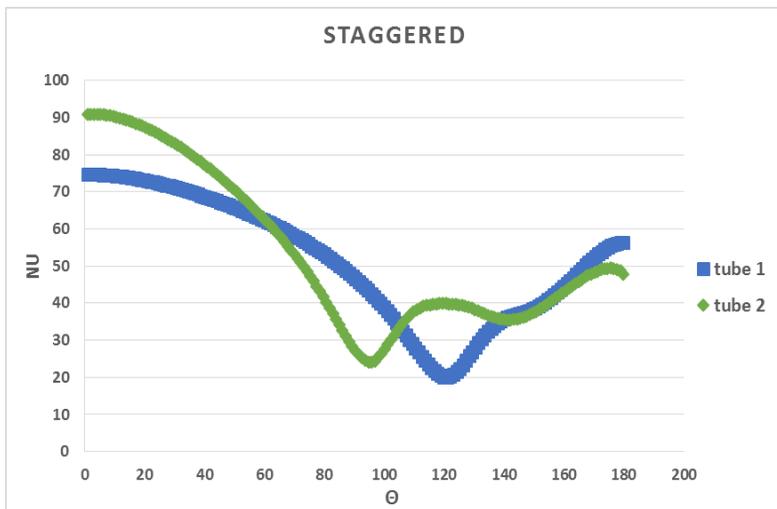
Gambar 4.14 menunjukkan kontur temperatur pada susunan *Tube Staggered Boilerbank Tube* tipe *Staggered*. Terlihat bahwa aliran *mainflow* dengan temperatur tinggi melewati *Tube* pertama dan kedua. Berbeda dengan susunan *Tube aligned*, aliran yang melewati *Tube* kedua tidak terkena pengaruh *wake* dari *Tube* pertama. Hal tersebut disebabkan karena susunan *Tube Staggered* yang mengondisikan *Tube-Tube* pada *Tube*bank agar tidak terkena dampak secara langsung dari *Tube* sebelumnya.



**Gambar 4.14** Visualisasi Kontur temperatur susunan *Tube Banks Staggered* pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered*

Distribusi perpindahan panas secara konveksi yang ditunjukkan dengan besarnya *Nusselt Number* pada permukaan *Tube* disajikan pada gambar 4.15 dibawah ini. Gambar 4.15 menunjukkan grafik bilangan *Nusselt* lokal yang terjadi pada susunan *Tube Staggered Boilerbank Tube* tipe *Staggered*. Terlihat pada gambar bahwa *Tube* 1 memiliki trend grafik yang mirip dengan *Tube* pertama pada susunan *Tube Aligned Secondary Superheater*. Hal tersebut disebabkan *Tube* pertama pada susunan *Tube Aligned* maupun *Staggered* aliran yang melewatinya memiliki karakteristik yang sama yaitu aliran *mainflow* yang melewatinya tidak terdapat pengaruh atau pengganggu. Namun

pada *Tube* kedua susunan *Tube Staggered* memiliki trend grafik yang berbeda dari susunan *Tube aligned*. Pada susunan *Tube Staggered*, pada  $0^\circ$  *Tube* kedua memiliki nilai bilangan Nusselt yang lebih tinggi dari *Tube* pertama, hal tersebut dikarenakan pada *Tube* kedua aliran yang melewatinya merupakan aliran dengan temperatur yang sama dengan aliran yang melewati *Tube* pertama. Namun dari segi kecepatan aliran melewati *Tube* kedua memiliki kecepatan yang lebih besar dari pada aliran yang melewati *Tube* pertama. Hal tersebut yang menyebabkan nilai bilangan Nusselt pada *Tube* kedua lebih tinggi dari pada *Tube* pertama.



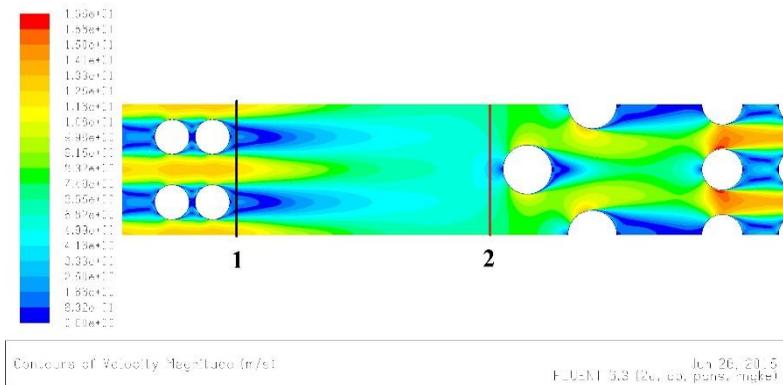
**Gambar 4.15** Distribusi bilangan Nusselt lokal susunan *Tube Banks Staggered* pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered*. (1) *Tube* pertama (2) *Tube* kedua

#### 4.3 Analisa Visualisasi Aliran dan perpindahan Panas Pada Daerah Transisi dalam Numerik

Pada Sub-bab ini akan dibahas fenomena aliran dan perpindahan panas yang terjadi pada daerah transisi antara *Secondary Superheater* dan *Boilerbank Tube*. Seperti yang telah

dibahas di sub-bab sebelumnya bahwa perubahan fenomena aliran dan fenomena perubahan perpindahan panas mengalami perubahan yang paling signifikan adalah pada jarak transisi untuk beberapa variasi yang dilakukan. Untuk fenomena aliran yang akan dibahas adalah mengenai kecepatan aliran mengenai *Tube Boilerbank Tube* tipe *Staggered* serta analisa terhadap vektor kecepataannya. Untuk fenomena perpindahan panas yang akan dibahas adalah mengenai besar nilai *Nusselt Number* lokal maupun rata pada boilerbank *Tube* tipe *Staggered*.

