

TUGAS AKHIR- TM141585

**SIMULASI DISTRIBUSI KECEPATAN ALIRAN
UAP MELALUI TURBIN VENTILATOR VALVE
YANG MENGENAI PERMUKAAN PIPA
KONDENSOR DENGAN PENAMBAHAN SHEET
PROTECTION BERBENTUK CHEVRON**

MUHAMMAD FAJAR RAMADHAN
NRP. 2110 100 702

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

FINAL PROJECT - TM141585

***NUMERICAL STUDY OF VELOCITY
DISTRIBUTION OF STEAM THROUGH
TURBINE VENTILATOR VALVE ON THE
SURFACE OF CONDENSER TUBE WITH
ADDITION OF CHEVRON SHAPED SHEET
PROTECTION***

MUHAMMAD FAJAR RAMADHAN
NRP. 2110 100 702

Advisor
Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng

*MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016*

**SIMULASI DISTRIBUSI KECEPATAN ALIRAN UAP
MELALUI TURBIN VENTILATOR VALVE YANG
MENGENAI PERMUKAAN PIPA KONDENSOR
DENGAN PENAMBAHAN SHEET PROTECTION
BERBENTUK CHEVRON**

TUGAS AKHIR

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

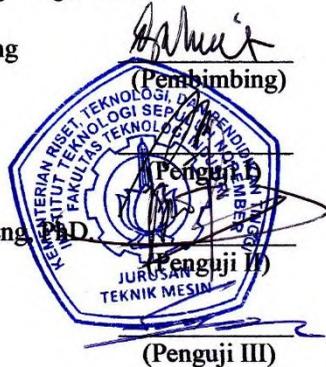
Oleh :

MUHAMMAD FAJAR RAMADHAN

Nrp. 2110 100 702

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng
(NIP.195310191979031002)
2. Ary Bachtiar K.P., ST, MT, PhD.
(NIP. 1971052411997021001)
3. Bb. Arip Dwiyantoro, ST, MT, M.Eng, PhD.
(NIP. 197804012002121001)
4. Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc
(NIP. 196604021989031002)



**SURABAYA
Juli 2016**

**SIMULASI DISTRIBUSI KECEPATAN ALIRAN UAP
MELALUI TURBIN VENTILATOR VALVE YANG
MENGENAI PERMUKAAN PIPA KONDENSOR DENGAN
PENAMBAHAN SHEET PROTECTION BERBENTUK
CHEVRON**

Nama Mahasiswa : Muhammad Fajar Ramadhan
NRP : 2110 100 702
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichسانی, M.Eng.

ABSTRAK

Kondensor merupakan alat penukar panas yang dapat digunakan untuk memanfaatkan atau mengambil panas dari suatu fluida untuk dipindahkan ke fluida lain. Jenis kondensor yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B adalah Twin Shell Single Pressure Surface Condenser. Kondensor merupakan salah satu komponen penting dalam siklus Rankine, apabila kondensor tidak berfungsi maka suatu pembangkit listrik tidak dapat beroperasi.

Penelitian dilakukan dengan menganalisis distribusi kecepatan dan temperature uap dari turbin ventilator valve menuju kondensor setelah melalui steam deflector dengan dan tanpa adanya sheet protection. Fluida kerja yang digunakan berupa uap air dengan kecepatan 1374.25 m/s yang dimodelkan sebagai fluida yang mengalir pada suatu pipa kemudian mengenai steam deflector sebelum memasuki

kondensor. Studi numerik dilakukan secara 3 (tiga) dimensi dengan kondisi aliran steady dan turbulen dengan prinsip Computational Fluid Dynamic (CFD) menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6 untuk tahapan pembuatan domain dan disimulasikan dalam perangkat lunak FLUENT 6.3.26.

