

Studi Numerik Pengaruh Jarak Transisi Antara *Primary* dan *Secondary Superheater* Terhadap Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas Konveksi

(Studi Kasus pada *Boiler* PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya)

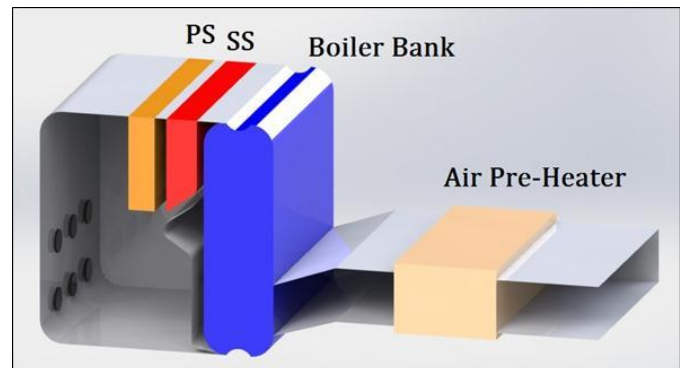
Agus Jonianto dan Prof. Dr.Eng. Ir. Prabowo, M.Eng.
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: prabowo@me.its.ac.id

Abstrak—PT. Indonesia Power merupakan salah satu perusahaan pembangkit listrik di Indonesia. Saat ini, pengoperasian pembangkit unit 1 sampai 4 telah dihentikan karena memiliki efisiensi siklus yang rendah. Penelitian ini dilakukan untuk menambah efisiensi siklus dengan cara meningkatkan efisiensi perpindahan panas pada *boiler*. Salah satu cara tersebut adalah dengan mengubah jarak transisi antara *primary* dan *secondary superheater*. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah berupa proses simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Simulasi dilakukan secara dua dimensi dengan 6 buah variasi jarak transisi yaitu 2D, 3D, 4D, 5D, 7D, dan 8,33D (kondisi *existing*) dengan konstanta D sebagai diameter *tube*. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah jarak transisi antara *primary* dan *secondary superheater* memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap peningkatan kualitas perpindahan panas pada *secondary superheater* secara overall. Prosentase peningkatan kualitas perpindahan panas maksimal hanya sebesar 0,9 % pada jarak transisi 2D bila dibandingkan dengan nilai kondisi *existing*. Aliran fluida akibat variasi jarak transisi antara *primary* dan *secondary superheater* hanya berpengaruh pada *tube* kolom pertama pada *secondary superheater* dengan peningkatan nilai kecepatan *inlet* maksimal sebesar 2,0 % pada jarak transisi 2D bila dibandingkan dengan nilai kondisi *existing*. Peningkatan kecepatan *inlet* pada *secondary superheater* tersebut menyebabkan adanya peningkatan nilai perpindahan panas maksimal sebesar 3,02 % pada jarak transisi 2D bila dibandingkan dengan nilai kondisi *existing*.

Kata Kunci—Tuliskan 4 atau 5 buah kata kunci atau frasa menurut urutan alfabet dipisahkan dengan tanda koma.

I. PENDAHULUAN

SALAH satu perusahaan pembangkit tenaga listrik yang ada di Indonesia adalah PT. Indonesia Power. Perusahaan ini memiliki 4 unit pembangkit listrik yaitu pembangkit listrik unit 1 dan 2 yang memiliki kapasitas 25x2 MW dan pembangkit listrik unit 3 dan 4 yang memiliki kapasitas 50x2 MW. Salah satu masalah yang muncul di perusahaan ini adalah sejak tahun 2012, pengoperasian pembangkit unit 1 sampai 4 telah dihentikan karena memiliki efisiensi siklus yang rendah. Rendahnya efisiensi siklus ini disebabkan karena rendahnya efisiensi boiler. Pada *boiler*, terdapat *tube bundle* penukar panas yang dikelompokkan menjadi 4 jenis yaitu *Primary Superheater*, *Secondary Superheater*, *Boiler Bank*, dan *Wall Tube* seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Skema Boiler PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya.