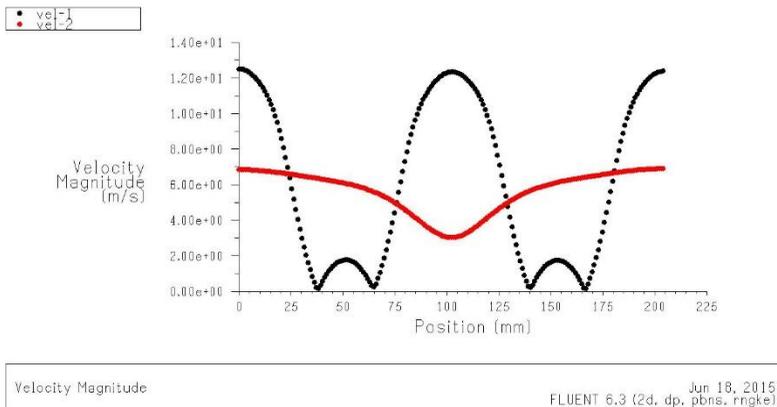
### 4.3.1 Visualisasi Aliran dan Perpindahan Panas Pada Daerah Transisi Kondisi *existing*



**Gambar 4.16** Visualisasi kontur aliran pada area transisi kondisi *existing*

Gambar 4.16 merupakan visualisasi kontur aliran pada area transisi kondisi *existing*. Berdasarkan Gambar 4.16 diatas bahwa pengaruh *wake* dari *Tube-Tube* pada *Secondary Superheater* sudah tidak terlalu terlihat dan spektrum warna kontur aliran kembali uniform. Hal tersebut diperkuat oleh Gambar 4.17 dimana grafik berwarna hitam merupakan grafik yang menunjukkan kecepatan sepanjang garis 1 (hitam) yang merupakan kecepatan aliran keluar dari *Secondary Superheater* dan grafik berwarna merah merupakan

grafik yang menunjukkan kecepatan sepanjang garis 2 (merah) yang merupakan kecepatan aliran mengenai *Boilerbank Tube*. Kecepatan aliran fluida keluar dari *Secondary Superheater* memiliki kecepatan yang tinggi pada celah antar *Tube*, sedangkan aliran dibelakang *Tube* memiliki kecepatan yang rendah. Garis merah menunjukkan bahwa aliran fluida mengenai *Tube* pertama pada *Boilerbank Tube* mengalami penurunan kecepatan. Aliran fluida keluar dari *Secondary Superheater* pada posisi sumbu Y = 115 mm dan X = 458.5 memiliki kecepatan 12 m/s. Setelah melalui jarak transisi, aliran pada celah antar *Tube* yang memiliki kecepatan lebih tinggi mulai bercampur dengan aliran dibelakang *Tube* yang memiliki kecepatan lebih rendah. Sehingga kecepatan aliran mengenai *Tube* pertama *Boilerbank Tube* pada posisi sumbu Y = 115 mm dan X = 856.5 memiliki kecepatan yang rendah yaitu 3 m/s.



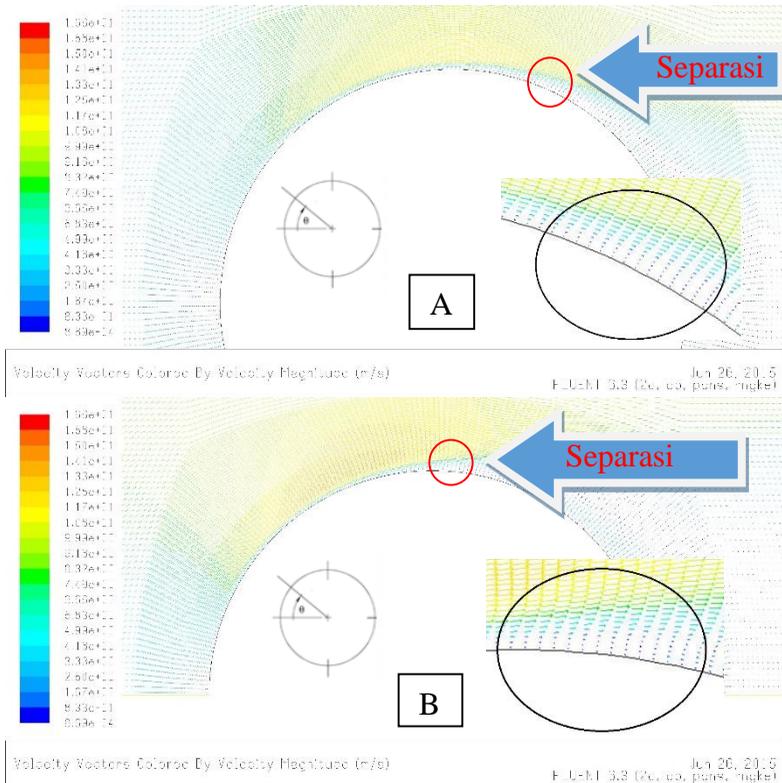
**Gambar 4.17** Visualisasi kontur aliran pada area transisi kondisi *existing*

Pada garis merah, sebelum posisi 60 mm dan sesudah 155 mm memiliki kecepatan yang lebih tinggi dari kecepatan aliran mengenai *Tube* pertama dari *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* pada posisi 115 mm. Hal tersebut disebabkan karena aliran pada 2 posisi

tersebut memasuki celah antar *Tube* pertama sebelum kemudian mengenai *Tube* kedua, sehingga terjadi peningkatan kecepatan ketika melewatinya. Selanjutnya akan dibahas mengenai vektor kecepatan dan nilai Nusselt *Number* lokal dan rata-rata *Tube* 1 dan 2 pada *Boilerbank Tube*.

Gambar 4.18 A dan B menunjukkan vektor kecepatan yang terjadi pada *Tube* pertama dan kedua dari *Boilerbank Tube*. Aliran menunjukkan fenomena yang serupa untuk kontur *Tube* bagian *upperside* dan *downside* terlihat dari spektrum warna pada gambar. Aliran fluida yang menumbuk ujung depan *Tube* mengalami perlambatan kecepatan terlihat dari warna pada kontur adalah biru tua. Seiring mengalirnya fluida di sepanjang kontur pada kontur dengan sudut  $50^{\circ} \leq \theta \leq 100^{\circ}$ , terjadi percepatan aliran yang ditunjukkan oleh distribusi warna merah. Pada sudut  $100^{\circ} \leq \theta \leq 180^{\circ}$  aliran kembali mengalami pengurangan kecepatan lokal yang ditunjukkan oleh distribusi aliran berwarna biru.