Dari hasil simulasi menggunakan FLUENT 6.3.26 bisa didapatkan karakteristik aliran berupa visualisasi aliran berupa kontur kecepatan, vector kecepatan dan distribusi kecepatan pada permukaan pipa condenser dengan variasi ketinggian sheet protection. Variasi pertama sheet protection terletak di $y = -1$ m, kedua $y = -1.2$ m dan yang ketiga $y = -1.5$ m. Setelah dilakukan simulasi didapatkan kecepatan yang paling tinggi pada permukaan pipa condenser berturut-turut 11 m/s, 12 m/s dan 14.5 m/s. Dengan kecepatan yang sudah didapat dari simulasi kemudian dilakukan analisis fatigue terhadap ketiga kondisi penelitian. Setelah dilakukan analisis fatigue dengan penambahan sheet protection pada condenser, tube condenser tidak mengalami kerusakan dikarenakan tegangan yang terjadi berada di bawah kurva fatigue limit.

Kata kunci : condenser, steam deflector, sheet protection

**NUMERICAL STUDY OF VELOCITY DISTRIBUTION OF
STEAM THROUGH TURBINE VENTILATOR VALVE ON
THE SURFACE OF CONDENSER TUBE WITH
ADDITION OF CHEVRON SHAPED SHEET
PROTECTION**

Name : Muhammad Fajar Ramadhan
NRP : 2110 100 702
Departement : Mechanical Engineering FTI – ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.

ABSTRACT

The condenser is a heat exchanger that can be used to take heat from a fluid to be transferred to another fluid. Type of condenser used in steam power plant (power plant) Tanjung Jati B is a Twin Shell Single Pressure Surface Condenser. The condenser is one of the important components in the Rankine cycle, if the condenser does not work then a power plant can not operate.

The study was conducted by analyzing the distribution of the velocity and temperature of the steam from turbine ventilator valve to the condenser through steam deflector with and without the protection sheet. The working fluid that is used in the form of water vapor at a speed of 1374.25 m/s which is modeled as a fluid flowing in a pipe then hit steam deflector before entering the condenser. Numerical studies performed as 3 (three) dimensional study with a steady flow conditions and turbulent with the principles of Computational Fluid Dynamics (CFD), used GAMBIT 2.4.6

software to make modelling domain and simulated in FLUENT 6.3.26 software.

From the simulation results can be obtained using FLUENT 3.6.26 flow characteristics such as flow visualization in the form of contour speed, velocity vector and velocity distribution on the pipe surface condenser with a height variation of sheet protection. The first variation of sheet protection is located at $y = -1$ m, the second $y = -1.2$ m and the third $y = -1.5$ m. After the simulation, the highest speed in the pipe surface condenser in a row 11 m / s, 12 m / s and 14.5 m / s. With the speed that has been obtained from the simulation and then analyzed of fatigue against the three conditions of the study. After the analysis of fatigue with the addition of sheet protection on the condenser, condenser tube is not damaged due to stress are at a level below the curve fatigue limit.

Keywords : condenser, steam deflector, sheet protection

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian <i>Condenser</i>	5
2.2 Analisis Termodinamika.....	7
2.3 Analisa Perpindahan Panas	12
2.3.1 Perpindahan Panas Akibat Aliran Fluida di dalam tube.....	12
2.4 <i>Flow-Accelerated Erosion-Corrosion</i>	14
2.5 <i>Steam Impingement Erosion</i>	15
2.6 Penelitian Terdahulu	16
2.5.1 Mi Sandar Mon (M.E).....	16
2.7 Pemodelan pada FLUENT	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tahapan Penelitian.....	21
3.2 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	22
3.3 Tahapan Permodelan dan Simulasi	23
3.3.1 <i>Pre Processing</i>	23
3.3.2 <i>Processing</i>	27
3.3.3 <i>Post-Processing</i>	29
3.4 Pengolahan Data.....	29
3.5 Hasil dari Pemodelan awal.....	29

3.5.1	Vektor Kecepatan pada Plane Searah Tube Dengan $x = 0.0852$ m (bidang yz).....	30
3.5.2	Kontur Kecepatan pada Permukaan Tube Paling Atas di $y = -1.7$ m (bidang xz)	31
3.5.3	Variasi Kecepatan pada Sumbu x untuk $y = -1.7$ m dan $z = 0$ m	32
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		
4.1	Analisis Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan serta Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1$ m	33
4.1.1	Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1$ m...	34
4.1.2	Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1$ m.....	35
4.2	Analisis Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan serta Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.2$ m	37
4.2.1	Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.2$ m	37
4.2.2	Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.2$ m	38
4.3	Analisis Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan serta Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.5$ m	41
4.3.1	Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.5$ m	40
4.3.2	Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai	

	Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.5$ m	43
4.4	Analisis Kegagalan Pipa Kondensor	44
4.4.1	Analisa Data Material Pipa Kondensor	44
4.4.2	Analisa Perhitungan Perlambatan, Waktu Tumbukan dan Jumlah Tumbukan	45
4.4.3	<i>Fatigue</i>	46
4.4.4	Hasil Perhitungan S-N Diagram Penelitian	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Posisi Turbine Ventilator Valve (TVV) pada system power plant.....	1
Gambar 1.2	Skema TVV pada P&I Diagram: (a) Pipa Extraction dari HP Turbine menuju ke TVV; (b) Pipa dari TVV menuju ke Kondenser.....	2
Gambar 2.1	<i>Surface Condenser</i>	5
Gambar 2.2	Zona-zona pada <i>surface condenser</i>	6
Gambar 2.3	Hubungan pipa steam extraction, pipa HP 7 Heater dan pipa ventilator valve.....	7
Gambar 2.4	Pernyataan proses uap masuk ke dan keluar dari pipa ventilator valve	7
Gambar 2.5	<i>Steam Impingement Erosion</i>	9
Gambar 2.6	Sambungan pipa titanium dengan pipa baja..	10
Gambar 3.1	Skema Kondensor yang Akan Dimodelkan ..	15
Gambar 3.2	Sistem koordinat tanpa penambahan sheet protection	17
Gambar 3.3	Sistem koordinat dengan penambahan sheet protection	18
Gambar 3.4	Meshing Pemodelan	24
Gambar 3.5	Boundary Condition	26
Gambar 3.6	Vektor kecepatan aliran steam pada $z = 0$ (bidang xy)	27
Gambar 3.7	Vektor kecepatan pada plane searah tube dengan $x = 0,0852$ m bidang (yz).....	28
Gambar 3.8	Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1,7$ m (bidang xz)	29
Gambar 3.9	Grafik variasi kecepatan pada sumbu x untuk $y = -1,7$ m dan $z = 0$ m	30
Gambar 4.1	Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1$ m (bidang xz) ..	31
Gambar 4.2	Vektor kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1$ m (bidang xz) ..	32

Gambar 4.3	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ di $z = 0$ m	40
Gambar 4.4	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ di $z = 0.15$ m	42
Gambar 4.5	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ di $z = 0.3$ m	43
Gambar 4.6	Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1.2$ m (bidang xz)	31
Gambar 4.7	Vektor kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1.2$ m (bidang xz)	32
Gambar 4.8	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.2$ di $z = 0$ m	40
Gambar 4.9	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.2$ di $z = 0.15$ m	42
Gambar 4.10	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.2$ di $z = 0.3$ m	43
Gambar 4.11	Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1.5$ m (bidang xz)	31
Gambar 4.12	Vektor kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1.5$ m (bidang xz)	32
Gambar 4.13	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.5$ di $z = 0$ m	40
Gambar 4.14	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.5$ di $z = 0.15$ m	42
Gambar 4.15	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.5$ di $z = 0.3$ m	43
Gambar 4.16	Kurva S-N untuk material baja secara umum	44
Gambar 4.17	S-N Diagram Tanpa Sheet Protection	46
Gambar 4.18	S-N Diagram dengan Sheet Protection di $y = -1$ m.....	47
Gambar 4.19	S-N Diagram dengan Sheet Protection di $y = -1.2$ m.....	47
Gambar 4.20	S-N Diagram dengan Sheet Protection di $y = -1.5$ m.....	47