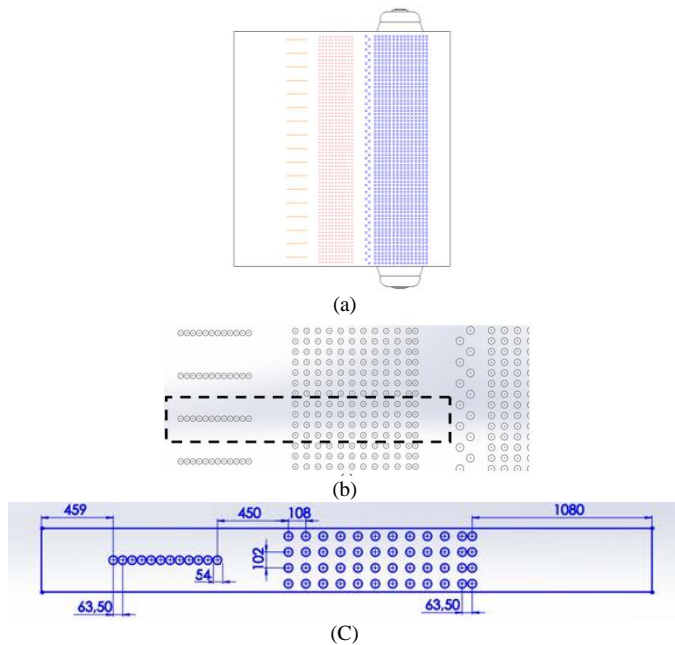
Banyak sekali solusi-solusi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi *boiler*. Salah satu solusi tersebut adalah merubah susunan *tube* penukar panas. Desain susunan *tube* tertentu akan mempengaruhi turbulensi aliran *flue gas* sehingga hal ini dapat mempengaruhi distribusi *Nusselt Number*-nya.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

II. METODOLOGI PENELITIAN

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

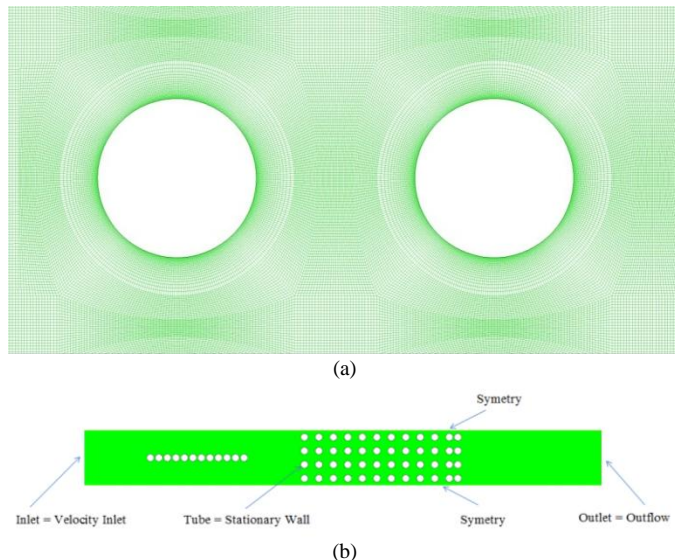
• *Pre-Processing*

Pada tahap *Pre-Processing*, hal pertama yang dilakukan adalah pembuatan geometri model dengan menggunakan *Gambit 2.6*. yang mengacu pada data-data dimensi *boiler existing* yang telah didapat dari PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2 (a) Skema Boiler PT. Indonesia Power, UBP. Perak, Surabaya, (b) Control Volume, (c) Dimensi Domain dalam Satuan mm.

Pada tahap selanjutnya, dilakukan *meshing* dan pemberian *boundary condition* dari geometri model. *Meshing* yang dipilih adalah *Quadrilateral-Map* dan pada sekitar *tube* sengaja dibuat lebih rapat karena pada daerah tersebut terjadi gradasi kondisi yang signifikan, seperti penurunan suhu, kenaikan kecepatan, dan lain-lain. Hasil *meshing* pemberian *boundary condition* tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3 (a) Hasil *Meshing* di Sekitar *Tube* (b) *Boundary Condition*

• *Processing*

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

1. Model 2D

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

2. Solver

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

3. Turbulence Modeling

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

4. Energy Equation

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

5. Materials

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

Tabel 1 *Properties* udara dan *steel* pada suhu 1000 K

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

6. Operating Condition

Besarnya nilai tekanan pada sistem adalah 1 atm.