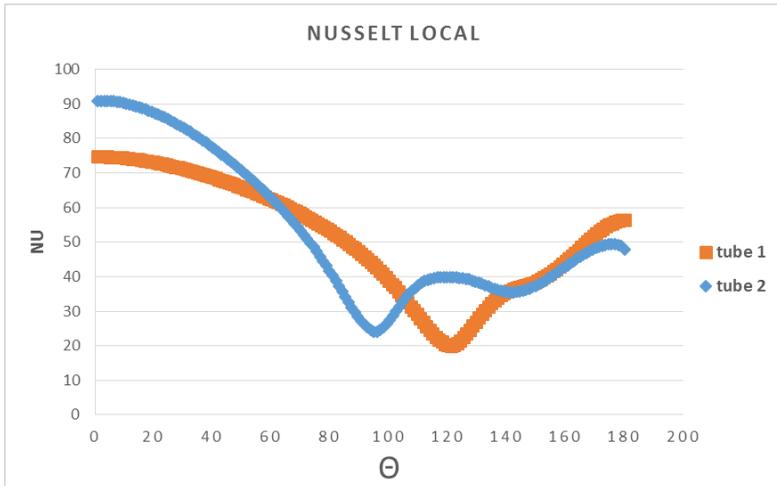
Terjadinya perlambatan kecepatan aliran pada ujung depan *Tube* karena aliran menumbuk tepat pada titik stagnasi dan pada titik ini kecepatan aliran bernilai 0 m/s. pada titik stagnasi kecepatan bernilai minimum dan tekanan bernilai maksimum. Kontur *Tube* yang berupa silinder sirkuler memaksa aliran untuk mengalir mengikuti kontur dinding *Tube* dan berakibat pada meningkatnya nilai kecepatan lokal aliran. Pada susunan *Tube Banks* di baris pertama, aliran yang mengalir dari *upper side tube* memasuki celah yang dibentuk antara kedua *Tube* baris pertama. Aliran seolah-olah mengalami fenomena konvergensi seperti pada nozzle, sehingga aliran utama (*mainstream*) mengalami percepatan akibat perubahan luas penampang. Aliran kemudian mengalir menuju daerah *downstream tube* yang merupakan daerah *adverse pressure gradient*. Pada daerah ini aliran tiba-tiba diperlambat akibat adanya perluasan area alir. Aliran tidak mampu melawan tekanan balik dan tegangan geser pada kontur sehingga muncul separasi pada daerah dekat dinding. Pada *Tube* baris pertama separasi terjadi pada sudut  $121^{\circ}$  sedangkan pada *Tube* baris kedua separasi terjadi pada sudut  $97^{\circ}$ .



**Gambar 4.18** Visualisasi vektor kecepatan (A) *Tube 1* dan (B) *Tube 2 Boilerbank Tube* pada kondisi *existing*

Pada model *existing*, distribusi bilangan Nusselt lokal diperoleh dari simulasi numerik ditunjukkan pada gambar 4.19 di atas. Kontur yang dianalisa berupa kontur setengah *Tube* yang berdiameter 76.2 mm. Berdasarkan gambar di atas ditunjukkan trendline grafik untuk *Tube* baris pertama dan kedua. Pada *Tube* pertama nilai Nusselt memiliki trend menurun mulai dari sudut  $0^{\circ}$  hingga sudut  $121^{\circ}$ . Sedangkan pada *Tube* kedua nilai Nusselt

memiliki trend naik pada  $0^{\circ} < x < 10^{\circ}$ , lalu menurun hingga mencapai  $97^{\circ}$ .



**Gambar 4.19** Distribusi bilangan Nusselt lokal pada *Boilerbank Tube tipe Staggered* (1) *Tube* pertama (2) *Tube* kedua

Pada *Tube* 1 Nusselt tertinggi berada pada sudut  $0^{\circ}$ , dimana pada titik tersebut kecepatan aliran nol namun terjadi tumbukan antara aliran fluida dengan dinding *Tube* secara tegak lurus sehingga pada titik tersebut merupakan titik dimana nilai Nusselt Number tertinggi. Seiring aliran bergerak ke arah downstream *boundary layer velocity* terus berkembang, sehingga kecepatan fluida pada dinding *Tube* semakin ke arah downstream semakin berkurang. Hal tersebut menyebabkan nilai bilangan Nusselt menurun hingga pada sudut  $121^{\circ}$ . Pada sudut  $121^{\circ}$  aliran pada dinding *Tube* mencapai nilai minimum dan dimulainya fenomena *backflow* yaitu titik terjadinya separasi aliran. Pada titik separasi tersebut nilai bilangan Nusselt mencapai nilai minimum. Setelah melewati titik separasi, bilangan Nusselt kembali meningkat disebabkan oleh adanya turbulensi aliran di daerah downstream

mengakibatkan munculnya *vortex* yang meningkatkan intensitas *mixing* molekul-molekul fluida.

Pada *Tube 2* bilangan Nusselt memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada *Tube 1*, hal tersebut dikarenakan pada *Tube 2* aliran yang menumbuk *Tube* masih merupakan *main flow* sama seperti aliran yang menumbuk *Tube 1*. Namun sebelum menumbuk *Tube 2* aliran dipercepat oleh celah antara *Tube 1* sehingga pada *Tube 2* aliran memiliki Nusselt awal yang lebih tinggi dibandingkan pada *Tube 1*.

