

47287/H/12


 MILIK PERPUSTAKAAN
 ITS


ITS

 Institut
 Teknologi
 Sepuluh Nopember

 RSM
 621.402
 Sur
 5-1
 2012

TUGAS AKHIR - TM091486

STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN DAN PERPINDAHAN PANAS PADA HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR DI PT. GRESIK GASES AND POWER INDONESIA (LINDE GROUP)

 DHIKA SURYANANDA
 NRP 2107 100 078

 Dosen Pembimbing
 Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT

 JURUSAN TEKNIK MESIN
 Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2012

PERPUSTAKAAN	
ITS	
Uji Terima	11-7-2012
Terima Dari	H
No Agenda Prp.	-



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TM091486

**NUMERICAL STUDY OF FLUID
CHARACTERISTIC AND HEAT TRANSFER
FOR HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR
(HRSG) IN PT GRESIK GASES AND POWER
(LINDE INDONESIA)**

DHIKA SURYANANDA
NRP 2107 100 0078

Supervisor
Dr. Wawan Aries Widodo ST, MT,.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2012

**STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN
BAGIAN REAR-END BUS PENUMPANG
DENGAN VARIASI SUDUT DIFFUSER**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DHIKA SURYANANDA

NRP. 2107 100 078

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr Wawan Aries Widodo, ST, MT (Pembimbing)
(NIP.197104051997021000)
2. Nur Ikwan, ST, M.Eng (Penguji I)
(NIP.196709151995124001)
3. Ary Bachtiar KP., ST, MT, PhD (Penguji II)
(NIP.197105241997021001)
4. Is Bunyamin Suryo, ST, M.Sc (Penguji III)

**SURABAYA
JULI, 2012**

Studi Numerik Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas Pada Heat Recovery Steam Generator di PT Gresik Gases and Power Indonesia (Linde Indonesia)

Nama Mahasiswa : Dhika Suryananda
NRP : 2107 100 078
Jurusan : Teknik Mesin, FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT

Abstrak

Pertumbuhan ekonomi berdampak pada meningkatnya kebutuhan energi, sehingga menuntut peningkatan efisiensi dari power plant sebagai salah satu produsen energi. Pada saat ini power plant yang memiliki efisiensi paling tinggi adalah combined cycle power plant. Pada sistem combined cycle tersebut terdapat komponen Heat Recovery Steam Generator (HRSG) yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi dari power plant dengan cara menggunakan sisa panas dari gas buang (exhaust) gas turbine dan digunakan untuk memproduksi uap (steam) untuk proses selanjutnya.

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode numerik (CFD) dengan software FLUENT 6.3.26. Pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini adalah 3 dimensi, aliran steady, turbulence model yang dipakai Relizable k- ϵ model dengan reaksi pembakarannya menggunakan spesies transport. Mixture materials yang digunakan merupakan methane-air. Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data yang di ambil di PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA.

Hasil yang didapatkan pada simulasi ini adalah bentuk bodi seperti enlargement, contraction, dan elbow memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap distribusi temperatur, tekanan, dan kecepatan pada HRSG. Error dari hasil simulasi numerik dan referensi CCR sebagai berikut pada secondary superheater sebesar 8 %, pada primary superheater sebesar 6%, pada evaporator sebesar 0.00008% dan yang terakhir pada

economizer sebesar 92 % . Penyebab perbedaan antara numerik dengan data CCR adalah kurang akuratnya proses simulasi dan simplifikasi dari jajaran heat exchanger terutama pada bagian economizer..

Kata kunci : FLUENT, HRSG, Duct Burner, Tipe aliran

Numerical Study of Fluid Characteristic and Heat Transfer for Heat Recovery Steam Generator (HRSG) in PT Gresik Gases and Power (Linde Indonesia)

Name : Dhika Suryananda
NRP : 2107 100 078
Department : Mechanical Engineering, FTI-ITS
Academic Advisor : Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT

Abstract

Global economic growth is affecting the increase of energy needs, thus it is also increase the demand of higher efficiency of power plant as one of energy producer. For now, combined cycle power plant is the power plant with the highest efficiency. On those combined cycle system, there are Heat Recovery Steam Generator (HRSG) component to increase the efficiency of power plant by using residual heat from exhaust gas turbine and it is used to produce steam for the next process.

This research is using numerical method (CFD) with FLUENT 6.3.26 as the software. Modeling in this research are 3 dimensional, steady flow, and the turbulence model are using Relizable k- ϵ model. Methane-air are used as the mixture materials. The data resource are from PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA.

From this simulation, we understand that the body form such as enlargement, contraction, and elbow are affecting temperature distribution, pressure, and velocity on HRSG. The error of numerical simulation result and CCR reference on secondary superheater are 8%, on primary superheater are 6%, on evaporator are 0.00008%, and on economizer are 92%. The differences between numerical and CCR data are caused by its less accuracy on simulation process and also heat exchanger simplifying process especially on economizer part.

Keywords : FLUENT, HRSG, Duct Burner, Flow type.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan karunia dan anugerah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Tidak lupa pula terima kasih sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada, antara lain:

1. Orang tua yang selalu memberikan dukungan penuh bagi penulis, Ir. Firman Suryadi dan D. Dyah Ridwanti serta Sang Dyah Bianda selaku kakak, yang selalu memberikan support.
2. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo ST., MT, selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, pikiran meski dalam keadaan sibuk, serta ilmu yang tak ternilai harganya. Saya akan selalu menjadi orang yang selalu berusaha demi yang terbaik dalam segala hal.
3. Bapak Ary Bachtiar K.P, ST, MT, Ph.D, Bapak Dr. Nur Ikhwan ST., M. Eng, dan Bapak Is Bunyamin Suryo, ST, MSc, selaku dosen penguji seminar proposal dan Sidang. Terimakasih atas ilmu dan saran untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
4. Bapak Budi Utomo Kukuh Widodo aka Pak Item selaku dosen wali yang telah membimbing saya selama kuliah.
5. Seluruh dosen (Pak Lubi, Pak Shahab, Pak Joni, Pak Wajan, Pak Bobby, Pak Sam, Pak Triyogi, Pak Herman, Pak Warmin, Pak Fahmi Bu Kis, Bu Wiwik dll) serta karyawan (Bu Sri, Pak Agus DM, Cak To, Cak Bud, Pak No, Pak Mul, Cak Somat, Cak Ghofur dan tak lupa Sutris dll) di Jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan banyak sekali bantuan selama penulis berkuliah, baik akademis maupun non akademis.

6. Sabila Fatimah, yang selalu memberikan dukungan dan kasih sayang kepada penulis, dan juga menemani penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
7. Nuril Mutiara Karomah aka Becing aka Bull_Cing teman seperjuangan yang selalu mendukung dan bekerja sama dalam menyelesaikan makalah ini (Partner in CRIME!!).
8. Pak Agus, Bu Oni, Bu Vivi, Pak Tri, dll yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis selama penambilan data di Linde Indonesia. Terima kasih banyak.
9. Teman – teman Negara Api “Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa”: Osenk, Ucil, Timson, Damasus, Ahong, Gagah, Udi, Lonte, Habibie, Betty, Kibo, Ublek, Dodo, Ismu, Daniel, Munyuk, Shaolin, Ramtek, Rozi, Anindya Ayu, Vicca, Mirza, Nina, dll yang tidak disebutkan satu persatu karena bisa bikin buku TA saya tebal nantinya. Terimakasih atas bantuan, dukungan dan kenangan yang tak terlupakan. Salam satu api.
10. Arek – Arek M50. Dari dulu, sekarang dan seterusnya kita tetep *brotherhood*, kawan. Dan buktikan angkatan EMAS di dunia kerja.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu-persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2012

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2	
DASAR TEORI.....	7
2.1. HRSG (Heat Recovery Steam Generator)	7
2.2. Bagian-bagian HRSG	8
2.2.1 <i>Inlet Duct</i>	9
2.2.2 <i>Duct Burner</i>	10
2.2.3 <i>Distribution Grid</i>	10
2.2.4 <i>Heat Exchanger</i>	11
2.3. Stoichiometri Pembakaran	11
2.4. <i>Numerical Modeling</i>	13
2.4.1 <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	13
2.4.2 <i>Porous Media</i>	15
2.4. Penelitian Terdahulu	16

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Tahap-tahap Penelitian	21
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	22
3.3 Tahap Pre-Processing	24
3.3.1 Penentuan Dimensi HRSG.....	24
3.3.2 Penentuan Domain HRSG.....	24
3.3.3 Membuat Geometri dan Meshing Pada Gambit.....	25
3.4 Tahap Processing.....	27
3.4.1 Memilih <i>Solver</i>	27
3.4.2 Memilih Formulasi <i>Solver</i>	28
3.4.3 Persamaan Energi.....	28
3.4.4 Memilih <i>Turbulence Modeling</i>	28
3.4.5 <i>Input Boundary Condition</i>	29
3.4.6 <i>Materials</i>	29
3.4.7 Iterasi.....	29
3.5 Tahap Post-Processing.....	30
3.6 Data	31

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. Perhitungan.....	33
4.1.1 Perhitungan Efisiensi HRSG.....	33
4.1.2 Perhitungan <i>porosity</i> , <i>T surface</i> , perpindahan panas dan <i>inertial resistance</i>	37
4.1.2.1. Perhitungan <i>porosity</i> , <i>T surface</i> , perpindahan panas dan <i>inertial resistance</i>	38
4.1.2.2. Perhitungan pada <i>primary superheater</i>	40
4.1.2.3. Perhitungan pada <i>evaporator</i>	43

4.1.2.4. Perhitungan pada <i>economizer</i>	45
4.2. Analisa Hasil Simulasi	47
4.2.1 Analisa Data Kualitatif dan Kuantitatif Kontur Temperatur	48
4.2.2 Analisa Data Kualitatif Kontur Kecepatan	51
4.2.3 Analisa Data Kualitatif Kontur Tekanan	54
4.2.4 Analisa Data Kualitatif <i>Pathline</i>	56
4.3. Analisa Data Kualitatif Distribusi Temperatur	57
 BAB 5	
KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1. Kesimpulan	59
5.2. Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	HRSG PT. GRESIK GASES AND POWER INDONESIA.....	7
Gambar 2.2	Komponen HRSG.....	9
Gambar 2.3	Pembakaran sempurna methana (CH_4) dan udara.....	12
Gambar 2.4	Blok diagram simulasi dengan CFD	14
Gambar 2.5	Kontur <i>temperature</i> ($^{\circ}\text{F}$).....	16
Gambar 2.6	Kontur <i>Velocity Magnitude</i>	17
Gambar 2.7	Grafik <i>Velocity</i>	18
Gambar 2.8	Kontur Temperatur <i>flue gas</i>	19
Gambar 2.9	Kontur <i>velocity</i> (ft/s).....	20
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	23
Gambar 3.2	Dimensi HRSG di PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA	24
Gambar 3.3	Domain pemodelan numerik HRSG	25
Gambar 3.4	Meshing	27
Gambar 3.5	Kriteria Konvergensi	30
Gambar 4.1	Distribusi temperatur terhadap sumbu x dan y.....	49
Gambar 4.2	Distribusi temperatur terhadap sumbu z.....	50
Gambar 4.3	Grafik distribusi temperatur.....	50
Gambar 4.4	Distribusi kecepatan terhadap sumbu x dan y.....	52
Gambar 4.5	Distribusi kecepatan terhadap sumbu z.....	53
Gambar 4.6	Distribusi tekanan terhadap sumbu x dan y.....	54
Gambar 4.7	Distribusi tekanan terhadap sumbu z.....	55
Gambar 4.8	Kontur <i>velocity pathline</i>	56

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel data CCR	34
Tabel 4.2	Data pada <i>secondary superheater</i>	38
Tabel 4.3	Data pada <i>primary superheater</i>	40
Tabel 4.4	Data pada <i>evaporator</i>	43
Tabel 4.5	Data pada <i>economizer</i>	45
Tabel 4.6	Tabel distribusi CCR terhadap numerik	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini sebagian besar energi digunakan untuk kebutuhan sehari-hari dan industri berasal dari proses pembakaran. Hampir 89 % energi dunia berasal dari proses pembakaran, dan semakin lama proses ini semakin meningkat. Banyak sekali aplikasi proses pembakaran ini dalam industri, antara lain untuk boiler, tungku peleburan logam, pengecoran baja, dan lain-lain.

Sistem pembakaran sangat diperlukan dalam sistem pembangkit atau *power plant*. Hasil pembakaran yang dihasilkan dapat digunakan untuk menggerakkan komponen seperti gas turbine. PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA (LINDE Group) merupakan salah satu perusahaan yang menggunakan sistem *combined cycle power plant* yang menghasilkan listrik dan juga memproduksi gas. Pada Sistem pembangkit listrik terdapat banyak komponen dan salah satunya adalah HRSG (*Heat Recovery Steam Generation*). HRSG merupakan komponen yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi dari *power plant* dengan menggunakan sisa panas dari gas buang (*exhaust*) gas turbine yang kemudian dipanaskan kembali dan digunakan untuk memproduksi uap panas (*steam*) yang dapat digunakan sebagai penggerak *steam turbine* ataupun digunakan langsung untuk proses lain.

HRSG yang digunakan merupakan tipe HRSG gabungan dari horizontal dan vertikal yaitu terdiri dari komponen-komponen *heat exchanger* berupa *primary superheater*, *secondary superheater*, dan *evaporator* yang berada pada posisi horizontal sementara *economizer* yang berada pada posisi vertikal. Komponen lain yang ada pada HRSG salah satunya adalah *duct burner* yang berfungsi untuk menambahkan panas

pada gas buang dari *gas turbine* sehingga didapatkan temperatur yang cukup tinggi untuk menghasilkan *steam* pada *heat exchanger*. *Duct burner* yang digunakan menggunakan bahan bakar natural gas. Pada pengoperasiannya kebutuhan akan nyala *duct burner* bergantung dari temperatur gas buang dari *gas turbine*. Karena hal tersebut, melatarbelakangi dibuatnya sebuah simulasi tentang fenomena yang terjadi di dalam HRSG secara numerik 3 dimensi menggunakan *software* CFD karena pengamatan secara langsung sangat tidak mungkin dilakukan.