7. Boundary Condition

Nilai dari kondisi batas kecepatan *inlet* adalah 5,46 m/s dan temperatur luar *tube* pada simulasi kali ini ditunjukkan pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 2 Temperatur *Superheater* pada Pembebanan 100%

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

8. *Control Monitoring and Residual Solution*

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

9. *Initialize Condition*

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

10. *Iteration*

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

• *Post-Processing*

Pada tahap *post-processing*, dilakukan proses analisa data dan pembahasan yang diuraikan pada bab selanjutnya. Untuk mengetahui kualitas hasil simulasi, perlu dilakukan beberapa metode dalam proses validasi. Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kualitas hasil simulasi adalah *Grid Independency*. Pada penelitian kali ini digunakan jumlah *grid* yang paling optimal. Metode *Grid independency* yang dilakukan pada penelitian kali ini yaitu melakukan perbandingan hasil distribusi *Nusselt Number* rata-rata pada *Secondary Superheater* hasil simulasi dengan perhitungan secara teoritis.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. *Validasi dengan Metode Grid Independency*

Tabel 3 Hasil Perbandingan *Nusselt Number* Rata-Rata Simulasi dengan Perhitungan

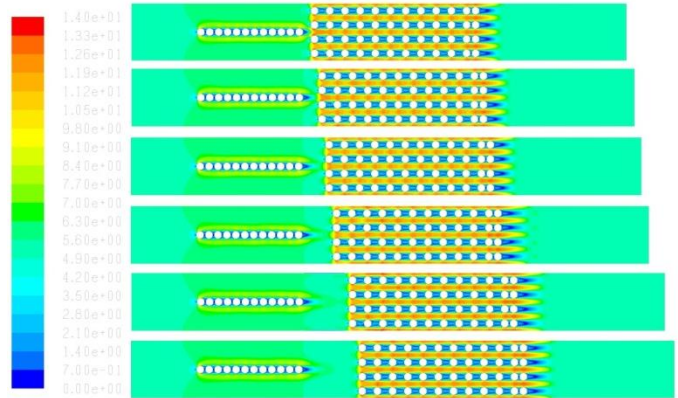
Jumlah <i>Grid</i>	<i>Nu</i> Rata-Rata Simulasi <i>Secondary Superheater</i>	Grimisson <i>Nu</i> Rata-Rata	<i>Error</i> (%)
469.863	48,86	45,56	6,75
812.398	47,86	45,56	4,81
1.200.964	44,22	45,56	3,04
1.961.292	44,27	45,56	2,91

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

diameter tube. Jumlah *grid* yang dipilih pada proses simulasi tersebut adalah 1.961.292 buah karena pada jumlah *grid* ini perbandingan antara proses simulasi dan perhitungan memiliki nilai *error* yang terkecil

B. *Analisa Aliran dan Perpindahan Panas pada Domain secara Overall*

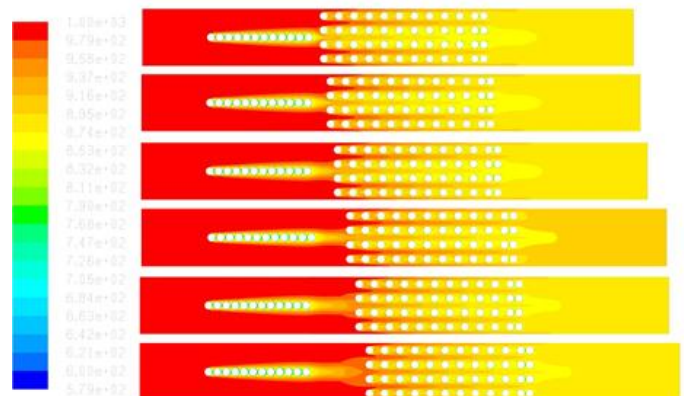
a. *Analisa Aliran pada Domain secara Overall*