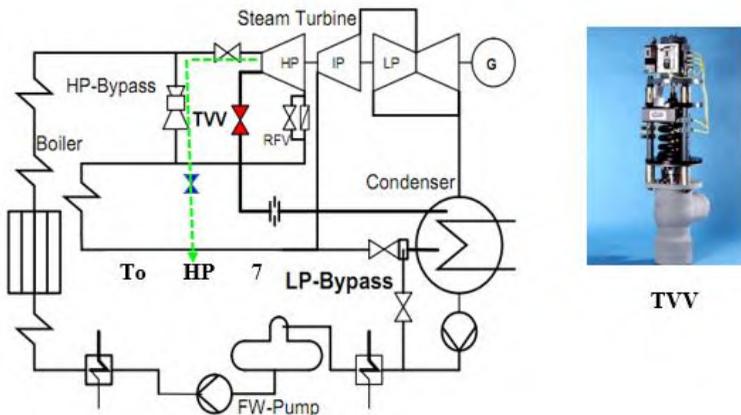
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Kecepatan aman maksimum dari berbagai Material.....	15
Tabel 2.2.	Nilai kekerasan dan ketahanan erosi.....	16
Tabel 3.1.	Boundary Condition.....	28
Tabel 4.1.	Spesifikasi material pipa Titanium	36
Tabel 4.2.	Perhitungan Siklus dan Tegangan.....	37

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

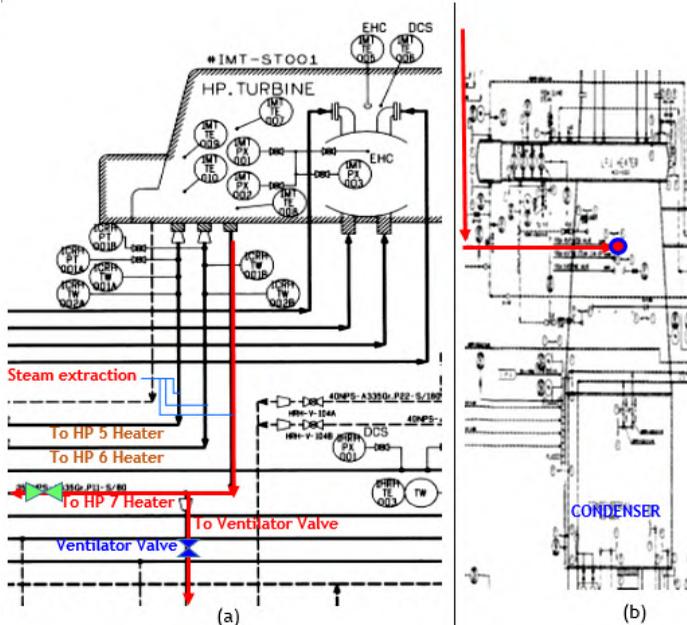
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B terletak di Desa Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara (pantai utara Jawa Tengah), sekitar 125 km dari Semarang atau sekitar 25 km dari Jepara, 60 26" LS 1100 44" BT, yang mempunyai total 4 unit dengan masing-masing unit mempunyai kapasitas daya kotor 4x719 MW dan kapasitas daya bersih 4 x 660 MW dengan luas tanah mencapai 150 hektar. PLTU ini berbahan bakar batu bara yang di kirim melalui laut dengan bahan batu bara yang berasal dari Kalimantan.



Gambar 1.1 Posisi Turbine Ventilator Valve (TVV) pada system power plant

Posisi Turbine Ventilator Valve (TVV) pada system power plant secara schematik ditunjukkan pada Gambar 1.1. TVV adalah spring opened, air closed, poppet type valve. Fungsi utamanya adalah untuk menyediakan pendinginan selama turbine trip. TVV dikontrol oleh aktuator yang bekerja dengan udara bertekanan melalui solenoid valve dan digerakan oleh load reference.

Ketika terjadi turbin trip, bagian HP Turbine akan overheat akibat dari windtage losses. Untuk mencegah hal tersebut, ventilator valve dipasang pada HP Turbine dan dikoneksikan sedemikian rupa sehingga dapat menarik uap dari sisi down-stream untuk dialirkan langsung menuju ke kondenser.



Gambar 1.2 Skema TVV pada P&I Diagram: (a) Pipa Extraction dari HP Turbine menuju ke TVV; (b) Pipa dari TVV menuju ke Kondenser

Uap air yang menuju ke TVV berasal dari pipa steam extraction pada HP Turbine seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2 (a). Pada kondisi operasi normal, TVV pada kondisi *closed*, dan steam extraction dari HP Turbine menuju ke HP 7 Heater berfungsi untuk memanasi feed water heater. TVV pada kondisi *opened*, hanya terjadi bila turbin trip atau pada kondisi start-up.