Banyak peneliti yang telah melakukan penelitian terhadap HRSG menggunakan permodelan numerik. *Veera (2005)* melakukan simulasi dengan menggunakan *software* CFD FLUENT terhadap HRSG tipe horizontal dan komponen di dalamnya dengan menggunakan *porous media* pada *heat exchanger* dan model simulasi yang digunakan adalah *Realizable K-ε*. Hasil dari penelitian menunjukkan karakteristik aliran yang terjadi di dalam HRSG pada tipe horizontal, terdapat adanya perbedaan distribusi kecepatan yang tidak merata pada bagian *duct burner*. *Hyuntae, dkk (2012)* melakukan simulasi dengan menggunakan *software* CFD FLUENT terhadap *inlet duct* pada *Heat Recovery Steam Generator* tipe vertikal dengan menggunakan *porous media* pada *heat exchanger* dan model simulasi yang digunakan adalah *RNG K-ε*. Hasil dari penelitian menunjukkan karakteristik aliran yang terjadi pada HRSG tipe vertikal.

1.2 Perumusan Masalah

Pada umumnya HRSG didesain secara khusus dan spesifik berdasarkan kebutuhan sebuah plant, sehingga terdapat banyak jenis dan model seperti: HRSG tipe Horizontal, vertikal, gabungan dan sebagainya. Namun, pada penelitian ini HRSG yang digunakan merupakan tipe horizontal dengan kapasitas produksi *steam* 36,4 TPH dan menggunakan *duct burner* berbahan bakar *natural gas*. Penelitian ini menganalisa secara numerik

dengan permodelan 3 dimensi mengenai karakteristik aliran dan perpindahan panas pada HRSG. Dalam studi numerik *software* FLUENT dan GAMBIT akan digunakan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui fenomena aliran yang terjadi pada HRSG yang ada di PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA. Hasil yang didapat dari analisa numerik akan dibandingkan dengan data dari *Central Control Room* (CCR) sebagai validasi.

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan dan asumsi yang diambil dalam tugas akhir ini adalah:

- Bahan bakar yang digunakan pada Gas Turbine adalah natural gas.
- Bahan bakar yang digunakan pada duct burner adalah natural gas.
- Pengambilan data dilakukan di PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA Disimulasikan dengan *software* FLUENT 6.3.
- Aliran fluida yang melalui HRSG diasumsikan *steady*.
- Menggunakan model *Realizable K-ε*

1.4 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah

- Untuk mengetahui karakteristik aliran dan perpindahan panas pada HRSG
- Untuk mendapatkan data kualitatif dan kuantitatif berupa visualisasi aliran pada beberapa daerah yang meliputi tampilan *pathlines*, kontur kecepatan, dan distribusi temperatur.

Dalam tugas akhir ini, diharapkan akan menambah wawasan dan pengetahuan mahasiswa secara umum dan penulis khususnya

dalam mensimulasikan HRSG dengan menggunakan *software* FLUENT. Selain itu tugas akhir ini dapat digunakan sebagai acuan penggunaan HRSG tipe gabungan vertikal dan horizontal mana saja yang dipakai pada PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA dan juga bisa menjadi literatur bagi mahasiswa lain dalam penyusunan karya ilmiah maupun jurnal. Tugas akhir ini juga bisa menjadi referensi bagi pensimulasi HRSG.

1.5 Sitematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian singkat mengenai latar belakang penentuan judul, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

Dalam bab ini dijelaskan mengenai informasi hasil penelitian terdahulu, serta dasar teori yang HRSG dan simulasi Fluent.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang prosedur penelitian yang meliputi *pre-processing*, *processing* dan *post-processing* dengan menggunakan software Gambit 2.4.6 dan Fluent 6.3.26.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai hasil dari pendekatan numerik dengan dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang relevan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II **DASAR TEORI**

2.1 HRSG (Heat Recovery Steam Generator)

HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) merupakan komponen yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi dari *power plant* dengan menggunakan sisa panas dari gas buang (*exhaust*) dari *gas turbine* yang kemudian digunakan untuk memproduksi uap panas (*steam*) yang dapat digunakan sebagai penggerak *steam turbine* ataupun digunakan langsung untuk proses lain. Sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan proses ini disebut Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) atau unit pembangkit siklus kombinasi CCPP (*Combined Cycle Power Plant*).



Gambar 2.1 HRSG PT. GRESIK GASES and POWER
 INDONESIA

Kapasitas produksi uap yang dapat dihasilkan HRSG tergantung pada energi panas yang dikandung gas buang dari turbin gas. Pada dasarnya turbin gas yang beroperasi pada putaran tetap, aliran udara yang masuk ke kompressor juga tetap. Adanya perubahan beban turbin yang tidak tetap mengakibatkan suhu gas buang juga berubah-ubah mengikuti perubahan beban turbin gas. Suhu gas buang unit turbin gas tetap konstan diperoleh dengan

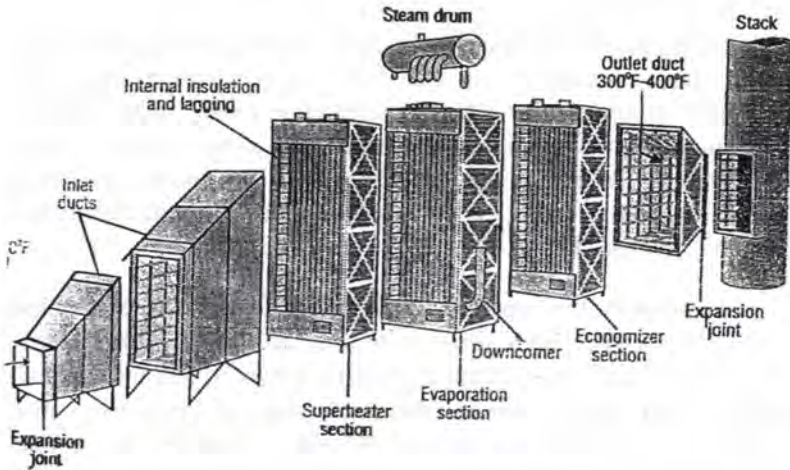
cara mengatur bukaan sirip-sirip pemandu aliran udara masuk (IGV, Inlet Guide Vane) guna mengatur laju aliran udara masuk ke kompressor, dimana suhu gas buang menjadi umpan baliknya. Hal ini dapat dihindari dengan penambahan *duct burner* pada HRSG yang berguna untuk menambah energi panas pada gas buang turbin gas sehingga dapat menjaga kestabilan kapasitas produksi uap. Secara umum HRSG diklasifikasikan menjadi tiga tipe berdasarkan arah aliran dan posisi *heat exchanger* yaitu :

- Tipe vertikal
- Tipe Horizontal
- Tipe Gabungan dari vertikal dan horizontal.

Ketiga tipe dari HRSG tersebut dipilih berdasarkan desain dari pabrikan karena ketiganya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

2.2 Bagian - Bagian HRSG

Sistem HRSG dirancang untuk mendapatkan efisiensi *thermal* yang tinggi dan mengurangi emisi dalam siklus gabungan. Hal ini didapatkan dari desain yang tepat dari masing-masing komponen yang ada dalam sistem HRSG. Komponen dari sistem HRSG yang berkontribusi pada tujuan tersebut antara lain yaitu *inlet duct*, *distribution grid*, *Duct Burner*, *heat exchanger*, dan *exhaust stack*.



Gambar 2.2Komponen HRSG

2.2.1. Inlet Duct

Perancangan HRSG diharapkan mampu membuat tekanan pada sisi *exhaust* menjadi berkurang dengan back pressure tetap serendah mungkin. Desain ideal *inlet duct* HRSG menghasilkan kenaikan tekanan statis di dalam sistem. *Inlet duct* terhubung ke gas turbin *exhaust flange* dan menyalurkan gas buang ke permukaan pemanasan awal. Aliran yang masuk pada *heating surface* harus merupakan aliran *uniform* sehingga didapatkan kinerja termal yang optimal. Dinding *inlet duct* dilapisi dengan tiga lapisan dari bahan isolasi untuk menghindari hilangnya panas dan mencegah kerusakan bahan saluran tersebut dari dampak gas buang berkecepatan tinggi. Desain dari saluran masuk harus dapat menjaga kecepatan aliran yang tinggi di tengah bagian, namun tidak berdampak buruk bagi dinding saluran.

2.2.2. Duct Burner

Gas buang pada turbin gas terdiri dari sejumlah besar udara panas yang tidak terpakai. Panas dari gas buang tersebut digunakan kembali dalam sistem HRSG. *Ductburner* dalam sistem HRSG bertujuan untuk memberikan tambahan panas dalam sistem sehingga dapat meningkatkan temperatur dari sisa gas buang turbin gas. Bahan bakar yang digunakan pada Duct burner adalah bahan bakar gas alam.

Untuk menjalankan operasi ideal dari *duct burner*, diperlukan penambahan kecepatan aliran pada saat memasuki *burner*. Profil kecepatan ideal yang memasuki elemen *burner* tergantung pada desain dari *burner* itu sendiri. Arah dan keseragaman sama pentingnya, begitu juga dengan besarnya aliran. Secara umum, untuk operasi ideal dari *burner*, profil kecepatan harus $\pm 25\%$ dari kecepatan rata-rata, dengan vektor kecepatan normal untuk *burner plane*. Daerah yang berkecepatan tinggi dalam aliran menyebabkan nyala api menimpa permukaan *burner* dan dinding-dinding di sekitarnya. Distribusi jaringan dan /atau baling-baling pengarah aliran digunakan dalam memperluas saluran untuk mendapatkan profil kecepatan yang diinginkan. Kadang-kadang dalam operasi ini diperlukan menggunakan *baffle* antar *burner* untuk meningkatkan kecepatan aliran hingga nilai yang diinginkan, sebagaimana yang selalu dianjurkan untuk memakai kecepatan aliran yang sangat tinggi demi mendapatkan pembakaran yang lebih baik.

2.2.3 Distribution Grid

Pada umumnya, *distribution grid* terletak pada bagian ujung *burner*. Tujuan

distribution grid ini adalah untuk mendapatkan profil kecepatannya yang diinginkan saat memasuki *burner*. Penerapan *distribution grid* hanya terdapat pada Beatrice HRSG. Karena HRSG dirancang untuk beroperasi dengan *exhaust* pada turbin gas, sehingga profil kecepatan saat memasuki HRSG tidak seragam. Diharapkan, aliran masuk *duct burner* sama rata, sama

seperti *heating surface* yang pertama. *Distribution grid* memainkan peran penting dalam kinerja burner.

2.2.4 Heat Exchanger

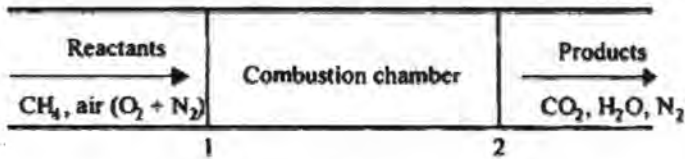
Jenis yang paling umum pada *heat exchanger* yang digunakan dalam HRSG adalah *heat exchanger* jenis tabung dengan / tanpa sirip. Ada tiga jenis *heat exchanger* yang digunakan pada sistem HRSG yaitu:

- *Pre-heater* digunakan untuk menaikkan suhu air hingga suhu jenuh pada tekanan tersebut.
- *Evaporator* berfungsi mengubah air menjadi uap jenuh dengan menambahkan kalor laten.
- *Super-heater* digunakan untuk menaikkan suhu uap jenuh.

Heat exchanger jenis *shell and tube* digunakan pada ketiga jenis *heat exchanger* tersebut. Jumlah baris tabung dan jumlah tabung per baris dipilih berdasarkan fungsi dari *heat exchanger* tersebut. *Evaporator* umumnya dirancang untuk sirkulasi alami. Sirkulasi paksa dapat digunakan dalam *pre-heater* dan *super-heater*. Tabung dilengkapi dengan sirip (padat dan bergerigi) untuk memperluas permukaan *heat exchanger*.

2.3 Stoichiometri Pembakaran

Stoichiometri berasal dari kata Yunani yaitu 'stoichion' yang berarti elemen. Pembakaran terjadi jika bahan bakar terbakar dengan oksidizer yaitu udara. Kebanyakan bahan bakar mengandung elemen karbon, hydrogen, oxygen, nitrogen, dan sulfur. Tujuan dari stoichiometri adalah untuk mengetahui secara pasti berapa banyak jumlah udara yang dibutuhkan sebagai oksida bahan bakar untuk menjadi hasil pembakaran yaitu karbon dioksida, uap air, nitrogen, dan sulfur dioksida.

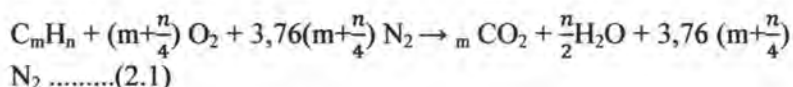


Gambar 2.3. Pembakaran sempurna methana (CH_4) dan udara

Dalam proses pembakaran fenomena-fenomena yang terjadi antara lain interaksi proses-proses kimia dan fisika, pelepasan panas yang berasal dari energi ikatan-ikatan kimia, proses perpindahan panas, proses perpindahan massa, dan gerakan fluida. Sarat terjadinya pembakaran adalah adanya bahan bakar, pengosida (oksigen atau udara) dan panas. Bahan bakar (fuel) merupakan segala substansi melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsure-unsur karbon (C), hydrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan beraksi dengan bahan bakar (fuel).