### **4.3.2 Analisa Visualisasi Aliran dan Perpindahan Panas Pada Daerah Transisi model variasi**

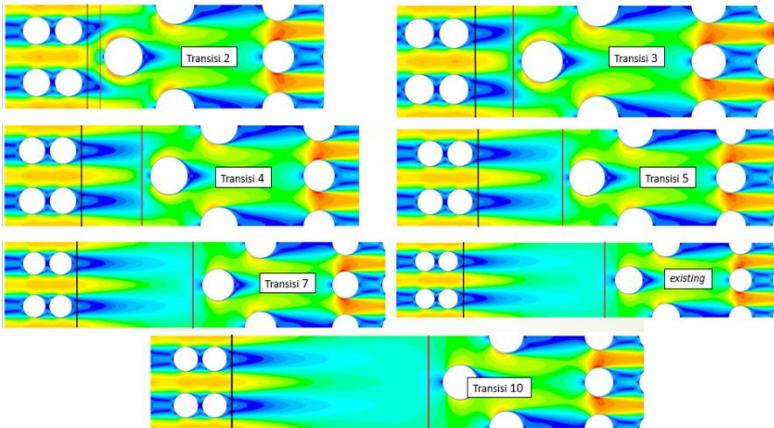
Kecepatan aliran pada setiap variasi memiliki kontur yang berbeda-beda. Namun seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 perbedaan kontur kecepatan paling terlihat pada daerah transisi antara *Secondary Superheater* dan *Boilerbank Tube*. Hal tersebut dikarenakan variasi dari geometri diterapkan pada jarak transisi.

#### **4.3.2.1 Analisa Visualisasi Aliran Pada Daerah Transisi model variasi**

Terlihat pada gambar 4.20 bahwa semakin dekat jarak transisi maka *Tube* pertama dari *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* terkena aliran dengan spektrum warna semakin oranye. Hal tersebut berarti kecepatan aliran yang tepat mengenai *Tube* pertama memiliki kecepatan yang semakin tinggi seiring semakin dekatnya jarak transisi. *Tube* pertama maupun kedua pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* sejajar dengan celah antar *Tube* pada *Secondary Superheater*, dimana pada celah tersebut terjadi kecepatan maksimum pada suatu *Tube* bank. Sehingga semakin dekat jarak transisi semakin dekat *Tube* dengan celah antar *Tube* yang menyebabkan semakin besarnya kecepatan aliran mengenai *Tube*.

Namun aliran yang mengenai *Tube* kedua aliran pada celah antar *Tube* yang memiliki kecepatan lebih tinggi sudah mulai bercampur dengan aliran dibelakang *Tube* yang memiliki kecepatan lebih rendah. Sehingga kenaikan kecepatan mengenai *Tube* kedua

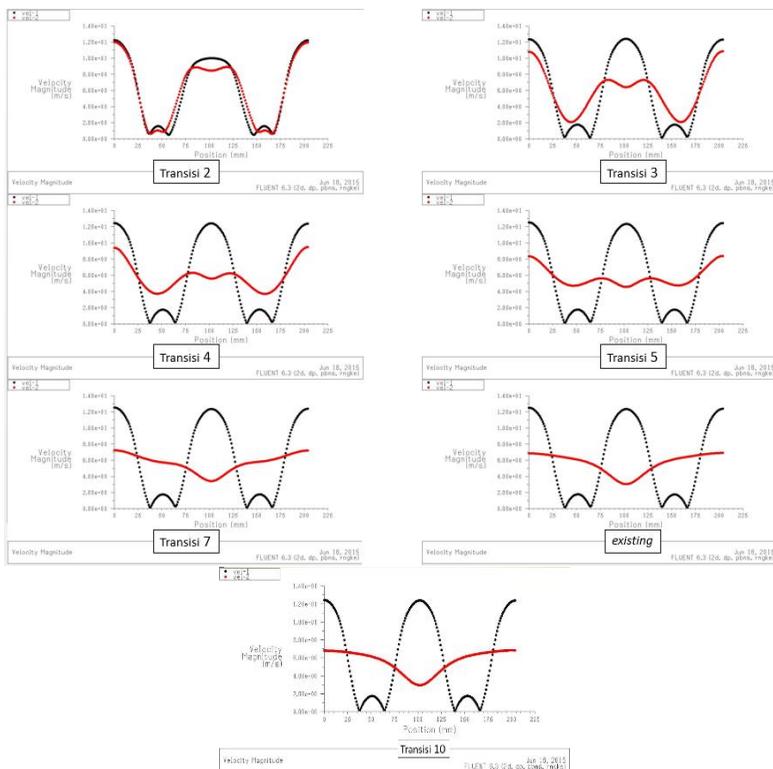
tidak signifikan *Tube* pertama seiring bertambahnya jarak transisi. Setelah melewati *Tube* kedua *Boilerbank Tube* tipe *Staggered*, aliran memiliki spektrum warna dan kontur aliran yang hampir serupa pada setiap variasi. Pada semua variasi diambil dua garis yaitu garis 1 berwarna hitam dan garis 2 berwarna merah. garis 1 merupakan garis dengan posisi yang sama pada semua variasi untuk melihat kecepatan aliran keluar dari *Secondary Superheater*. Garis 2 juga merupakan garis dengan posisi yang sama pada semua variasi untuk melihat kecepatan aliran mengenai *Tube* pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered*.



**Gambar 4.20** Kontur kecepatan daerah transisi pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing* dan 10D

Gambar 4.21 merupakan grafik kecepatan pada garis 1 (hitam) dan garis 2 (merah) pada semua variasi. Terlihat pada Gambar 4.21 grafik berwarna hitam memiliki trend dan nilai yang sama pada semua variasi. Hal tersebut menandakan kecepatan aliran keluar dari *Secondary superheater* memiliki kontur dan nilai yang seragam pada semua variasi. Sedangkan grafik berwarna merah memiliki trend dan nilai yang berbeda-beda setiap variasi. Posisi Y 100 mm merupakan posisi aliran yang mengenai *Tube* pertama, sedangkan posisi Y 0 dan 200 mm merupakan posisi

aliran yang mengenai *Tube* kedua. Terlihat pada grafik merah bahwa semakin dekat jarak transisi maka pada posisi Y 100 mm masih memiliki kecepatan yang masih tinggi ketika mengenai *Tube*. Hal tersebut menandakan bahwa pada variasi yang dilakukan pengaruh paling dominan yang terjadi pada *Tube* adalah dari kecepatan.