Steam extracted melewati TVV mengalir melalui pipa dan masuk ke dalam kondenser seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 (b). Di dalam kondenser uap dikondensasikan untuk disirkulasikan kembali sebagai feed water boiler.

1.2 Rumusan Masalah

Kerusakan pipa kondensor pada PLTU Tanjung Jati B disebabkan oleh uap yang masuk ke dalam *condenser* dari *turbine ventilator valve* (TVV) memiliki kecepatan sebesar 1374,25 m/s, sehingga ketika *valve* dalam keadaan terbuka uap bertekanan tinggi akan menghantam pipa kondensor yang akan menyebabkan pipa rusak. Maka dari itu untuk mengantisipasi kerusakan pipa kondensor yang disebabkan oleh uap berkecepatan tinggi yang masuk ke dalam kondensor dibutuhkan suatu pelindung berupa sheet protection agar uap berkecepatan tinggi tersebut tidak langsung menghantam permukaan pipa kondensor. Selain itu diperlukan pula analisis mengenai bagaimana distribusi kecepatan uap ketika mengenai permukaan pipa kondensor, distribusi temperatur permukaan pipa kondensor, distribusi kecepatan uap setelah dipasang sheet protection dan jarak optimim penempatan sheet protection terhadap pipa kondensor. Proses analisis fluida dilakukan menggunakan *software fluent*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam analisis agar mengarah pada inti masalah sesungguhnya adalah :

1. Temperatur dan tekanan steam pada sisi *inlet* berturut-turut 425°C dan 56 bar
2. Faktor kekasaran pada permukaan diabaikan.
3. Perpindahan panas akibat radiasi diabaikan.
4. Energi bangkitan diabaikan.
5. Pemodelan *steam deflector* pada *condenser* dibuat dengan menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6 dan disimulasikan dengan perangkat lunak FLUENT 6.3.26 dengan *domain* aliran 3 (tiga) dimensi.

6. Perpindahan panas terjadi secara konveksi dan konduksi.
7. Pada sisi *inlet* dikondisikan berupa *velocity inlet* dan *outflow* pada sisi *outlet*.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui distribusi kecepatan fluida (uap) ketika mengenai permukaan pipa kondensor.
2. Mengetahui distribusi temperatur permukaan pipa kondensor.
3. Mengetahui distribusi kecepatan fluida setelah dipasang sheet protection sehingga tidak memecahkan pipa kondensor.
4. Mengetahui jarak optimal penempatan sheet protection terhadap pipa kondensor.

1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Meningkatkan pengetahuan fenomena aliran, karakteristik aliran, dan perpindahan panas secara analisa 3D pada *condenser* melalui visualisasi aliran dengan bantuan perangkat lunak.
2. Sebagai referensi dan literatur dalam pembuatan karya ilmiah atau jurnal.

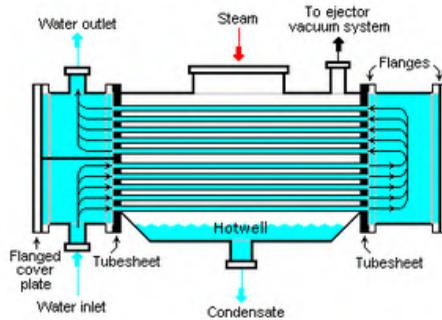
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Condenser*

Condenser adalah alat penukar panas yang digunakan untuk mengkondensasikan uap sebagai fluida kerja. Pada system pembangkit tenaga uap, fungsi utama *condenser* adalah mengubah *exhaust steam* dari turbin menjadi fase *liquid* agar dapat dipompakan kembali menuju boiler oleh BFP (*Boiler Feed Pump*). Kondensor permukaan (*Surface Condenser*) adalah salah satu jenis *condenser* dengan prinsip kerja pemisahan cairan pendingin dan *steam* yang didinginkan.