Gambar 4 Kontur Kecepatan Aliran pada Domain secara Overall

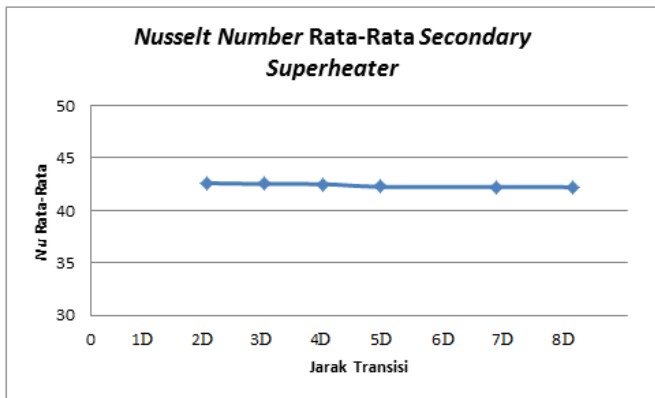
Pada jarak transisi kecil, *vortex* yang berasal dari belakang *tube primary superheater* langsung mengenai jajaran *tube* bagian depan dari *secondary superheater*. Seiring dengan bertambahnya jarak transisi, intensitas *vortex* tersebut semakin hilang. Aliran kembali normal dengan kecepatan yang sama dengan *freestream* saat jarak transisi 8,33D (kondisi *existing*). Hal tersebut menyebabkan adanya kecepatan *inlet* pada *secondary superheater* yang berbeda-beda untuk setiap jarak transisi. Pada jarak transisi 2D sampai 4D, pengaruh turbulensi dari *primary superheater* masih terjadi pada *secondary superheater*. Namun pada jarak transisi 5D sampai 8,33D (kondisi *existing*), pengaruh turbulensi dari *primary superheater* sangat kecil. Pada jarak transisi ini, aliran telah mendekati normal kembali sehingga kecepatan *inlet secondary superheater* hampir sama dengan kecepatan *freestream*. Selain itu, pada gambar tersebut juga terlihat bahwa terjadi kesamaan kontur aliran pada *tube secondary superheater* kolom kedua sampai kolom kedua belas. Hal ini menandakan bahwa pengaruh jarak transisi hanya terdapat pada kolom pertama *tube secondary superheater*.

b. *Analisa Perpindahan Panas pada Domain secara Overall*



Gambar 5 Kontur Temperatur Aliran pada Domain secara Overall

Berdasarkan teori yang ada, nilai temperatur sangat dipengaruhi oleh nilai *Nusselt Number*. Nilai *Nusselt Number* yang besar menandakan bahwa terjadi penyerapan kalor yang besar juga antara *tube* dan *fluegass*. Terlihat bahwa kontur temperatur terlihat hampir sama pada kolom kedua sampai kolom kedua belas untuk seluruh variasi. Hal ini menandakan bahwa pengaruh jarak transisi hanya terdapat pada kolom pertama *tube secondary superheater*. Sehingga, terdapat indikasi bahwa nilai *Nusselt Number* yang berubah hanya terjadi pada *tube* kolom pertama *secondary superheater*.



Gambar 6 Grafik Nilai *Nusselt Number* Rata-Rata pada *Secondary Superheater* terhadap Variasi Jarak Transisi.

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

Tabel 4 Prosentase Peningkatan *Nusselt Number* Rata-Rata pada *Secondary Superheater*

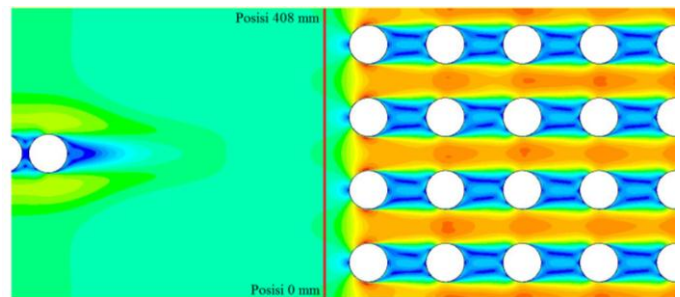
Jarak transisi	2D	3D	4D	5D	7D	8,33D
Peningkatan <i>Nu</i> (%)	0,9	0,7	0,69	0,09	0,07	0