**Gambar 4.21** Grafik kecepatan Daerah transisi pada Garis 1 dan 2 Sepanjang sumbu Y pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing* dan 10D

Perbedaan kecepatan aliran mengenai *Tube* pertama dan kedua memiliki perbedaan pada semua variasi. Pada aliran dengan posisi Y 100 mm dimana aliran tersebut sejajar dengan *Tube* 1

antara variasi 2D hingga 10D memiliki perbedaan kecepatan yang cukup besar. Pada variasi jarak transisi 2D kecepatan pada posisi Y 100 mm memiliki nilai sekitar 9 m/s, pada variasi 3D kecepatan bernilai 7 m/s, terus menurun saat variasi semakin merenggang hingga pada variasi 10D memiliki kecepatan 5 m/s. Pada variasi 7D dan 10D grafik kecepatan mengenai *Tube* memiliki trend dan nilai yang hampir sama, sehingga bisa kita perkirakan bahwa pada jarak transisi 7D dan seterusnya aliran mengenai *Tube* pertama *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* memiliki besar dan karakteristik yang hampir sama.

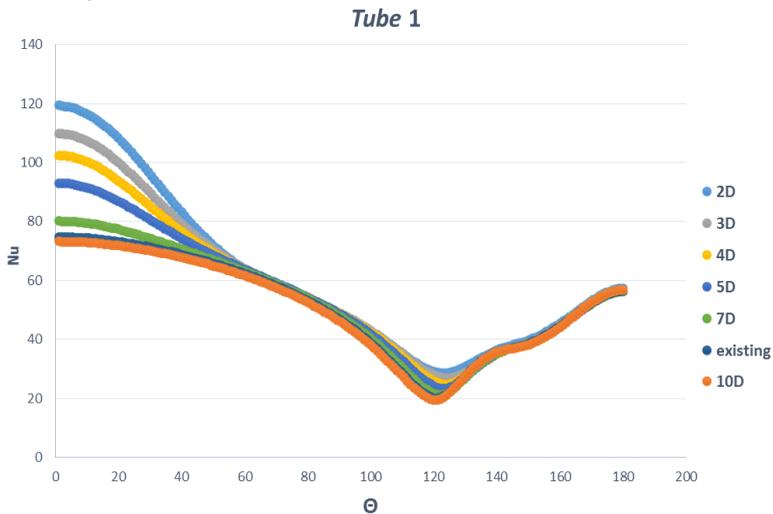
#### 4.3.2.2 Analisa Perpindahan Panas Pada Daerah Transisi model variasi

Pada sub-bab ini, karena perpindahan panas pada suatu *Tube Banks* lebih dominan pada konveksi maka analisa akan dilakukan terhadap besar nilai Nusselt *Number* dari *Tube* pertama dan kedua dari *Boilerbank Tube* tipe *Staggered*. Distribusi bilangan Nusselt lokal yang diperoleh dari simulasi numerik ditunjukkan pada gambar 4.22 yang berupa trend grafik *Tube* pertama pada masing-masing variasi.

Grafik bilangan Nusselt *Number* lokal pada setiap variasi menunjukkan trend yang sama. Bilangan Nusselt mengalami penurunan pada rentang sudut  $0^\circ$  hingga sudut  $121^\circ$ . Pada sudut  $121^\circ$  nilai bilangan Nusselt mencapai nilai minimum dimana pada titik tersebut dimulainya separasi aliran. Separasi aliran terjadi ketika aliran yang datang sudah tidak mampu lagi melawan *adverse pressure gradient* dan *friction effect* pada kontur *Tube*, akibatnya adalah terjadi pengurangan momentum aliran dan aliran seakan-akan terlepas dari kontur. Setelah mengalami separasi aliran menjadi lebih acak sehingga turbulensi aliran meningkat. Pada saat Turbulensi suatu aliran meningkat maka nilai bilangan Nusselt ikut meningkat pula, Maka dari itu trend bilangan Nusselt kembali naik setelah sudut  $121^\circ$ , setelah terjadinya separasi aliran.

Namun pada sudut  $0^\circ$  hingga  $50^\circ$  terlihat bahwa pada jarak transisi 2D memiliki nilai yang paling tinggi. Pada jarak transisi 3D

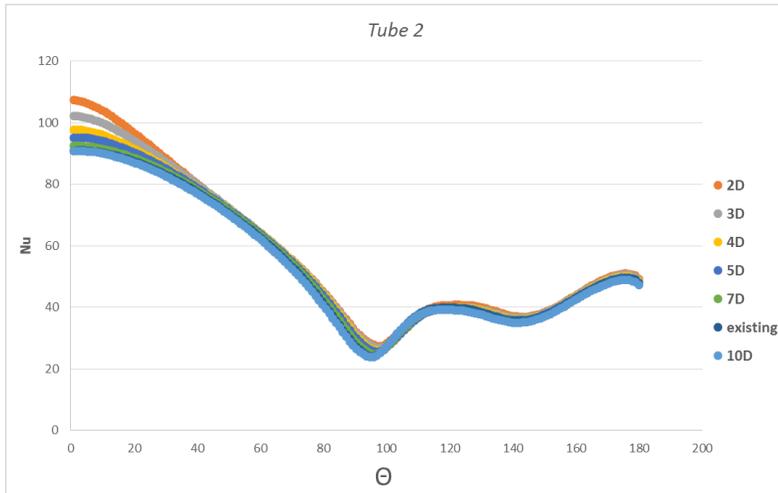
Nusselt pada sudut  $0^\circ$  hingga  $50^\circ$  lebih rendah dan semakin rendah seiring bertambahnya jarak transisi. Pada jarak transisi  $7D$ , *existing*, dan  $10$  nilai bilangan Nusselt memiliki trend dan nilai yang hampir berimpit. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengaruh kontur aliran yang ditimbulkan oleh celah antar *Tube* pada *Secondary Superheater* hanya berpengaruh hingga sudut  $50^\circ$  pada *Tube* pertama. Setelah  $50^\circ$  aliran memiliki kontur dan karakteristik yang sama, dimana setelah sudut tersebut aliran dengan kecepatan yang lebih tinggi efek dari celah antar *Tube* sudah bercampur dengan aliran dengan kecepatan rendah efek *wake* dari *Tube* pada *secondary Superheater*.