Dalam proses pembakaran fenomena-fenomena yang terjadi antara lain interaksi proses-proses kimia dan fisika, pelepasan panas yang berasal dari energi ikatan-ikatan kimia, proses perpindahan panas, proses perpindahan massa, dan gerakan fluida. Sarat terjadinya pembakaran adalah adanya bahan bakar, pengosida (oksigen atau udara) dan panas.

Seperti setelah yang diuraikan, proses pembakaran yang akan terjadi jika unsure-unsur bahan bakar teroksidasi. Jika oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran diperoleh dari udara, di mana udara terdiri dari 21 % oksigen dan 79 % nitrogen, maka reaksi stokiometrik pembakaran hidrokarbon murni C_mH_n dapat ditulis dengan persamaan :



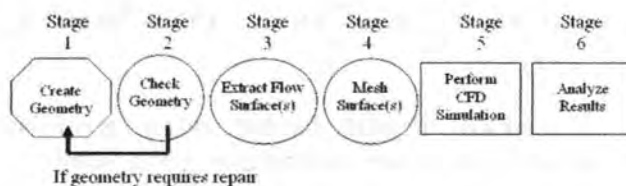
Persamaan ini telah disederhanakan karena cukup sulit untuk memastikan proses pembakaran yang sempurna dengan rasio ekivalen yang tepat dari udara. Jika terjadi pembakaran tidak sempurna, maka hasil persamaan di atas CO_2 dan H_2O tidak akan terjadi, akan tetapi terbentuk hasil oksidasi parsial berupa CO , CO_2 dan H_2O . Juga sering terbentuk hidrokarbon tak jenuh, formaldehida dan kadang-kadang terdapat karbon. Skema diatas adalah keseimbangan stoichiometri dari methana sebagai bahan bakar dan udara sebagai *oxidizer*.

2.4 Numerical Modeling

2.4.1. Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational fluid dynamics (CFD) merupakan perangkat analisa system dengan melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, *momentum*, perpindahan energy, dan fenomena aliran lain didasarkan simulasi berbantuan computer. CFD adalah perangkat lunak yang menggunakan *finite volume method* dan algoritma tertentu untuk menyelesaikan persamaan Navier-Stokes. Simulasi menggunakan CFD menghasilkan parameter-parameter penting seperti tekanan, suhu, kecepatan, dan laju alir massa (*mass flow rate*).

Analisa menggunakan CFD diperlukan pemahaman dan pengetahuan dasar bidang mekanika fluida untuk interpretasi hasil-hasil simulasi. Penyederhanaan CFD terdiri dari tiga tahapan proses pengerjaan, yaitu *preprocessing* (spesifikasi geometri, pemilihan *turbulence model*, spesifikasi *parameter* dan *grid generation*) kemudian *postprocessing* (*visualization* dan *treatment data*). Prosedur CFD melalui tahapan seperti diagram pada gambar 2.36.



Gambar 2.4 Blok diagram simulasi dengan CFD

Dalam penelitian ini, digunakan aliran steady, yang propertiesnya tidak berubah terhadap waktu.

Hukum konservasi massa untuk 3 dimensi :

$$\frac{\delta(\rho u)}{\delta x} + \frac{\delta(\rho v)}{\delta y} + \frac{\delta(\rho w)}{\delta z} = 0$$

Persamaan di atas digunakan pada kondisi *steady*, 3 dimensi, dan *compressible fluid*.

Persamaan momentum :

Sumbu x :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx}$$

Sumbu y :

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My}$$

Sumbu z :

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz}$$

Sedang persamaan *finite volume* pada aliran *steady* ini adalah :

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S_\phi$$

Dan diintegrasikan terhadap *control volume* :

$$\underbrace{\int_{cv} \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} dV}_{\text{unsteady}} + \underbrace{\int_{cv} \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) dV}_{\text{convection}} = \underbrace{\int_{cv} \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) dV}_{\text{diffusion}} + \underbrace{\int_{cv} S_\phi dV}_{\text{source}}$$

2.4.2 Porous Media

Porous media merupakan media berpori yang dapat digunakan untuk menggantikan dan mempermudah pembuatan berbagai macam dimensi seperti *tube banks*, *perforated plate*, dan sebagainya. Pada kondisi *porous media*, input yang dimasukkan merupakan *porosity*, *inertial resistance*, dan temperatur. angka *porosity* dan *inertial resistance* didapatkan dari penurunan rumus persamaan momentum berikut :

$$S_i = - \left(\sum_{j=1}^3 D_{ij} \mu v_j + \sum_{j=1}^3 C_{ij} \frac{1}{2} \rho |v| v_j \right)$$

sehingga didapatkan persamaan *inertial resistance* (C_2) untuk *tube banks* sebagai berikut:

$$\nabla p = - \sum_{j=1}^3 C_{2,j} \left(\frac{1}{2} \rho v_j |v| \right)$$

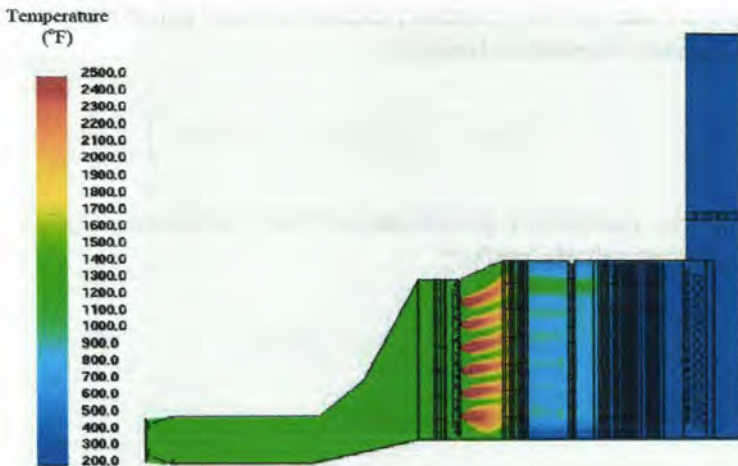
persamaan untuk mencari *porosity*:

$$\text{porosity} = 1 - \frac{(\text{volume tube} \times \text{jumlah tube})}{\text{volume Heat exchanger}}$$

2.5 Penelitian Terdahulu

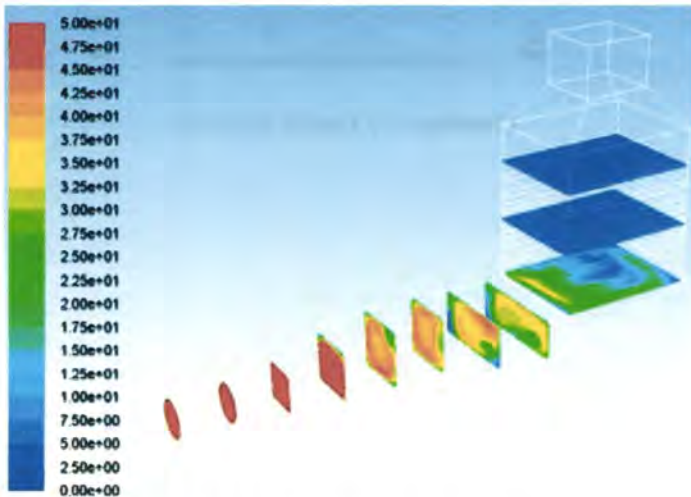
Pada Subab ini dijelaskan beberapa hasil penelitian terdahulu yang akan dijadikan sebagai dasar pertimbangan analisa simulasi HRSG.

Penelitian oleh *Veera (2005)* berjudul “*CFD Modeling of Heat Recovery Steam Generator and its Components Using Fluent*”. Pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* CFD FLUENT terhadap *Heat Recovery Steam Generator* tipe horizontal dan komponen di dalamnya dengan menggunakan *porous media* pada *heat exchanger* dan model simulasi yang digunakan adalah *Realizable K-ε*. Hasil dari penelitian menunjukkan karakteristik aliran yang terjadi di dalam HRSG pada tipe horizontal, terdapat adanya perbedaan distribusi kecepatan yang tidak merata pada bagian *duct burner*. Pada gambar 2.5. ditunjukkan hasil kontur temperatur pada penelitian ini.

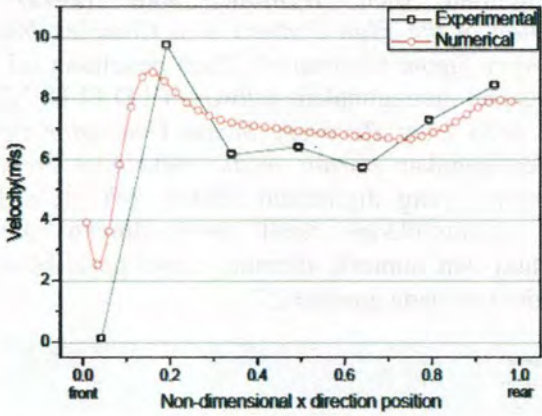


Gambar 2.5 Kontur *temperature*(°F)

Penelitian oleh *Hyuntae, dkk (2012)* berjudul “*Investigation of the Flow Pattern in a Complex Inlet Duct of Heat Recovery Steam Generator*”. Pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* CFD FLUENT terhadap *inlet duct* pada *Heat Recovery Steam Generator* tipe vertikal dengan menggunakan *porous media* pada *heat exchanger* dan model simulasi yang digunakan adalah *RNG K-ε*. Hasil dari penelitian menunjukkan hasil perbandingan antara data eksperimental dan numerik dimana secara garis besar seragam yang ditunjukkan pada gambar 2.7.

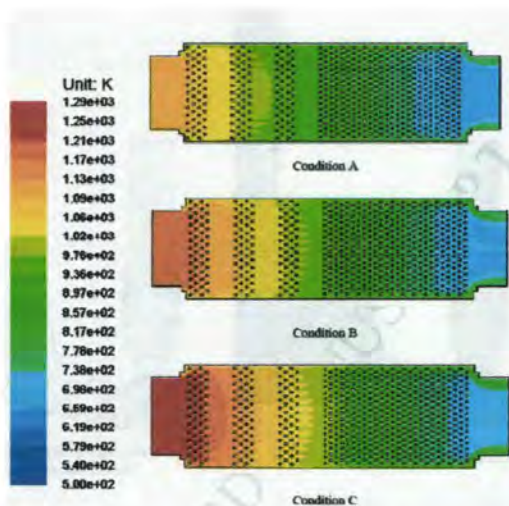


Gambar 2.6 Kontur *Velocity Magnitude*



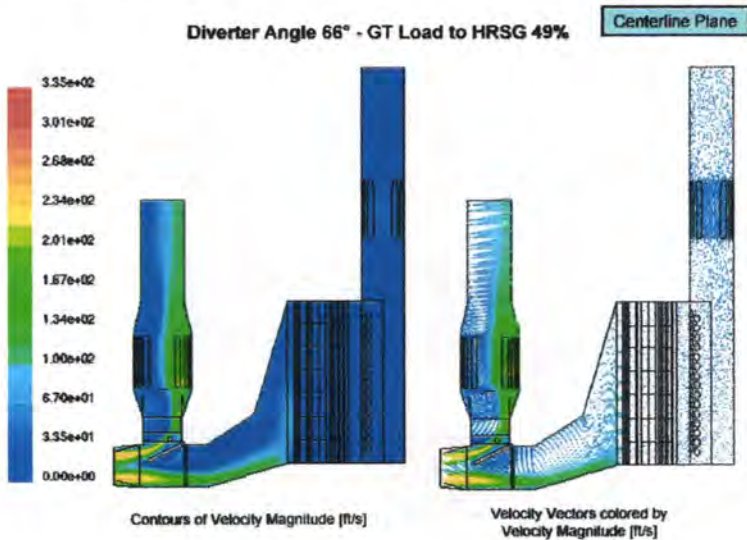
Gambar 2.7 Grafik *Velocity*

Penelitian yang dilakukan oleh *Lin Mu, dkk (2011)* berjudul “*Modelling and Measurement of the Characteristics of Ash Deposition and Distribution in HRSG of Wastewater Incineration Plant*”. Pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* CFD FLUENT terhadap HRSG untuk mengetahui karakteristik dan distribusi dari *ash* pada tube HRSG. Hasil penelitian menunjukkan fenomena terjadinya kerak akibat *ash* pada *tube heat exchanger* HRSG akibat perbedaan temperatur *flue gas* pada kondisi A (741K), B (802K), dan C (1076K) yang ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kontur Temperatur *Flue gas*

Penelitian oleh **Bell, dkk (2003)** berjudul “*Controlling Steam Production in Heat Recovery Steam Generator for Combined Cycle and Enhanced Oil Recovery Operation*”. Pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* CFD FLUENT terhadap HRSG untuk mengetahui fenomena yang terjadi akibat sudut diverter terhadap kinerja HRSG. Hasil Penelitian menunjukkan fenomena yang dapat dilakukan untuk mengontrol produksi *steam* tanpa mengubah beban pada *Combustion Turbine* dengan mengatur sudut *diverter*. Kontur *velocity* yang terjadi dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Kontur *Velocity* (ft/s)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahap-tahap Penelitian

Metodologi untuk melakukan tugas akhir simulasi HRSG secara numerik pada PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA dengan menggunakan software CFD Fluent adalah sebagai berikut :

1. Studi Kasus

Kasus atau permasalahan yang terjadi dapat diketahui melalui survei. Tujuan utama dari studi kasus adalah untuk mengetahui permasalahan yang terjadi.

2. Studi Literatur

Studi literatur ini adalah mencari literatur yang berkaitan dengan topik tugas akhir ini. Studi literatur ini dilakukan dengan mengumpulkan informasi baik mencari jurnal, *e-book*, dan hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.

3. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data baik berupa data primer maupun data sekunder. Data-data ini baik berupa data hasil *performance test* maupun data operasi dan juga data desain dari HRSG ini. Data-data yang dibutuhkan antara lain adalah sebagai berikut :

- Gambar desain dari HRSG PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA
- Bahan bakar yang digunakan yaitu *natural gas* pada *duct burner*
- *Mass Flow Rate* pada bahan bakar yang diinjeksikan
- Temperatur dan kecepatan pada *exhaust gas*

4. Melakukan Permodelan

Dalam tahap ini dilakukan permodelan dengan menggunakan *software* CFD fluent 6.3.26 dan gambit 2.4.6

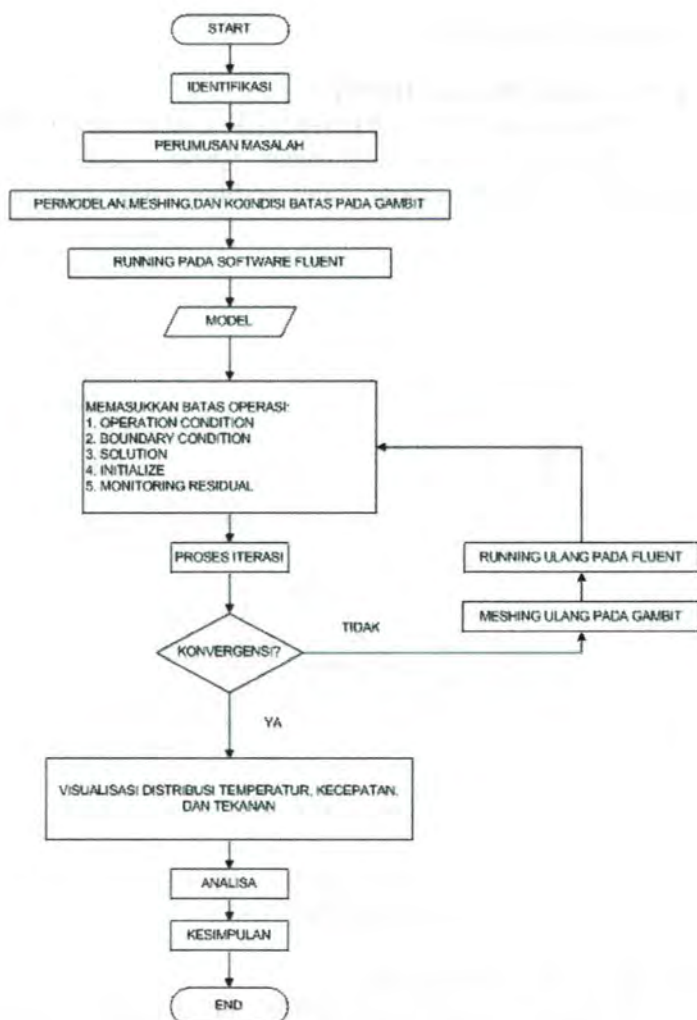
penelitian ini dititik beratkan untuk mengetahui persebaran temperatur pada *HRS*G untuk setiap tingkat ketinggian dan jarak tertentu. Pada tahap ini akan dibagi menjadi tiga proses yaitu *preprocessing*, *solver*, dan *postprocessing*.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Hasil dari tahap ini adalah laporan tugas akhir yang berisi pendahuluan, tinjauan pustaka, metoda penelitian, analisis dan pembahasan serta kesimpulan dan saran dalam pelaksanaan simulasi yang telah dilakukan.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Adapun dalam tugas akhir ini disusun suatu kerangka / diagram alir yang menjelaskan input dan output yang dihasilkan untuk setiap langkah yang nantinya akan dilakukan. Secara garis besar diagram alir dijelaskan pada gambar 3.1 dibawah ini:

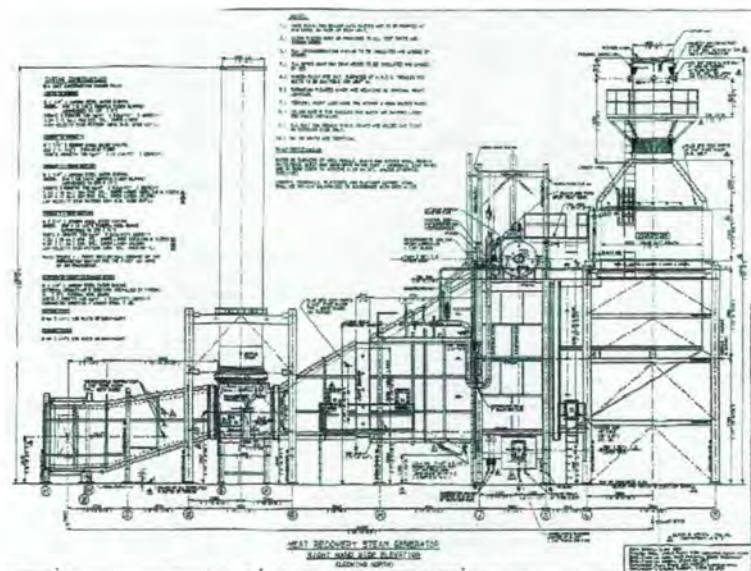


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Tahap Pre-processing

3.3.1 Penentuan Dimensi HRSG

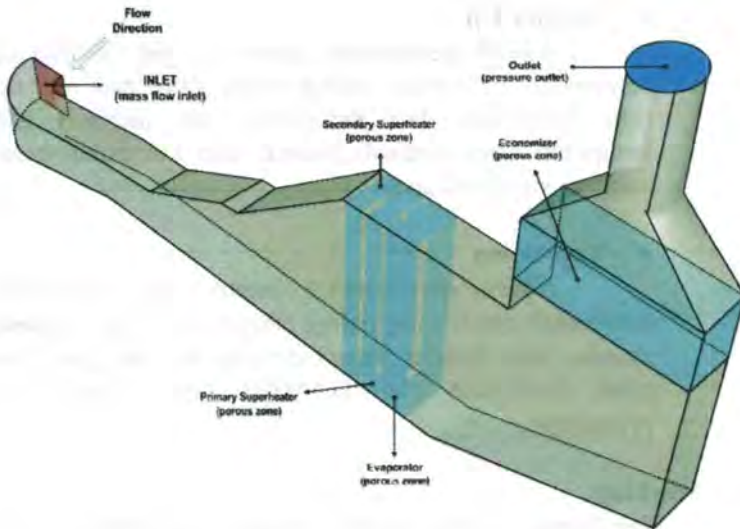
Dimensi dari HRSG PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA yang akan digunakan pada penelitian ini menggunakan ukuran seperti yang terlihat pada gambar 3.2 berikut :



Gambar 3.2 Dimensi HRSG di PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA

3.3.2 Penentuan domain HRSG

Domain komputasi dari HRSG ini menggunakan *mass flow inlet* untuk masuknya udara dan bahan bakar sementara pada sisi *outlet* menggunakan *pressure outlet*.



Gambar 3.3. Domain pemodelan numerik HRSG

3.3.3 Membuat Geometri dan Meshing pada GAMBIT

Adalah tahap dimana data diinputkan dari penggambaran geometri, pembagian model, pembagian model menjadi elemen-elemen kecil (masing), mendefinisikan domain serta kondisi batas. Semua langkah tersebut dilakukan *pada software* GAMBIT. Adapun rincian prosesnya sebagai berikut

a. Pembuatan Geometri

Yaitu proses menggambar bentuk geometri model dari HRSG dengan menggunakan *software* GAMBIT. Secara garis besar geometri pada GAMBIT dapat dibuat dengan dua teknik yang nantinya bisa saling dikombinasikan, yaitu teknik *Bottom-Up* dan teknik *Top-Down*.

- **Bottom-Up**

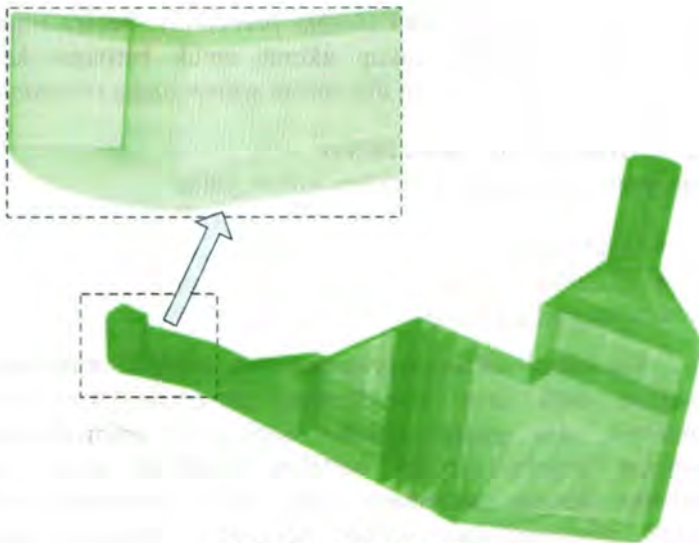
Adalah pembuatan geometri yang dimulai dari pembuatan entiti yang paling dasar, yaitu dari membuat titik, kemudian dari kumpulan titik menjadi garis, kumpulan garis menjadi bidang, dan kumpulan bidang menjadi suatu volume.

- **Top-Down**

Adalah pembuatan geometri yang dimulai dari pembuatan entiti yang paling tinggi, yaitu dari membuat volume atau bidang sesuai dengan bentuk dasar yang telah disediakan oleh GAMBIT (face atau volume primitives).

b. Meshing

Pembuatan *mesh* elemen hingga (*meshing*) adalah pembagian model solid menjadi elemen-elemen kecil sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan ke dalam elemen-elemen tersebut. jumlah *meshing* yang digunakan ± 640.000 dengan jenis *hex* dan *hex/wedge*. Proses pembuatan *mesh* dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Meshing

c. Penentuan kondisi batas (*Boundary Condition*)

Merupakan penentuan batasan-batasan yang akan digunakan dalam permodelan simulasi ini antara lain:

1. *Inlet* udara(*exhaust gas*) dan *inlet* bahan bakar pada *duct burner* menggunakan *mass flow inlet* sebesar 38,95 kg/s.
2. *Outlet* menggunakan *pressure outlet* dengan *pressure gauge* sebesar 0 Pa.
3. Dinding luar dan dalam HRSR menggunakan *wall*.
4. *Secondary superheater*, *primary superheater*, *evaporator*, dan *economizer* didefinisikan sebagai *porous zone*.

3.4 Tahap Processing

Pada tahapan ini dilakukan dengan menggunakan software FLUENT 6.3.26 yang terdiri dari tahapan dibawah ini.

3.4.1 Memilih Solver

Pada saat membuka FLUENT terdapat pilihan untuk menggunakan *solver* 2D atau 3D dengan keakuratan tunggal atau

ganda (*single precision* atau *double precision*). Secara umum, *solver single precision* cukup akurat untuk berbagai kasus sehingga dalam penelitian ini digunakan *solver single precision*.

3.4.2 Memilih Formulasi Solver

Fluent menyediakan tiga formulasi *solver*, yaitu:

- *Segregated*
- *Coupled Implicit*
- *Coupled Eksplisit*

Formulasi *solver segregated* dan *coupled* mempunyai perbedaan pada cara penyelesaian persamaan kontinuitas, momentum, dan energi. *Solver segregated* menyelesaikan persamaan tersebut secara bertahap (terpisah antara satu persamaan dengan persamaan yang lain), sementara *solver coupled* menyelesaikan semua persamaan tersebut secara bersamaan. *Solver coupled implisit* dan *eksplisit* sendiri mempunyai perbedaan pada cara melinierkan persamaan yang akan diselesaikan.

Secara umum, *solver segregated* banyak digunakan untuk kasus dengan fluida inkompresibel dan kompresibel dengan kecepatan rendah sampai menengah (bilangan Mach < 1). Adapun *solver coupled* pada dasarnya didesain untuk kasus fluida kompresibel dengan kecepatan tinggi (bilangan Mach ≥ 1).

3.4.3 Persamaan Energi

Penelitian yang dilakukan menggunakan persamaan energi karena adanya proses perpindahan panas dan pembakaran, maka persamaan energi yang ada pada FLUENT diaktifkan.

3.4.4 Pemilihan Turbulence Modelling

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Veera, 2005) menggunakan model *Realizable K- ϵ* untuk simulasinya. *Realizable K- ϵ* merupakan model turbulensi yang memenuhi batasan matematis pada bilangan Reynolds, konsisten dengan bentuk fisik aliran turbulen. Model *Realizable K- ϵ*

banyak digunakan untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas yang mempunyai gradien tekanan yang besar, separasi dan resirkulasi.

3.4.5 Input Boundary Condition

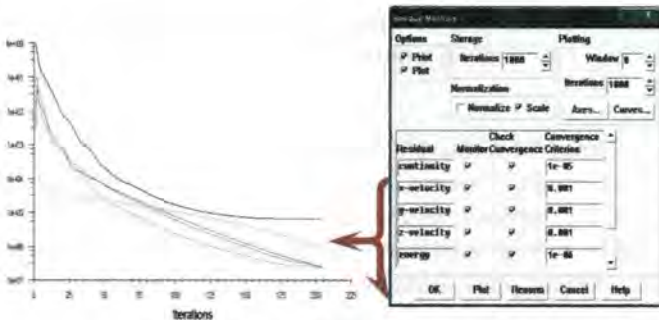
Berbagai macam kondisi didefinisikan pada inlet ini mulai dari kecepatan, temperatur, tekanan, laju aliran. Sedangkan pada outlet biasanya didefinisikan sebagai kondisi dimana fluida tersebut keluar dari domain atau dalam suatu aplikasi CFD merupakan nilai yang didapat dari semua variabel yang didefinisikan dan diextrapolasi dari titik (nodal) atau sel sebelumnya.

3.4.6 Materials

Menentukan jenis material yang digunakan beserta dengan sifat dan propertiesnya. Dalam penelitian ini dipilih material jenis *air* untuk udara dan *methane* untuk bahan bakar. Material untuk konstruksi boiler digunakan material baja.