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

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

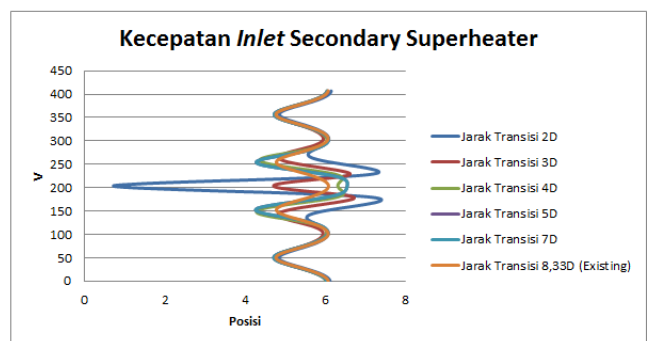
Gambar 4 tersebut juga menunjukkan bahwa kontur kecepatan aliran pada kolom keenam dan kolom kedua belas

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



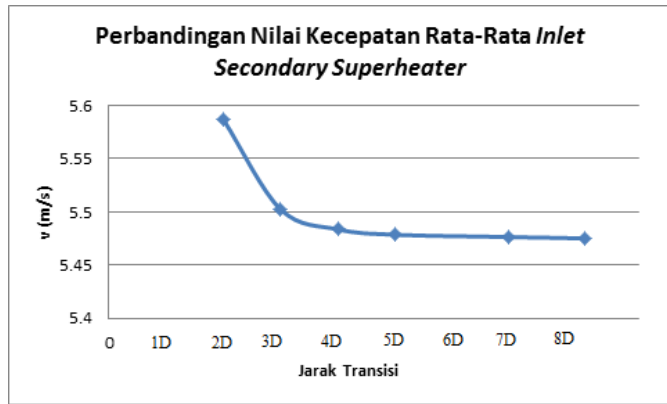
Gambar 7 Iso Surface Inlet *Secondary Superheater* pada posisi 0 mm sampai 408 mm

Gambar 7 menunjukkan posisi *iso surface inlet secondary superheater*. *Iso surface* ini digunakan untuk mengetahui kecepatan *inlet* aliran pada *secondary superheater*. Pada pembahasan ini, perlu dilakukan analisa lebih dalam mengenai kecepatan *inlet secondary superheater* karena *tube* kolom pertama dari *secondary superheater* telah terindikasi memiliki pengaruh dari aliran *primary superheater*. Berikut ini akan ditampilkan grafik nilai kecepatan pada *iso surface inlet secondary superheater* untuk setiap domain yang divariasikan.



Gambar 8 Grafik Perbandingan Kecepatan *Inlet Secondary Superheater* untuk Seluruh Variasi Jarak Transisi

Gambar 8 di atas merupakan grafik perbandingan kecepatan pada *iso surface inlet secondary superheater* untuk seluruh variasi jarak transisi. Pada grafik tersebut, terlihat bahwa nilai kecepatan *inlet* untuk masing-masing variasi memiliki *trend* yang berbeda-beda. Hal ini ditunjukkan dengan grafik nilai kecepatan *inlet* yang tidak menyatu. Agar lebih jelas, berikut ini akan ditampilkan perbandingan nilai kecepatan *inlet* rata-rata dari setiap jarak transisi dari grafik tersebut.



Gambar 9 Grafik Perbandingan Nilai Kecepatan Rata-Rata *Inlet Secondary Superheater*

Gambar 9 tersebut menunjukkan adanya perbedaan nilai kecepatan rata-rata *inlet secondary superheater* terhadap variasi jarak transisi. Pada jarak transisi sebesar $2D$, kecepatan rata-rata *inlet secondary superheater* bernilai maksimum. Namun seiring dengan bertambahnya jarak transisi, nilai kecepatan *inlet* rata-rata semakin menurun.