**Gambar 4.22** Grafik Nusselt Number lokal *Tube 1* Boilerbank *Tube* tipe *Staggered* pada variasi jarak transisi  $2D$ ,  $3D$ ,  $4D$ ,  $5D$ ,  $7D$ , *existing*, dan  $10D$ .

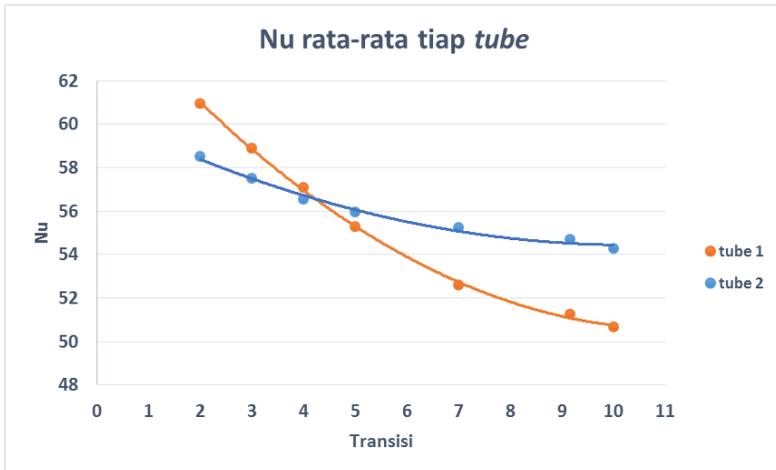
Seperti grafik pada *Tube* pertama, terlihat pada Gambar 4.23 pada *Tube* kedua grafik Nusselt Number lokal memiliki trend yang sama. Bilangan Nusselt mengalami penurunan hingga mencapai sudut  $97^\circ$  dimana pada sudut tersebut aliran mengalami separasi. Pada *Tube* kedua ini perbedaan nilai bilangan Nusselt

terjadi pada range  $0^\circ$  hingga  $45^\circ$ . Pada rentang sudut tersebut *Tube* masih dipengaruhi oleh aliran celah dari *Secondary Superheater* namun setelah sudut  $45^\circ$  aliran memiliki kontur yang seragam pada semua variasi.



**Gambar 4.23** Grafik Nusselt Number lokal *Tube 2 Boilerbank Tube* tipe *Staggered* pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing*, dan 10D

Kecepatan aliran memiliki kontur yang sama setelah melewati celah antara *Tube* pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* disebabkan karena tidak adanya perubahan geometri dan ukuran pada *domain*. Mengacu pada hukum kekekalan massa bahwa massa aliran masuk sama dengan massa aliran keluar dari system, dengan luas penampang yang tidak berubah maka kecepatan yang mengalir pada penampang tersebut akan memiliki nilai yang sama. Sehingga dapat dilihat bahwa dengan ukuran celah antar *Tube* yang sama baik pada *Boilerbank Tube* tipe *Staggered* maupun *Aligned* maka kecepatan aliran melintasi celah tersebut akan memiliki nilai yang sama pula pada setiap variasi.



**Gambar 4.24** Grafik Nusselt rata-rata *Tube 1* dan *Tube 2* pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing*, dan 10D

Dapat dilihat pada Gambar 4.24 mengenai nilai bilangan Nusselt rata-rata pada *Tube 1* maupun *Tube 2* bahwa nilai Nusselt rata-rata meningkat seiring dengan semakin dekatnya jarak transisi. Pada *Tube 1* nilai bilangan Nusselt tertinggi berada pada jarak transisi 2D dengan nilai 60.95. Pada jarak transisi 3D nilai bilangan Nusselt rata-rata turun menjadi 58.8 dan terus menurun seiring bertambahnya jarak transisi. Pada kondisi *existing* nilai bilangan Nusselt sebesar 51.2 dan pada jarak transisi 10D mengalami penurunan yang kecil yaitu memiliki nilai sebesar 50.67. Terlihat pada grafik *Tube 1* memiliki trend yang semakin landai, hal tersebut menandakan bahwa penurunan nilai bilangan Nusselt semakin kecil seiring bertambahnya jarak transisi.

Pada grafik *Tube 2* memiliki trend yang sama dengan grafik *Tube 1*, dimana nilai bilangan Nusselt semakin kecil seiring semakin besarnya jarak transisi. Nilai bilangan Nusselt tertinggi berada pada jarak transisi 2D dengan nilai 58.48. Pada jarak transisi 3D nilai bilangan Nusselt rata-rata turun menjadi 57.5 dan terus menurun seiring bertambahnya jarak transisi. Pada kondisi *existing* nilai bilangan Nusselt sebesar 54.67 dan pada jarak transisi 10D

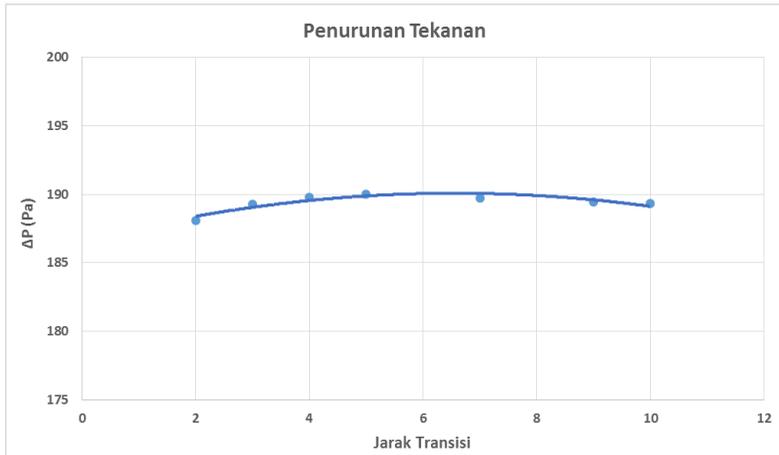
mengalami penurunan yang kecil yaitu memiliki nilai sebesar 54.27. trend pada grafik *Tube 2* memiliki trend yang semakin landai dimana pada jarak transisi kondisi *existing* dan 10D perubahan yang terjadi sudah sangat kecil.