3.4.7 Iterasi

Yaitu proses perhitungan yang berulang-ulang dari kondisi batas yang diberikan sampai konvergensi tercapai. Untuk menyimpulkan hasil iterasi telah konvergen atau belum tidak hanya cukup dengan mengamati level residual, tapi juga harus mengamati kesetimbangan/ balans massa dan energi. Terdapat tiga metode yang umum dipakai untuk mengecek konvergensi hasil iterasi.



Gambar 3.5 Kriteria Konvergensi

1. Residual Konvergen

Konvergensi ini adalah berhentinya iterasi karena sudah mencapai kriteria konvergensi yang nantinya ditentukan $continuity 10^{-5}$.

2. Penambahan iterasi tidak mengubah solusi

Kadangkala residual tidak mau turun lagi menuju kriteria konvergensi yang ditentukan. Apabila residual variabel yang lebih dominan mewakili keseluruhan aliran (misal *continuity*) relatif tidak berubah ketika iterasi terus berjalan, maka solusi ini pun sudah bisa dikatakan konvergen.

3. Kesetimbangan massa, momentum, energi, dan besaran lainnya tercapai.

Cek kesetimbangan massa, momentum, energi, dan besaran lainnya pada panel *flux report* kurang dari 1%.

3.5 Tahap Post-processing

Setelah diperoleh solusi numerik dari tahap *processing/solving*, tahap berikutnya adalah memvisualisasikan dan menganalisa hasil dari solusi numerik tersebut. FLUENT 6.3.26 akan kembali digunakan dalam tahap ini. Pada tahapan ini akan diperoleh informasi mengenai *flow field* pada saat kondisi operasi HRSG, misalnya distribusitemperatur dan kecepatan aliran.

Informasi-informasi tersebut bisa digunakan untuk mengetahui fenomena aliran yang terjadi di dalam HRSG akan ditampilkan kontur *velocity pathline* dan kontur *temperatur*.

3.6 Data

Data ini adalah data yang diambil di referensi pada *center control room (CCR)* pada saat HRSG dalam kondisi operasi. Data ini digunakan untuk data utama pada simulasi yang akan dilakukan sekaligus sebagai pembanding dari hasil simulasi. Data tersebut meliputi :

- Kecepatan dan temperatur pada *flue gas*
- *Mass flow rate*
- Distribusi temperatur pada HRSG.
- Propertis *natural gas*.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan perhitungan efisiensi HRSG, *porosity*, *T surface* dan perhitungan perpindahan panas untuk tiap-tiap *heat exchanger*. Pada bab ini juga akan menganalisa hasil permodelan aliran pada boiler HRSG di PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA (LINDE Group). Hasil dari permodelan ini yaitu distribusi kecepatan, distribusi temperatur, dan *velocity pathline*.

4.1 Perhitungan

Perhitungan yang akan dilakukan adalah perhitungan untuk menghitung efisiensi *boiler*, *porosity*, *T surface* dan *perpindahan panas* untuk tiap-tiap *heat exchange*. Data yang diperlukan didapat dari (CCR) *central control room* dan data yang ada di PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA (LINDE Group) yang nantinya digunakan untuk melakukan validasi.

4.1.1 Perhitungan Efisiensi HRSG

Perhitungan efisiensi HRSG terdiri dari 2 metode yaitu *direct method* dan *indirect method*, yang membedakan keduanya adalah pada *indirect method* memperhitungkan *losses*.

• *Direct method*

$$\eta = \frac{\dot{m}_{Sec.SH} C_{pSec.SH} \Delta T_{Sec.SH} + \dot{m}_{PrLSH} C_{pPrLSH} \Delta T_{PrLSH} + \dot{m}_{EVP} C_{pEVP} \Delta T_{EVP} + \dot{m}_{ECO} C_{pECO} \Delta T_{ECO}}{\dot{m}_{Flue\ gas} C_{pFlue\ gas} \Delta T_{Flue\ gas}} \times 100$$
$$\eta = \frac{(4,87 \times 0,485 \times 47) + (4,87 \times 0,478 \times 97) + (4,87 \times 0,468 \times 9) + (4,87 \times 0,455 \times 226)}{(38,95 \times 0,25 \times 87)} \times 100$$
$$\eta = \frac{769.74}{847.16} \times 100$$
$$\eta = 90,86\%$$

- *Indirect Method*

Tabel 4.1 Tabel data CCR

<i>Data</i>		
1.	<i>Fuel firing rate</i>	140216 kg/hr
2.	<i>Air temperature</i>	250 °C
3.	<i>%CO₂ in flue gas</i>	0
4.	<i>%CO in flue gas</i>	6.44
5.	<i>%O₂ in flue gas</i>	13.32
6.	<i>Average flue gas temperature</i>	378.4 °C
7.	<i>Ambient temperature</i>	33 °C
8.	<i>Humidity in ambient air</i>	0,025 kg / kg dry air
9.	<i>Surface temperature of HRSG</i>	120 °C
10.	<i>Wind velocity around the HRSG</i>	3,8 m/s
11.	<i>Total surface area of HRSG</i>	5616.31 m ²
12.	<i>C_p (Specific Heat)</i>	0,25
13.	<i>C_p_x (Specific Heat)</i>	0,45
<i>Fuel Analysis in (%)</i>		
1.	<i>Sulphur</i>	0
2.	<i>Moisture in fuel</i>	0
3.	<i>Carbon content</i>	69
4.	<i>Hydrogen content</i>	21.9
5.	<i>Nitrogen content</i>	1.87
6.	<i>Oxygen content</i>	7.23
7.	<i>HHV of fuel</i>	11882.8 kCal/kg

Perhitungan efisiensi boiler ini untuk mengetahui heat loss yang terjadi di HRSG PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA (LINDE Group) dengan menggunakan ASME PTC 4.1 selanjutnya didapatkan $\dot{m}_{fluegas}$ untuk perhitungan *heat flux* dan (AAS) *actual air suplay* yaitu kebutuhan udara yang dibutuhkan ketika pembakaran.

- a) *Theoretical air* yang dibutuhkan untuk pembakaran (kg/kg of fuel)

Udarapembakaran

$$= \frac{(11.6xC) + \{34.8x(H_2 - O_2/8)\} + (4.35xS)}{100}$$

$$= \frac{(11.6x69) + \{34.8x(21.9 - 7.23/8)\} + (4.35x0)}{100}$$

Udara pembakaran = 15.31 kg/kg of fuel

- b) *Excess air supplied* (dari analisis flue gas)

$$Excessair = \frac{O_2 \%}{21 - O_{2\%}} \times 100$$

$$Excessair = \frac{13.32}{21 - 13.32} \times 100$$

$$Excessair = 173.44 \%$$

- c) *Actual mass of air supplied (AAS)*

$$AAS = \{1 + EA/100\} \times theoreticalair$$

$$AAS = \{1 + 173.44/100\} \times 15.31$$

$$AAS = 41.87 \text{ kg/kg of fuel}$$

AAS in kg/sec

$$AAS = AAS \text{ (kg/kg of fuel)} \times \text{Fuel firing rate}$$

$$= 41.87 \text{ kg/kg of fuel} \times 1149 \text{ kg/hr}$$

$$= 13.36 \text{ kg/sec}$$

- d) *Actual mass of dry flue gas*

Mass of dry flue gas =

Mass of CO₂ + Mass of N₂ in the fuel + Mass of N₂ in the combustion air supplied +

Mass of oxygen in the flue gas + Mass of S in the fuel

Mass of dry flue gas

$$= \frac{\frac{69}{100} \times 44}{12} + \frac{1.87}{100} + \frac{41.86 \times 77}{100} + \frac{13.32 \times 23}{100} + \frac{0}{100}$$

Mass of dry flue gas = 37.85 kg/kg of fuel

Mass of dry flue gas in kg/sec

Mass of dry flue gas

$$= \text{Mass of dry flue gas (kg/kg of fuel)} \times \text{Fuel firing rate}$$

$$= 37.85 \text{ kg/kg of fuel} \times 1149 \text{ kg/hr}$$

$$= 43489.65 \text{ kg/hr}$$

$$= 12.08 \text{ kg/sec}$$

e) Menghitung heat losses yang terjadi

- Heat loss to dry flue gas

$$L_1 = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a)}{\text{HHV of fuel}} \times 100$$

$$L_1 = \frac{37.8489 \times 0.25 \times (120 - 33)}{11882.8} \times 100$$

$$L_1 = 6.93 \%$$

- Heat loss due to formation of water from H_2 in fuel

$$L_2 = \frac{9 \times H_2 \times \{584 + C_{px} (T_f - T_a)\}}{\text{HHV of fuel}} \times 100$$

$$L_2 = \frac{9 \times \frac{21.9}{100} \times \{584 + 0.45 (120 - 33)\}}{11882.8} \times 100$$

$$L_2 = 10.34 \%$$

- Heat loss due to moisture in fuel

$$L_3 = \frac{M \times \{584 + C_{px} (T_f - T_a)\}}{\text{HHV of fuel}} \times 100$$

$$L_3 = \frac{\frac{0.18}{100} \times \{584 + 0.45 (120 - 33)\}}{11882.8} \times 100$$

$$L_3 = 0.00068 \%$$

- Heat loss due to moisture in air

$$L_4 = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_{px} \times (T_f - T_a)}{\text{HHV of fuel}} \times 100$$

$$L_4 = \frac{41.87 \times 0.025 \times 0.45 \times (120 - 33) \times 100}{11882.8}$$

$$L_4 = 0.34\%$$

- *Heat loss due to partial conversion of C to CO*

$$L_5 = \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{HHV_{of fuel}} \times 100$$

$$L_5 = \frac{0 \times \frac{69}{100}}{0 + 6.44} \times \frac{5744}{11882.8} \times 100$$

$$L_5 = 0\%$$

- *Heat due to radiation and convection*

$$L_6 = 0.5\%$$

Sehingga efisiensi HRSG yang terjadi sesuai perhitungan *indirect methode* menggunakan ASME PTC 4.1 adalah

$$\text{Efisiensi} = 100\% - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6)$$

$$= 100\% - (6.93 + 10.34 + 0.00068 + 0.34 + 0 + 0.5)$$

$$= 81.98\%$$

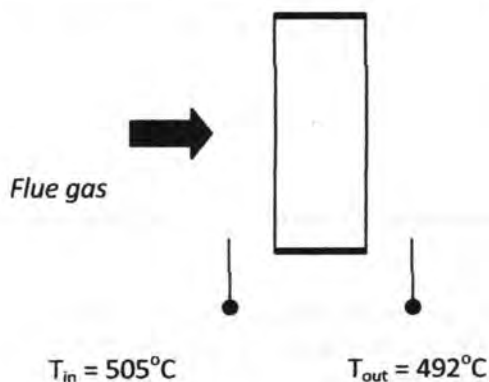
4.1.2 Perhitungan *porosity*, *T surface*, perpindahan panas dan *inertial resistance*

Perhitungan *porosity* dibutuhkan untuk mendapatkan ratio terjadinya perpindahan panas pada jajaran *heat exchanger*. Perhitungan *T surface* dibutuhkan untuk mengetahui temperatur wall tube pada jajaran *heat exchanger*. Perhitungan *inertial resistance* untuk mengetahui konstanta yang dibutuhkan pada *porous media*

4.1.2.1 Perhitungan pada *Secondary Superheater*

Tabel 4.2 Data pada *secondary superheater*

No.	Data	Unfired	Satuan
1	t1 (flue gas in)	505	$^{\circ}\text{C}$
2	t2 (flue gas out)	492	$^{\circ}\text{C}$
3	a (t steam in)	352	$^{\circ}\text{C}$
4	b (t steam out)	399	$^{\circ}\text{C}$
5	Δp	57	(Pa)
6	velocity		m/s
7	p (panjang)	0,3	m
8	l (lebar)	1,7	m
9	t (tinggi)	7,2	m
10	Diameter tube	0,07	m
11	Jumlah tube	24	pcs



- Porosity pada Secondary Superheater

$$porosity = 1 - \frac{(volume\ tube \times jumlah\ tube)}{volume\ Heat\ exchanger}$$

$$= 1 - \frac{(0.25 \times \pi \times D^2 \times l \times N)}{p \times l \times t}$$

$$= 1 - \frac{(0.25 \times \pi \times 0.07^2 \times 7.2 \times 24)}{0.3 \times 1.7 \times 7.2}$$

$$= 1 - \frac{0.6646}{3.672}$$

$$= 0.82$$

- T Surface pada secondary superheater

$$T_{surface} = \frac{\left(\frac{T_1 + T_2}{2}\right) + \left(\frac{a + b}{2}\right)}{2}$$

$$= \frac{\left(\frac{505 + 402}{2}\right) + \left(\frac{352 + 399}{2}\right)}{2}$$

$$= 437^\circ\text{C}$$

- Perpindahanpanas (q) yang terjadi di *secondary superheater*

$$q = \dot{m}_{fluegas} \times C_{p_{fluegas}} \times (T_{in} - T_{out})^\circ\text{C}$$

$$q = 38.95\text{ kg/s} \times 0.25\text{ kJ/kg.K} \times (505 - 402)^\circ\text{C}$$

$$= 126.59\text{ kJ/s}$$

- Inertial resistance pada *secondary superheater*(C₂)

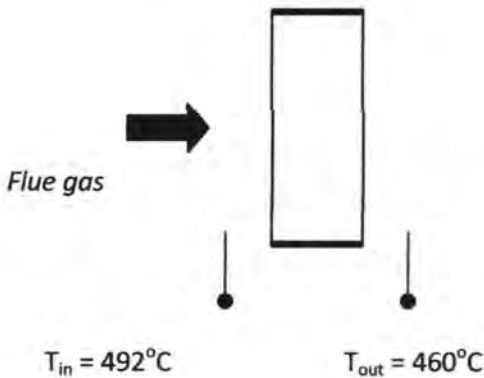
$$\Delta p = \rho C_2 \frac{v^2}{2}$$

$$\begin{aligned}
 C_2 &= \frac{\Delta p x 2}{\rho x v^2} \\
 &= \frac{57 x 2}{0,8 x 4,4^2} \\
 &= 7.36
 \end{aligned}$$