Tabel 5 Prosentase Peningkatan Kecepatan Rata-Rata *Inlet* pada *Secondary Superheater*

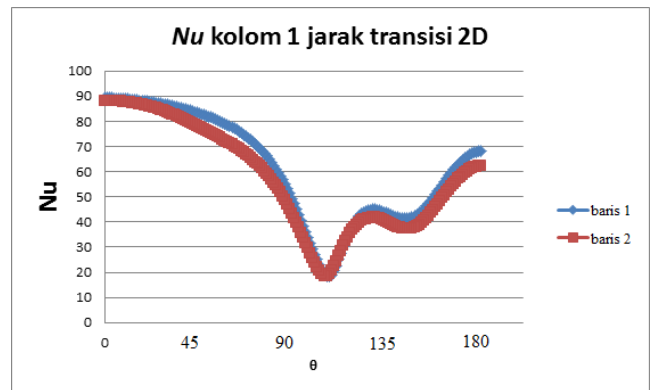
Jarak Transisi (mm)	2D	3D	4D	5D	7D	8,33D
Peningkatan Kecepatan (%)	2.03	0.50	0.15	0.06	0.02	0.00

Tabel 4.3 di atas menunjukkan prosentase peningkatan nilai kecepatan rata-rata *inlet secondary superheater*. Prosentase terbesar dari proses simulasi ini terletak pada jarak transisi $2D$ dengan nilai sebesar 2,03 % dari kecepatan rata-rata *inlet* saat kondisi *existing*. Hal ini terjadi karena pada jarak transisi $2D$, aliran mengalami penyempitan penampang yang paling kecil daripada domain yang lainnya. Sehingga kecepatan rata-rata *inlet* yang dihasilkan sangat besar. Berdasarkan tabel tersebut, domain dengan jarak transisi $2D$ sampai $4D$ diindikasikan memiliki kualitas perpindahan panas yang lebih baik daripada domain yang lainnya.

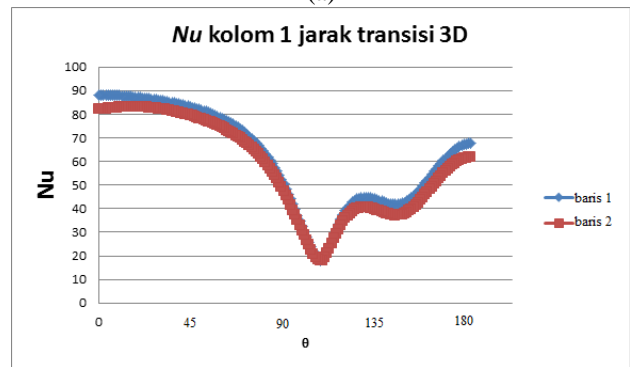
b. Analisa Perpindahan Panas pada Tube Kolom Pertama, Keenam, dan Keduabelas pada Secondary Superheater

Gambar 4 di atas menunjukkan kontur temperatur hasil proses simulasi pada setiap domain yang divariasikan maupun pada domain kondisi *existing*. Pembahasan sebelumnya menyebutkan bahwa terdapat indikasi pada domain dengan variasi jarak transisi $2D$ sampai $4D$ memiliki kualitas perpindahan panas yang lebih baik daripada domain yang lain. Hal ini terjadi karena pada domain tersebut masih dipengaruhi

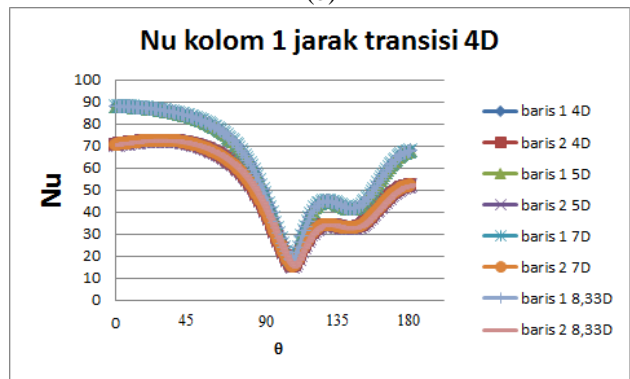
oleh *vortex* yang berasal dari *tube primary superheater*. Selain itu, pada *range* jarak transisi tersebut, terdapat peningkatan nilai *inlet* rata-rata pada *secondary superheater*. Untuk membuktikan indikasi tersebut, perlu adanya data tentang fenomena tersebut.