Perubahan nilai bilangan Nusselt pada *Boilerbank Tube* ini lebih dominan dipengaruhi oleh kecepatan aliran yang mengenainya, efek dari susunan geometri dari *Secondary Superheater*. Hal tersebut ditunjukkan pada pembahasan sebelumnya bahwa semakin dekat jarak transisi maka kecepatan aliran mengenai *Tube* akan semakin tinggi. Ketika kecepatan aliran tinggi maka nilai bilangan reynold akan semakin tinggi pula, dan semakin tinggi nilai bilangan reynold maka nilai bilangan Nusselt akan semakin tinggi pula. perbedaan nilai bilangan Nusselt seluruh variasi pada *Tube 2* tidak sebesar pada *Tube 1* hal tersebut dikarenakan pada seluruh variasi perbedaan kecepatan aliran mengenai *Tube 1* lebih besar dibandingkan perbedaan kecepatan aliran mengenai *Tube 2*. Nilai bilangan Nusselt pada jarak transisi 2D dibandingkan kondisi *existing* meningkat 18.98 % pada *Tube 1* dan 6.97 % pada *Tube 2*.

#### **4.4 Penurunan Tekanan (Pressure Drop) pada *Tube Banks* Model *Existing* dan Model Variasi**

Dengan adanya perubahan geometri pada suatu *Tube Banks* dapat mempengaruhi penurunan tekanan yang terjadi. Seperti yang kita ketahui bahwa penurunan tekanan pada suatu *Tube Banks* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jumlah *Tube*, massa jenis fluida yang mengalir, kecepatan fluida maksimum yang melintasi *Tube*, serta faktor koreksi dan faktor gesekan yang keduanya dipengaruhi oleh jarak *longitudinal*, *Transversal*, dan *diagonal* dari *Tubes*. Kerugian penurunan tekanan pada penelitian ini dihitung pada sisi *inlet* dan sisi *outlet* dari geometri sistem dimana sisi *inlet* fluida memiliki tekanan default yang diatur pada FLUENT yaitu sebesar 101.325 Pa dan tekanan pada sisi *outlet* merupakan hasil dari iterasi FLUENT.

Penurunan Tekanan untuk masing-masing model variasi dari geometri ditunjukkan pada gambar 4.17 berikut.

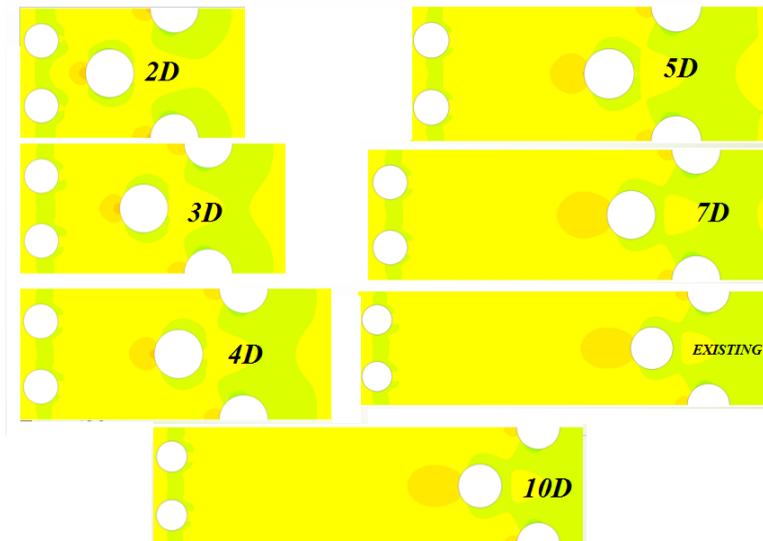


**Gambar 4.25** Grafik penurunan tekan pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing*, dan 10D

Kecepatan fluida yang mengalir sebesar 5.46 m/s terjadi penurunan tekanan yang berbeda-beda pada masing-masing jarak transisi L/D antara *Secondary Superheater* dan *Boilerbank Tube*. Terlihat pada grafik diatas bahwa penurunan tekanan pada 2D adalah sebesar 188.08 Pa, lalu pada 3D terjadi penurunan tekanan yang lebih besar hingga pada sekitar 7D terjadi penurunan tekanan paling besar dan pada jarak *existing* dan 10D memiliki nilai penurunan tekana yang relatif sama.

Pada gambar 4.26 terlihat kontur tekanan dari seluruh variasi jarak transisi. Spektrum warna kuning dan oranye menunjukkan nilai tekanan yang lebih tinggi, sedangkan spektrum warna hijau menunjukkan nilai tekaanan yang lebih rendah. Berdasarkan hasil simulasi dan fenomena lairan serta tekanan yang terjadi, terlihat bahwa kontur tekanan *outlet* dari *Secondary Superheater* memiliki karakteristik yang sama. Namun kontur tekanan setelah melewati *Boilerbank Tube* susunan satgged

terlihat bahwa pada jarak transisi 2D memiliki area tekanan berwarna hijau yang masih sedikit. Semakin jauh jarak transisi maka area kontur tekanan berwarna hijau semakin banyak. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin jauh jarak transisi maka tekanan aliran setelah melewati *Boilerbank Tube* susunan *Staggered* semakin rendah. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak transisi maka semakin turun tekanan aliran. Namun dari grafik terlihat perbedaan penurunan tekanan hanya berkisar antara 2 Pa, sehingga dapat disimpulkan bahwa Penurunan Tekanan yang terjadi pada seluruh variasi menunjukkan nilai yang relatif sama.