4.1.2.2 Perhitungan pada *primary superheater*

Tabel 4.3 Data pada *primary superheater*

No.	Data	Unfired	Satuan
1	t1 (flue gas in)	492	°C
2	t2 (flue gas out)	460	°C
3	a (t steam in)	255	°C
4	b (t steam out)	352	°C
5	Δp	110	(Pa)
6	velocity	3,76	m/s
7	p (panjang)	0,3	m
8	l (lebar)	1,7	m
9	t (tinggi)	7,2	m
10	Diameter tube	0,07	m
11	Jumlah tube	24	pcs



- Porosity pada *primary superheater*

$$\begin{aligned}
 \text{porosity} &= 1 - \frac{(\text{volumetubexjumlahtube})}{\text{volumeHeatexchanger}} \\
 &= 1 - \frac{(0.25 \times \pi \times D^2 \times l \times N)}{p \times l \times t} \\
 &= 1 - \frac{(0.25 \times \pi \times 0.07^2 \times 7.2 \times 24)}{0.3 \times 1.7 \times 7.2} \\
 &= 1 - \frac{0.6646}{3.672} \\
 &= 0.82
 \end{aligned}$$

- T Surface pada *primary superheater*

$$T_{surface} = \frac{\left(\frac{T_1 + T_2}{2}\right) + \left(\frac{a + b}{2}\right)}{2}$$

$$= \frac{\left(\frac{492 + 460}{2}\right) + \left(\frac{255 + 352}{2}\right)}{2}$$

$$= 389,75^{\circ}\text{C}$$

- Perpindahan panas (q) yang terjadi di *primary superheater*

$$q = \dot{m}_{fluegas} \times C_{pfluegas} \times (T_{in} - T_{out})^{\circ}\text{C}$$

$$q = 38.95 \text{ kg/s} \times 0.25 \text{ kJ/kg.K} \times (492 - 460)^{\circ}\text{C}$$

$$= 311,6 \text{ kJ/s}$$

- Inertial resistance pada *primary superheater* (C_2)

$$\Delta p = \rho C_2 \frac{v^2}{2}$$

$$C_2 = \frac{\Delta p \times 2}{\rho x v^2}$$

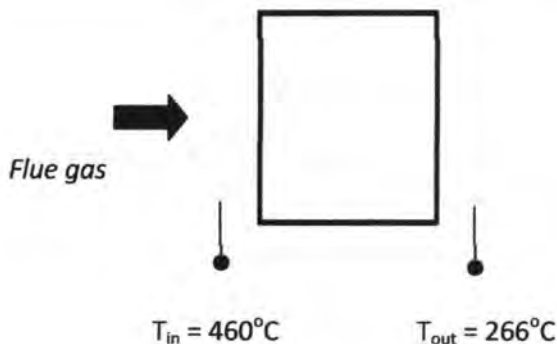
$$= \frac{110 \times 2}{0,8 \times 3.76^2}$$

$$= 19.45$$

4.1.2.3 Perhitungan pada *evaporator*

Tabel 4.4 Data pada *evaporator*

No.	Data	Unfired	Satuan
1	t1 (flue gas in)	460	$^{\circ}\text{C}$
2	t2 (flue gas out)	266	$^{\circ}\text{C}$
3	a (t steam in)	246	$^{\circ}\text{C}$
4	b (t steam out)	255	$^{\circ}\text{C}$
5	Δp	1086	(Pa)
6	velocity	2,6	m/s
7	p (panjang)	2,7	m
8	l (lebar)	1,7	m
9	t (tinggi)	7,2	m
10	Diameter tube	0,07	m
11	Jumlah tube	216	pcs



- Porosity pada *evaporator*

$$\begin{aligned}
 \text{porosity} &= 1 - \frac{(\text{volumetubexjumlautube})}{\text{volumeHeatexchanger}} \\
 &= 1 - \frac{(0.25 \times \pi \times D^2 \times l \times N)}{p \times l \times t} \\
 &= 1 - \frac{(0.25 \times \pi \times 0.07^2 \times 7.2 \times 216)}{2.7 \times 1.7 \times 7.2} \\
 &= 1 - \frac{5.98}{33.048} \\
 &= 0.82
 \end{aligned}$$

- T Surface pada *evaporator*

$$\begin{aligned}
 T_{\text{surface}} &= \frac{\left(\frac{T_1 + T_2}{2}\right) + \left(\frac{a + b}{2}\right)}{2} \\
 &= \frac{\left(\frac{460 + 266}{2}\right) + \left(\frac{246 + 255}{2}\right)}{2} \\
 &= 306.75^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

- Perpindahanpanas (q) yang terjadi di *evaporator*

$$\begin{aligned}
 q &= \dot{m}_{\text{fluegas}} \times C_{p\text{fluegas}} \times (T_{\text{in}} - T_{\text{out}})^\circ\text{C} \\
 q &= 38.95 \text{ kg/s} \times 0.25 \text{ kJ/kg.K} \times (460 - 266)^\circ\text{C} \\
 &= 1889.075 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

- Inertial resistance pada *evaporator* (C_2)

$$\Delta p = \rho C_2 \frac{v^2}{2}$$

$$C_2 = \frac{\Delta p \times 2}{\rho v^2}$$

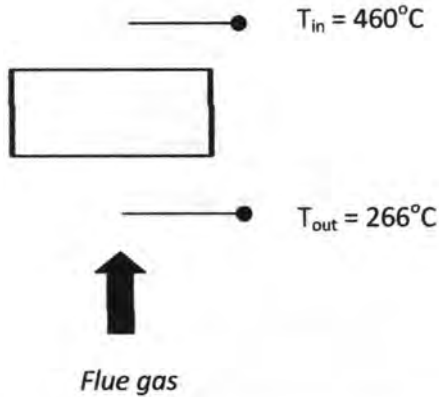
$$= \frac{1086 \times 2}{0,8 \times 3.76^2}$$

$$= 401.627$$

4.1.2.4 Perhitungan pada *economizer*

Tabel 4.5 Data pada *economizer*

No.	Data	Unfired	Satuan
1	t1 (flue gas in)	266	°C
2	t2 (flue gas out)	169	°C
3	a (t steam in)	60	°C
4	b (t steam out)	246	°C
5	Δp	583	(Pa)
6	velocity	3,9	m/s
7	p (panjang)	5,4	m
8	l (lebar)	1,7	m
9	t (tinggi)	2,1	m
10	Diameter tube	0,07	m
11	Jumlah tube	124	pcs



- Porosity pada *economizer*

$$\begin{aligned}
 \text{porosity} &= 1 - \frac{(\text{volumetubexjumlautube})}{\text{volumeHeatexchanger}} \\
 &= 1 - \frac{(0.25 \times \pi \times D^2 \times l \times N)}{p \times l \times t} \\
 &= 1 - \frac{(0.25 \times \pi \times 0.07^2 \times 5,4 \times 124)}{5,4 \times 1,7 \times 2,1} \\
 &= 1 - \frac{2,57}{19,278} \\
 &= 0.86
 \end{aligned}$$

- T Surface pada *economizer*

$$T_{\text{surface}} = \frac{\left(\frac{T_1 + T_2}{2}\right) + \left(\frac{a + b}{2}\right)}{2}$$

$$= \frac{\left(\frac{266 + 169}{2}\right) + \left(\frac{246 + 60}{2}\right)}{2}$$

$$= 185,25^{\circ}\text{C}$$

- Perpindahan panas (q) yang terjadi di *economizer*

$$q = \dot{m}_{ftuegas} \times C_{pftuegas} \times (T_{in} - T_{out})^{\circ}\text{C}$$

$$q = 38.95 \text{ kg/s} \times 0.25 \text{ kJ/kg.K} \times (266 - 169)^{\circ}\text{C}$$

$$= 944,5357 \text{ kJ/s}$$

- Inertial resistance pada *economizer* (C_2)

$$\Delta p = \rho C_2 \frac{v^2}{2}$$

$$C_2 = \frac{\Delta p \times 2}{\rho \times v^2}$$

$$= \frac{583 \times 2}{0,8 \times 3.9^2}$$

$$= 104940$$

4.2 Analisa Hasil Simulasi

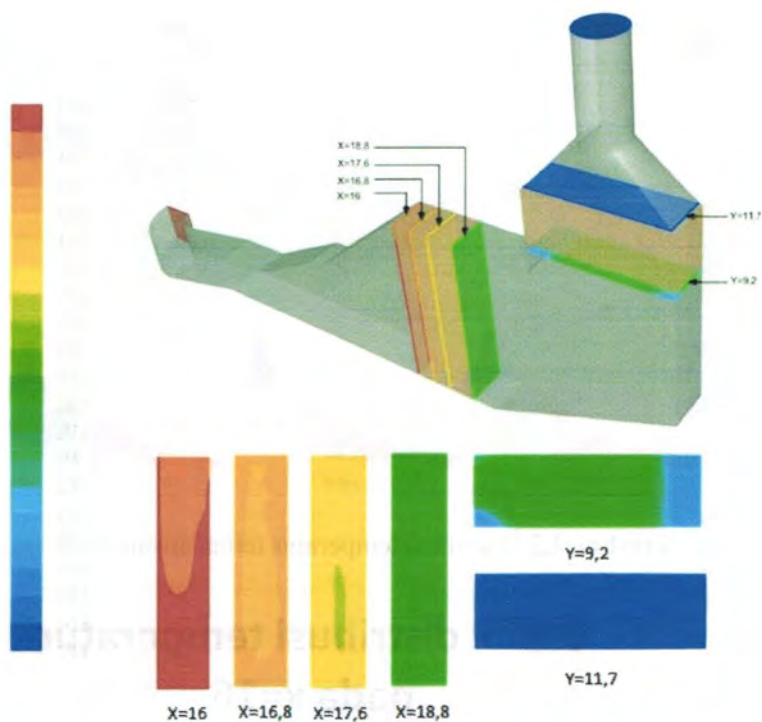
Setelah melakukan perhitungan *porosity*, *Tsurface*, dan *inertial resistance* untuk masing-masing jajaran *heat exchanger*. Data hasil perhitungan tersebut di masukkan dalam software *fluent*. Setelah proses simulasi selesai kemudian diambil data kuantitatif dan kualitatif.

4.2.1 Analisa Data Kualitatif dan Kuantitatif Kontur Temperatur

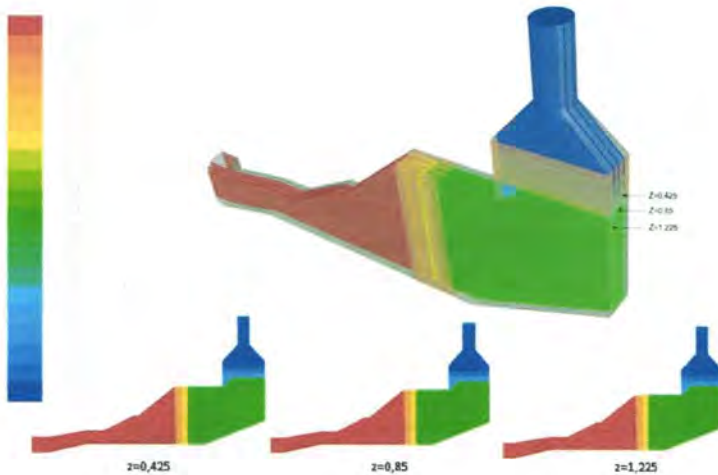
Data kontur temperatur diambil pada pada posisi sesaat sebelum dan sesudah masing-masing *heat exchanger* dan pada posisi *midspan* / tengah dari bodi. Kontur temperatur yang diambil pada setiap sesaat sebelum dan sesudah digunakan untuk mengetahui distribusi temperatur pada daerah tersebut. Kontur temperatur yang diambil pada posisi *midspan* secara vertikal untuk mengetahui distribusi temperatur yang terbentuk dari *inlet* hingga *outlet HRSG*. Pengambilan data diambil dengan membuat potongan *slash* pada bagian yang diinginkan.

Gambar 4.1 adalah gambar distribusi temperatur terhadap sumbu x dan y yang merupakan posisi sesaat sebelum dan sesudah *heat exchanger*. $x=16$ merupakan distribusi temperatur sesaat sebelum memasuki *secondary superheater* terhadap sumbu x dengan jarak 16m dari titik acuan dan seterusnya. Pengambilan data dilakukan pada posisi sesaat sebelum dan sesudah *heat exchanger* untuk mengetahui perbedaan temperatur yang terjadi pada fluida akibat melalui *heat exchanger*. Secara garis besar dapat dilihat bahwa temperatur menurun dari sekitar 505°C menuju 125°C setelah melalui deretan *heat exchanger*, penurunan ini terjadi akibat sebagian panas yang terbentuk diserap oleh jajan *heat exchanger*.

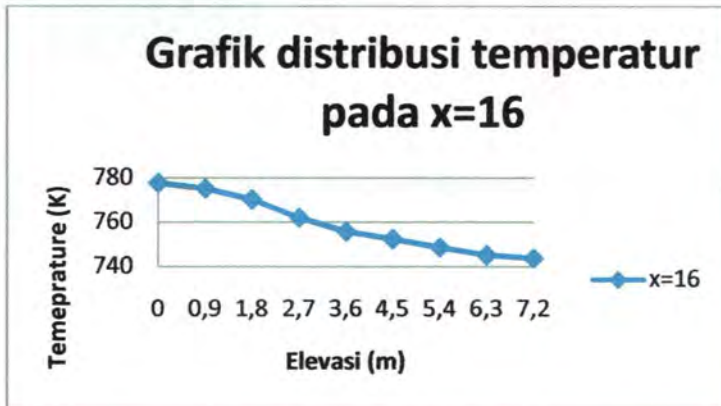
Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa tidak banyak perubahan temperatur terhadap sumbu z, hal ini mengindikasikan temperatur secara garis besar cukup merata terhadap sumbu z dimana terdapat penurunan temperatur yang cukup significant pada saat setelah fluida melewati jajan *heat exchanger*.