(a)



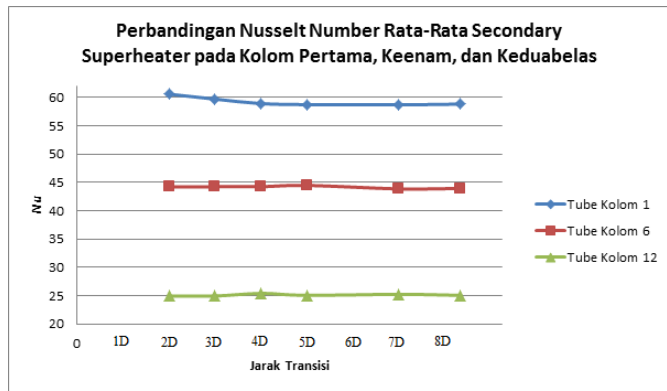
(b)



(c)

Gambar 10 *Nusselt Number* Lokal *Tube Secondary Superheater* Kolom 1, (a) Jarak Transisi $2D$, (a) Jarak Transisi $3D$, (a) Jarak Transisi $4D$, $5D$, $7D$, dan $8,33D$

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



Gambar 11 Grafik Perbandingan Nilai Nusselt Number Rata-Rata Secondary Superheater Kolom Pertama, Keenam, dan Keduabelas terhadap Variasi Jarak Transisi

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

Tabel 6 Prosentase Peningkatan *Nusselt Number* pada *Tube* Kolom Pertama *Secondary Superheater*

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

Tabel 6 di atas menunjukkan prosentase peningkatan *Nusselt Number* pada *tube* kolom pertama *secondary superheater*. Besarnya peningkatan nilai *Nusselt Number* maksimal akibat variasi jarak transisi bagi *tube* kolom pertama *secondary superheater* adalah 3,02 % dari domain saat kondisi *existing*. Data ini menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya jarak transisi, kualitas perpindahan panas menjadi lebih baik bagi *tube* kolom pertama pada *secondary superheater*.

IV. KESIMPULAN

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

1. Jarak transisi antara *primary* dan *secondary superheater* memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap peningkatan kualitas perpindahan panas pada *secondary superheater* secara *overall*. Prosentase peningkatan kualitas perpindahan panas maksimal hanya sebesar 0,9 % pada jarak transisi sebesar 108 mm bila dibandingkan dengan nilai kondisi *existing*.
2. Aliran fluida akibat variasi jarak transisi antara *primary* dan *secondary superheater* hanya berpengaruh pada *tube* kolom pertama pada *secondary superheater* dengan peningkatan nilai kecepatan maksimal sebesar 2,0 % pada jarak transisi sebesar 108 mm bila dibandingkan dengan nilai kondisi *existing*.
3. Jarak transisi antara *primary* dan *secondary superheater* hanya berpengaruh pada *tube* kolom pertama pada *secondary superheater* dengan peningkatan nilai perpindahan panas maksimal sebesar 3,02 % pada jarak transisi sebesar 108 mm bila dibandingkan dengan nilai kondisi *existing*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada kedua orang tua, Prof. Dr.Eng. Ir. Prabowo, M.Eng selaku dosen pembimbing penelitian, para dosen, teman-teman, seluruh civitas akademik Teknik Mesin ITS, serta seluruh pihak yang belum bisa disebutkan. Terimakasih atas dukungannya dalam membantu menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Incropera, Frank P., De Witt, David P. (2002). *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- [2] Moran, Michael J. dan Shapiro, H.N. 2006. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (5th Edition). Inggris: John Wiley & Sons.
- [3] Fox, Robert W., Pritchard, P.J. dan McDonald, Alan T. 2010. *Introduction to Fluid Mechanics* (7th Edition). Asia: John Wiley & Sons.
- [4] Nurul Komari dan Prabowo. 2014. **Studi Numerik Pengaruh Penambahan Rectangular Obstacle Terhadap Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas pada Staggered Tube Banks dengan $U/D = 0,2$** . Jurnal Teknik POMITS Volume 2(1), ISSN: 2337-3539.
- [5] 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.
- [6] 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.