**Gambar 4.26** Kontur tekanan daerah transisi pada variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, *existing* dan 10D

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pembahasan tentang pengaruh jarak transisi yang telah dibahas diatas maka dapat disimpulkan bahwa pengaruh variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, existing dan 10D memiliki pengaruh terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas, diantaranya:

1. Jarak Transisi tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kontur aliran dan perpindahan panas terhadap domain secara overall. Namun memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas yang terjadi pada Boilerbank Tube susunan Staggered.
2. Susunan tube bank Staggered memiliki nilai Nusselt Number lokal dan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan susunan tube bank Aligned.
3. Kecepatan aliran inlet mengenai Boilerbank tube susunan Staggered paling tinggi pada jarak transisi 2 yaitu sebesar 8.94 m/s, kemudian jarak transisi 3 sebesar 7.31 m/s, jarak transisi 4 sebesar 6.3 m/s, jarak transisi 5 sebesar 5.64 m/s, jarak transisi 7 sebesar 4.72 m/s, dan jarak transisi 8 dan 10 dengan kecepatan sama sebesar 4.5 m/s.
4. Tube pertama dan kedua Boilerbank tube susunan Staggered pada jarak transisi 2 memiliki peningkatan Nusselt Number sebesar 18.98 % dan 6.97% dari kondisi existing
5. Penurunan Tekanan yang terjadi pada seluruh variasi menunjukkan nilai yang relatif sama.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat digunakan untuk penelian selanjutnya berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh variasi jarak transisi 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, existing dan 10D adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya data lapangan yang lebih akurat agar simulasi bisa mendekati hasil lapangan yang sebenarnya.
2. Perlu adanya perhitungan tentang efek variasi terhadap perpindahan panas secara radiasi, mengingat efek perpindahan panas secara konveksi tidak memiliki efek yang signifikan.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi diameter tube terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas.

## DAFTAR PUSTAKA

- .....**Fluent 6.3 User's Guide**. Diakses Januari 2015.  
<[http://aerojet.engr.ucdavis.edu/fluenthelp/html/ug/main\\_pre.htm](http://aerojet.engr.ucdavis.edu/fluenthelp/html/ug/main_pre.htm)>
- 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.
- 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.
- Jagadeesh, P. dan Murali,K. 2005. *Application of Low-Re Turbulence Models for Flow Simulations Past Underwater Vehicle Hull Forms*. Journal of Naval Architecture and Marine Engineering

Nurul Komari dan Prabowo. 2014. **Studi Numerik Pengaruh Penambahan Rectangular Obstacle Terhadap Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas pada Staggered Tube Banks dengan  $l/D = 0,2$** . Jurnal Teknik POMITS Volume 2(1), ISSN: 2337-3539

## LAMPIRAN

### 1. Tabel Validasi

Tabel 1. Validasi *Secondary Superheater*

<b>tube</b>	<b>Nu</b>	<b>e</b>
exisitng	53.14872	-0.02247
1300	54.22117	-0.04311
1100	54.75373	-0.05335
500	55.90314	-0.07546

Tabel 2. Validasi *Boilerbank Tube* susunan *Staggered*

<b>tube</b>	<b>Nu</b>	<b>e</b>
exisitng	52.9516	-0.04188
1300	53.18768	-0.04653
1100	53.98275	-0.06217
500	52.55365	-0.03405

Tabel 3. Validasi *Boilerbank Tube* susunan *Aligned*

<b>tube</b>	<b>Nu</b>	<b>e</b>
exisitng	74.5947	0.00268
1300	74.5884	0.00276
1100	76.4143	-0.0217
500	77.6964	-0.0388

## 2. Data Proses

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 <sup>2</sup> 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
Enthalphy						
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
	Q	kJ/H	40,143,566	62,219,927	86,257,877	94,612,123
2nd Superheater	Q	W	11,151,000	17,283,327	23,960,541	26,281,166

Gambar 4. Data Proses *Superheater*

Item	Symbol	Units	50%	75%	100%	MCR
Drum to Drum						
Mass flow	m	kg/H	93,090	139,290	189,040	207,410
	m	kg/s	25.86	38.69	52.51	57.61
Pressure	P	kg/cm <sup>2</sup> g	89.60	91.60	94.60	96.00
	P	bar	87.87	89.83	92.77	94.14
Temperature						
Inlet	T	K	452	471	487	493
Outlet	T	K	575	577	579	580
Middle	T	K	514	524	533	537
Enthalphy						
Inlet	h	kJ/kg	763	847	918	946
Outlet	h	kJ/kg	2,751	2,748	2,743	2,741
Specific Heat						
Drum to Drum	CP water	kJ/kg-K	5.78	5.79	5.82	5.83
	CP Steam	KJ/kg-K	6.28	6.33	6.40	6.43
	CP	kJ/kg-K	6.03	6.06	6.11	6.13
	CP	J/kg-K	6,030	6,059	6,110	6,132
Heat Absorption						
Drum to Drum	Q	kJ/H	185,100,050	264,789,851	344,975,348	372,278,026
	Q	W	51,416,722	73,552,795	95,826,562	103,410,645

Gambar 5. Data proses *Boilerbank Tube*

## BIODATA PENULIS



Karisma Rizal, lahir di kota Madiun pada tanggal 25 Januari 1995, merupakan anak tunggal bapak Ridwan dan ibu Siti Indiah. Penulis menyelesaikan pendidikan pertama di RA Masyitoh Madiun tahun 2000-2001 dan dilanjutkan menempuh pendidikan tingkat dasar di MI Islamiyah 03 Madiun tahun 2001-2007. Penulis mengambil program percepatan belajar di SMPN 1 Madiun pada tahun 2007-2009 dan SMAN 2 Madiun pada tahun 2009-2011.

Dengan motivasi untuk mencari ilmu yang kuat serta dukungan dari keluarga dan berbagai pihak, penulis berhasil menyelesaikan pendidikan di Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2011-2014.

Selama menempuh pendidikannya di Teknik Mesin ITS, penulis juga aktif dalam mengikuti berbagai macam kegiatan dan organisasi. Pada tahun 2012-2015 penulis aktif sebagai staff divisi kewirausahaan di Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin. Pada tahun 2012-2014 penulis aktif dalam lembaga dakwah jurusan Ash-Shaff dan pada periode jabatan kedua penulis diamanahi sebagai ketua departemen PSDM. Disamping itu penulis juga pernah menjadi anggota dan koordinator dalam berbagai kegiatan kampus. Dalam bidang akademis penulis menjadi grader dan asisten Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa periode 2014-2015.

Penulis berharap dapat mengamalkan dan membagikan ilmu pengetahuan yang selama ini telah didapatkan saat belajar mulai dari jenjang dasra hingga jenjang perguruan tinggi.

Kontak Penulis : [karismarizal@gmail.com](mailto:karismarizal@gmail.com)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*