Gambar 4.1 Distribusi temperatur terhadap sumbu x dan y



Gambar 4.2 Distribusi temperatur terhadap sumbu z



Gambar 4.3 Grafik distribusi temperatur

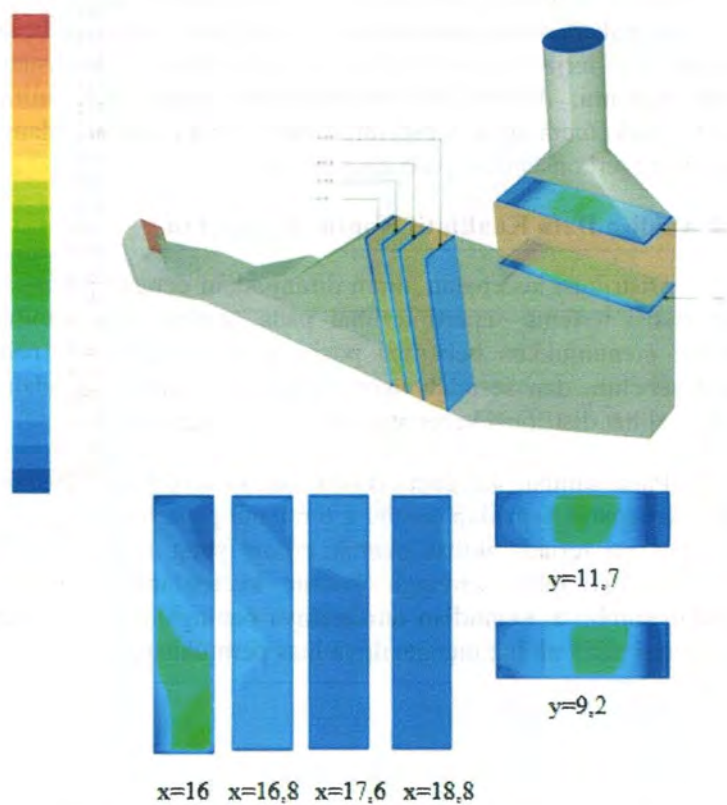
Pada grafik 4.3 dapat dilihat adanya perbedaan temperatur pada posisi yang sama terhadap elevasinya, hal ini

disebabkan oleh bentuk dari bodi sebelum mencapai titik tersebut yang merupakan *elbow* dan *enlargement/diffuser* sehingga besar kemungkinan terjadinya olakan/*vortex* pada aliran fluida disuatu daerah tertentu. Akibat dari terbentuknya *vortex* pada aliran adalah tidak meratanya temperatur pada aliran akibat adanya panas yang terkonsentrasi pada daerah tertentu.

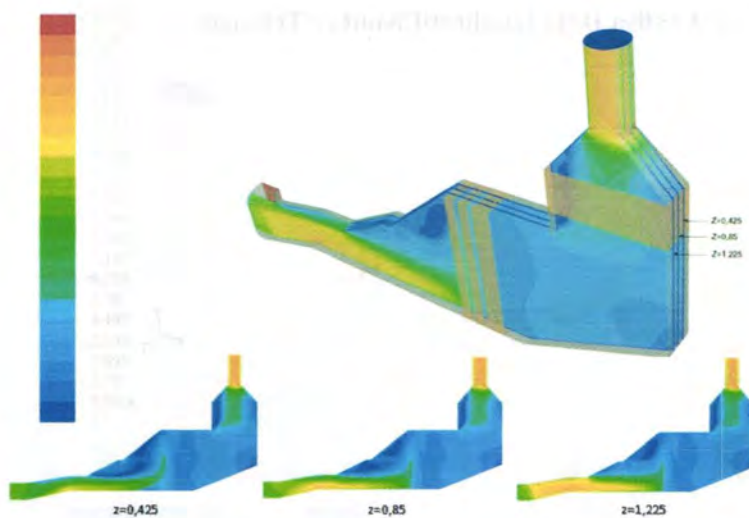
4.2.2 Analisa Data Kualitatif Kontur Kecepatan

Distribusi kecepatan aliran ditunjukkan dengan potongan pada posisi tertentu seperti terlihat pada gambar 4.4. Gambar tersebut menunjukkan beberapa posisi yang tepat berada pada sesaat sebelum dan sesudah *heat exchanger*. Tujuannya adalah untuk melihat distribusi kecepatan pada daerah tersebut.

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan kontur kecepatan terhadap sumbu z terutama pada bagian setelah inlet. hal ini terjadi akibat bentuk *elbow* yang terdapat tepat setelah posisi inlet sehingga kontur kecepatannya berbeda terhadap sumbu z. kemudian terdapatnya peningkatan kecepatan pada posisi *stack* akibat mengecilnya luas permukaan.

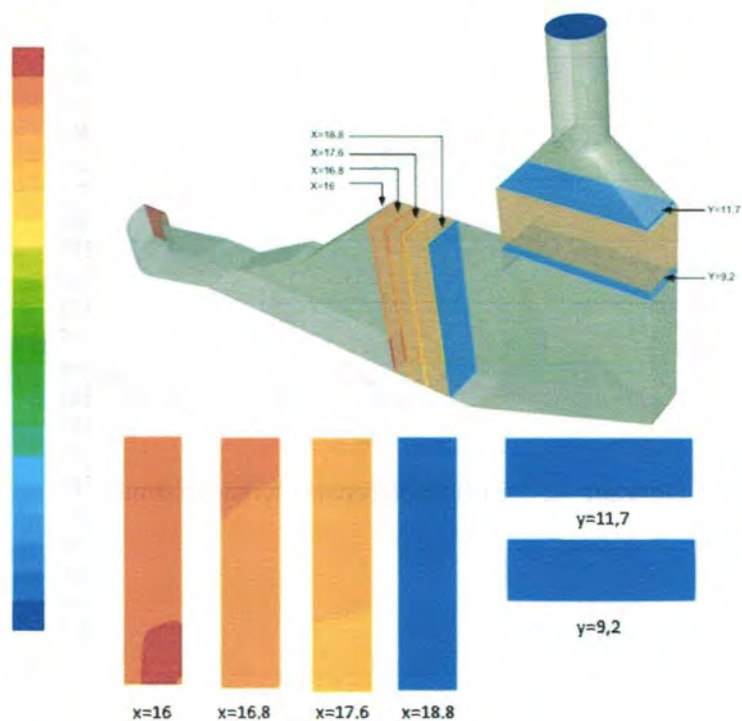


Gambar 4.4 Distribusi kecepatan terhadap sumbu x dan y

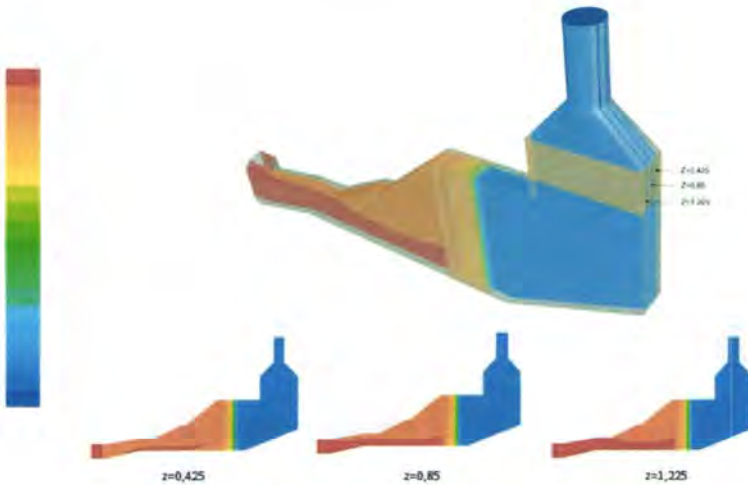


Gambar 4.5 Distribusi kecepatan terhadap sumbu z

4.2.3 Analisa Data Kualitatif Kontur Tekanan



Gambar 4.6 Distribusi tekanan terhadap sumbu x dan y



Gambar 4.7 Distribusi tekanan terhadap sumbu z

Pada gambar 4.6 data diambil sesaat sebelum dan sesudah melalui *heat exchanger*, hal ini dilakukan untuk mengetahui *pressure drop* yang diakibatkan oleh masing-masing *heat exchanger*. dengan mengetahui *porosity* dan C_2 maka *pressure drop* dapat dibandingkan antara perhitungan dan simulasi.

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan kontur tekanan terhadap sumbu z terutama pada daerah sesudah inlet, hal ini disebabkan oleh bentuk *elbow* yang berada pada posisi tepat setelah *inlet*.

4.2.4 Analisa Data Kualitatif Pathline



Gambar 4.8 Kontur *velocity pathline*

Pada gambar 4.8 dibawah ini adalah *velocity pathline* gambar ini bertujuan untuk mengetahui visualisasi aliran yang terjadi selama proses perpindahan panas berlangsung di dalam HRSG PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA (LINDE Group). Visualisasi aliran yang ditampilkan pada gambar ini adalah aliran *fluegas* yang dimasukkan kedalam HRSG. Pada kondisi kenyataanya *fluegas* masuk ke dalam HRSG melalui *inlet* kemudian alur aliran berikutnya adalah *damper*, *distribution grid*, *duct burner*, *secondary superheater*, *primary superheater*, *evaporator*, *economizer* dan berujung ke *stack*. pada gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa aliran mengalami olakan/ *vortex* pada beberapa tempat terutama pada bentuk bodi *elbow* dan *enlargement*.

Pada gambar 4.8 juga terdapat gambar *velocity pathline* dari partikel *fluegas* yang dilihat dari atas. Dari gambar tersebut terlihat bahwa visualisasi aliran *fluegas* yang terjadi didalam

HRSR mengalami olakan/*vortex* terutama yang dikibatkan oleh adanya *elbow* pada posisi sesaat setelah inlet.

4.3 Analisa Data Kualitatif Distribusi Tekanan

Untuk mendapatkan data kualitatif ini dilakukan pengambilan data dengan cara melakukan pemotongan pada bagian yang diinginkan sesuai data yang ada di PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA (LINDE Group).

Tabel 4.6 Tabel distribusi CCR terhadap numerik

No	Lokasi	Δp		Error
		CCR (pa)	Numerik (pa)	
1.	<i>Secondary superheater</i>	57	61,54	0,08
2.	<i>Primary superheater</i>	110	116,14	0,06
3.	<i>Evaporator</i>	1086	1084,96	$8,8 \times 10^{-7}$
4.	<i>Economizer</i>	583	1,87	0.92

Data yang diambil ada empat lokasi yaitu pada *secondary superheater*, *primary superheater*, *evaporator*, dan *economizer*. Data *pressure drop* tersebut akan dibandingkan dengan data yang ada di (CCR) *central control room* atau referensi yang ada di PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA (LINDE Group). Pada tabel 4.9 terlihat *pressure drop* pada masing-masing lokasi dan terlihat hasil numerik hampir sama dengan data yang ada di CCR. Akan tetapi *pressure drop* dari numerik tidak sama persis dengan data yang ada di referensi dari CCR. Error dari hasil simulasi numerik dan referensi CCR adalah sebagai berikut pada *secondary superheater* sebesar 8 %, pada *primary superheater* sebesar 6%, pada *evaporator* sebesar 0.00008% dan yang terakhir pada *economizer* sebesar 92 %

Penyebab perbedaan antara numerik dengan data CCR adalah kurang akuratnya proses simulasi dan simplifikasi dari jajaran *heat exchanger* terutama pada bagian *economizer*. Estimasi penyerapan panas pada jajaran *heat exchanger* yang tidak sesuai dengan kondisi aktual. Estimasi dilakukan karena data pada referensi CCR kurang lengkap.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari simulasi yang dilakukan pada permodelan HRSG PT. GRESIK GASES and POWER INDONESIA (LINDE Group) untuk mengetahui aliran dan karakteristik aliran secara numerik dengan menggunakan *software* fluent didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Kontur temperatur pada permodelan yang dilakukan didapatkan hasil yaitu panas yang terdapat pada suatu posisi berbeda pada setiap elevasinya. Hal ini terjadi karena bodi yang berbentuk *elbow* dan *enlargement* yang mempengaruhi arah aliran dan juga mengakibatkan olakan/vortex pada lokasi tertentu.
2. Kontur kecepatan pada permodelan yang dilakukan didapatkan hasil kecepatan yang tidak seragam. kecepatan menurun pada saat melalui daerah *enlargement* dan meningkat kembali ketika memasuki daerah *contraction*. Selain itu kecepatan jg dipengaruhi oleh adanya *elbow* pada bodi.
3. Kontur tekanan pada permodelan yang dilakukan pengambilan data pada posisi sesaat sebelum dan sesudah *heat exchanger* untuk mengetahui *pressure drop* yang terjadi pada masing-masing *heat exchanger*. Data *pressure drop* dari numerik digunakan untuk memvalidasi data dari referensi CCR.
4. Aliran *pathline* partikel dari *flue gas* terlihat bahwa ada beberapa aliran *flue gas* yang mengalami olakan / vortex terutama akibat bentuk *elbow*, *enlargement*, dan *contraction* pada bodi.
5. Error dari hasil simulasi numerik dan referensi CCR adalah sebagai berikut pada *secondary superheater*

sebesar 8 %, pada *primary superheater* sebesar 6%, pada *evaporator* sebesar 0.00008% dan yang terakhir pada *economizer* sebesar 92 % .

V.2 Saran

1. Untuk mendapatkan hasil simulasi yang sesuai dengan kondisi nyatanya maka permodelan yang dilakukan harus mengurangi simplifikasi yang ada agar hasilnya lebih akurat.
2. Referensi dan informasi dari *CCR* yang lengkap akan memudahkan mendapatkan hasil simulasi yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

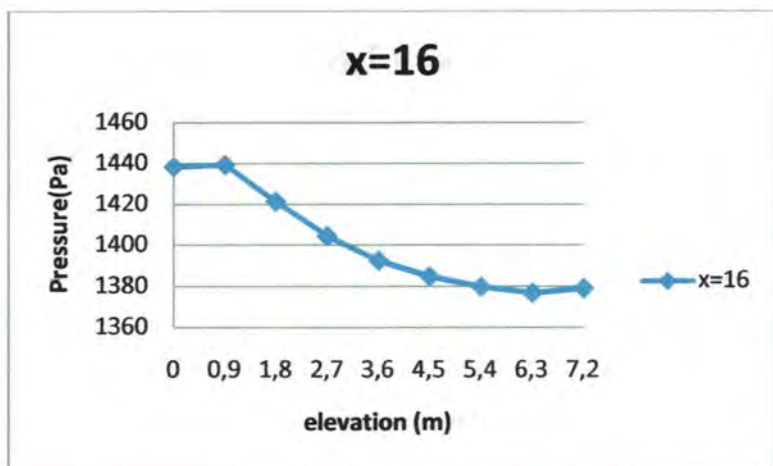
1. Veera V, CFD Modeling of Heat Recovery Steam Generator and its Components Using Fluent, University of Kentucky, 2005
2. Milton B. Bell, dkk. CONTROLLING STEAM PRODUCTION IN HEAT RECOVERY STEAM GENERATORS FOR COMBINED CYCLE AND ENHANCED OIL RECOVERY OPERATIONS, Vogt Power International Inc., 2003
3. Shin H, dkk. Investigation of the Flow Pattern in a Complex Inlet Duct of a Heat Recovery Steam Generator, 3R & D Center, SeenTec Co., Ltd., Changwon, 641-969, South Korea
4. Pharam H.K, dkk. HYDRODYNAMIC ANALYSIS OF FLUE GAS FLOW BEHAVIOR WITHIN A HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR, R&D Department, MapnaBoiler Co., Tehran, Iran
5. L. Mu, H. Yin, Modelling and Measurements of the Characteristics of Ash Deposition and Distribution in a HRSG of Wastewater Incineration Plant, Applied Thermal Engineering, 2012
6. Buecker, *Basics of Boiler and HRSG Design*, 2nd ed., PennWell, Tulsa, 2002
7. Fluent 6.3 User's Guide, FLUENT Inc

ZURN INDUSTRIES, INC. ENERGY DIVISION HEAT RECOVERY SYSTEMS ERIE, PA. USA 16503			DESIGN - PERFORMANCE SUMMARY SHEET GENERAL ORDER NUMBER SHEET 4 OF 4 Metric Units			DRAWING NO. DP- 1953 REVISION 2						
Owner's Name, Grade, Loc., Contact Information			Engine's Name, Size & Year, Horsepower			Plant's Gross Power at HP Combined Cycle Plant						
Contract No.			Contract No.			1953						
WATER/STEAM SIDE PREDICTED PERFORMANCE						EXHAUST GAS SIDE PREDICTED PERFORMANCE						
CASE NUMBER			CASE NUMBER			CASE NUMBER			CASE NUMBER			
AMBIENT TEMP., DEG. C			AMBIENT TEMP., DEG. C			AMBIENT TEMP., DEG. C			AMBIENT TEMP., DEG. C			
GAS TURBINE FUEL			NAT GAS/NAT GAS			BURNER FUEL			NAT GAS / N/A			
SUPPLEMENTAL FIRING			YES / NO			SUPPLEMENTAL FIRING			YES / NO			
QUANTITIES	HP STEAM FLOW		36494		17349		TURBINE EXHAUST		140216		140216	
	HP DESUPERHEAT		2591		0		SUPPLEMENTAL FUEL		1149		0	
	HP EVAP. OUTLET		13812		17549		AUGMENTING AIR		-141		-141	
	HP BLOWDOWN		341		177		COMBINED EXHAUST		141224		140075	
	FEED WATER		34154		17726		H2O		5.39		5.39	
							NO		72.84		72.84	
							CO2		4.27		4.27	
							O2		16.32		16.32	
							SO2		0		0	
							AR		1.24		1.24	
PRESSURES	HP STEAM FLOW		43		41		TURBINE OUTLET		503		503	
	HP EVAP. OUTLET		49		43		GRID BURNER INLET		797		797	
							HP PRIM. SHTR. INLET		756		492	
							HP EVAP. INLET		673		460	
							HP ECON. INLET		283		266	
							HP ECON. OUTLET		137		169	
TEMPERATURES	FINAL STM. AIR SPRAY		404		395		HP SEC. SHTR.		0.82		0.57	
	HP SEC. SHTR. OUTLET		502		369		HP PRIM. SHTR.		1.48		1.19	
	HP SEC. SHTR. INLET		411		352		HP EVAP.		12.63		10.84	
	HP PRIM. SHTR. OUTLET		411		352		HP PRIM. ECON.		5.70		3.83	
	HP EVAP. OUTLET		264		255		DIST. GRID (allowance)		1.25		1.25	
	HP PRIM. ECON. OUTLET		213		246		DUCT BURNER (allowance)		0.75		0.75	
	HP ECON. INLET		60		60		DIAPHR. DAMPER (allowance)		0.75		0.75	
	HP ECON. OUTLET		60		60		DUCTS & STACK (allowance)		3.39		3.66	
	ATTEMP. WATER		60		60							
PRESSURE DROP	HP INLV		1.03		1.03		TOTAL		36.77		24.71	
	HP SEC. SHTR.		1.48		0.37							
	HP PRIM. SHTR.		0.75		0.32							
	HP SHTR. PIPING		0.41		0.11							
	HP ECON. (incl. static head)		2.06		0.59							
	HP ATTEMP.		0.34		0.34							
STEAM PURITY REQUIREMENTS						STEAM PURITY REQUIREMENTS						
CASE NUMBER			CASE NUMBER			CASE NUMBER			CASE NUMBER			
HP STEAM PURITY			HP STEAM PURITY			HP STEAM PURITY			HP STEAM PURITY			
HP DRUM MAX. ALLOW. TDS			2000			HP DRUM MAX. ALLOW. TDS			2000			

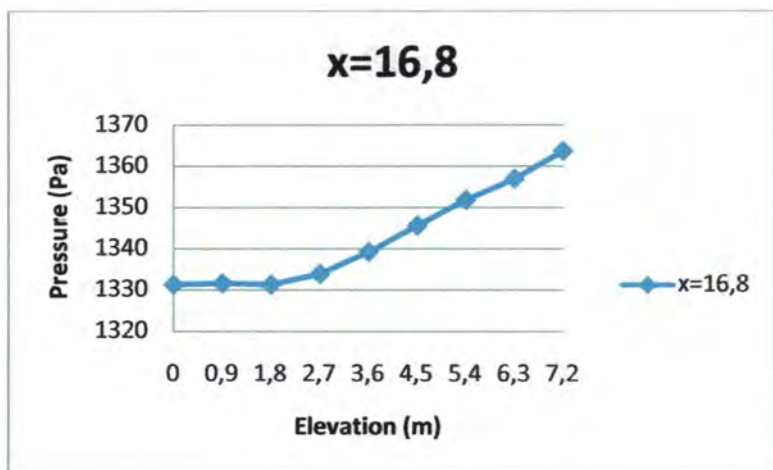
NOTES: THIS REPORT IS THE PROPERTY OF ZURN INDUSTRIES, INC. AND IS LOANED FOR YOUR USE ONLY. IT IS NOT TO BE REPRODUCED OR COPIED IN ANY MANNER WITHOUT PERMISSION.

PROPERTY OF ZURN INDUSTRIES, INC., ERIE, PA. USA

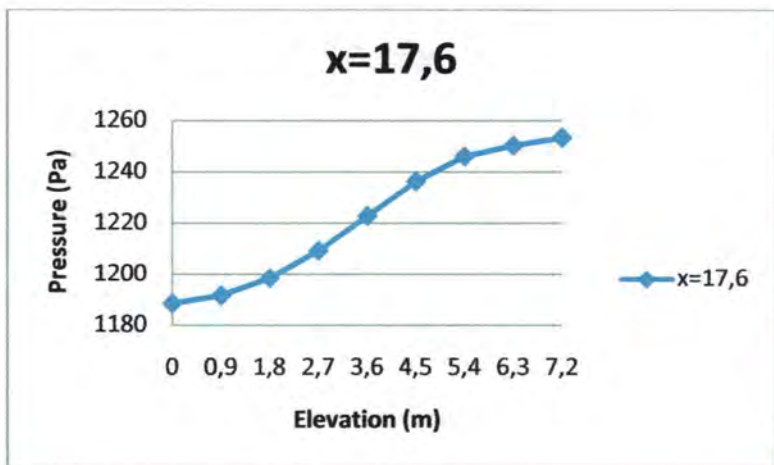
FORM 174-104



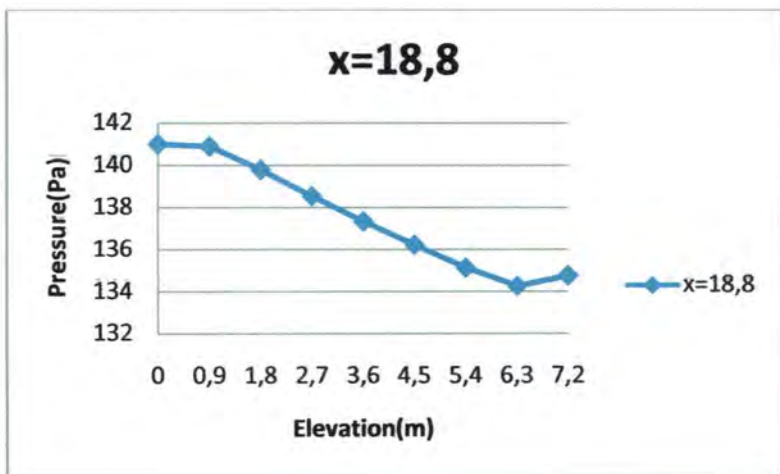
Grafik distribusi tekanan pada $x=16$



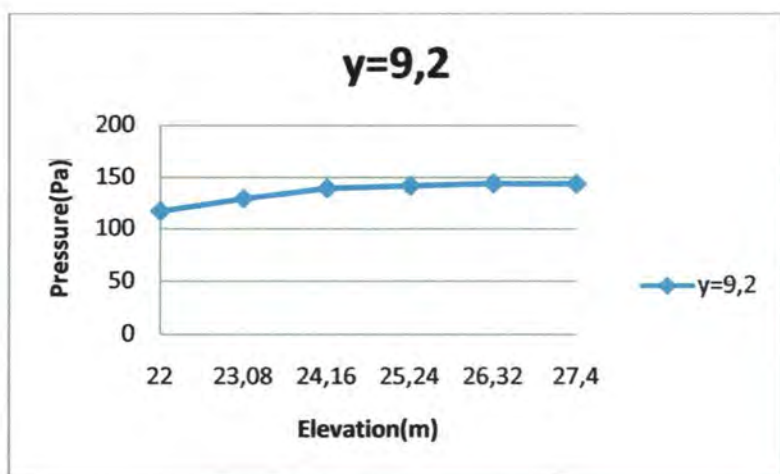
Grafik distribusi tekanan pada $x=16,8$



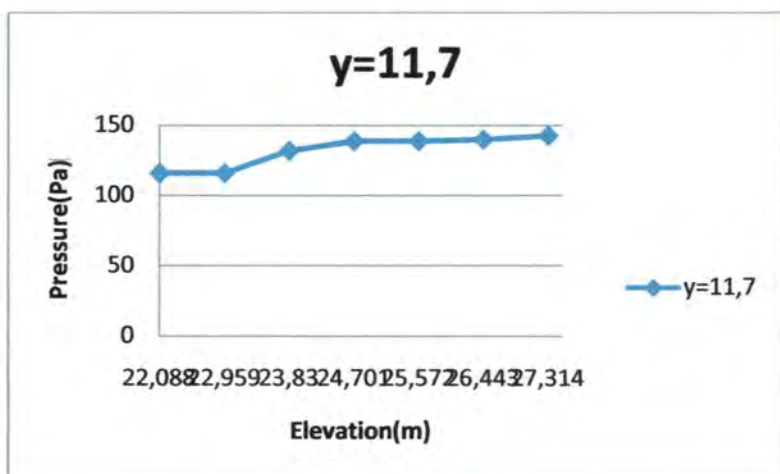
Grafik distribusi tekanan pada $x=17,6$



Grafik distribusi tekanan pada $x=18,8$



Grafik distribusi tekanan pada $y=9,2$



Grafik distribusi tekanan pada $y=11,7$

BIODATA PENULIS



Dhika suryananda dilahirkan pada tanggal 30 oktober 1989 di Jakarta. Putra ke 2 dari 2 bersaudara ini memulai pendidikannya di bangku TK Islam Harapan Ibu Jakarta, SD Islam Harapan Ibu Jakarta, SMPN 19 Jakarta, dan 70 Jakarta. Pada tahun 2007, penulis memutuskan untuk menempuh bangku perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur PMDK.

Semasa kuliah aktif di dalam organisasi kemahasiswaan Jurusan Teknik Mesin ITS, yaitu Mesin Music Club yang menaungi minat bakat mahasiswa dalam hal skill musik maupun softskill yang tidak kalah hebatnya.. Dalam segi akademik, penulis juga sering terlibat sebagai asisten kelas, maupun asisten Laboratorium Perpindahan Panas dan Termodinamika.