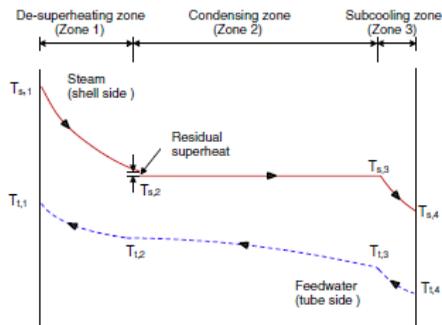
Steam masuk ke dalam sisi *shell* melalui *Steam Inlet Connection* pada bagian atas *condenser*, kemudian *steam* bersinggungan dengan *tube* yang bertemperatur rendah sehingga temperatur *steam* turun dan terjadi proses kondensasi yang menghasilkan kondensat. Kondensat tersebut akan terkumpul pada *hotwell*, kemudian dipindahkan ke *exhaust* kondensat dengan menggunakan pompa kondensat.

Ketika meninggalkan *condenser*, *steam* tidak terkondensasi menjadi kondensat secara keseluruhan karena masih terdapat udara jenuh yang ada di dalam sistem. Udara yang berada di dalam system ini umumnya timbul akibat adanya kebocoran pada perpipaan, *shaft seal*, katup-katup dan sebagainya. Udara ini masuk bersamaan dengan *steam* ke dalam *condenser*. Udara diubah udara jenuh oleh *steam*, kemudian uap jenuh melewati *air-cooling section*, di mana campuran antara udara dan *steam* didinginkan untuk selanjutnya dibuang dari *condenser* dengan menggunakan *air-ejector*. *Air-ejector* berfungsi mempertahankan kevakuman di *condenser*.



Gambar 2.1 *Surface Condenser*

Surface condenser memiliki tiga zona utama yaitu *Desuperheating zone*, *Condensing zone*, *Subcooling zone*. *Desuperheating zone* adalah zona dimana terjadi penurunan temperature uap dari kondisi *superheat* sampai kondisi uap jenuh. *Condensing zone* adalah zona di mana tidak terjadi penurunan temperatur uap, namun terjadi perubahan fase dari kondisi uap jenuh sampai menjadi kondisi cair jenuh. *Condensing zone* adalah zona terbesar di dalam sebuah *condenser*. *Subcooling zone* adalah zona lanjutan dari *condensing zone*. Pada zona ini, uap yang sudah mencapai kondisi cair jenuh terus memanaskan *seawater* yang melewati *tube* akibatnya temperature kondensat menurun sampai pada fase *subcool*. Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik tiap zona pada *surface condenser*.



Gambar 2.2 Zona-zona pada *surface condenser*

Pada gambar 2.2 terlihat bahwa pada sisi akhir zona *desuperheating* terdapat *residual superheat*. *Residual superheat* adalah fluida residu fasa panas lanjut yang keluar dari zona *desuperheated*. Besar temperatur residual superheated adalah $0,5^{\circ}\text{C}$ dari temperatur pengembunan.

2.2 Analisis Termodinamika

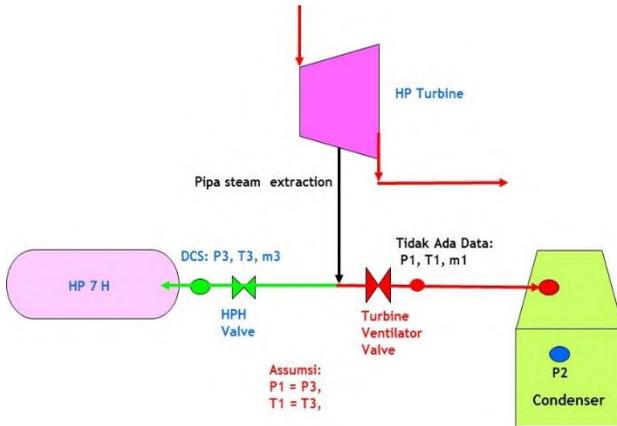
Pada instalasi pembangkitan listrik tenaga uap, komponen-komponen utama dapat disederhanakan seperti pada siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* merupakan suatu siklus termodinamika pada sistem PLTU. Analisis pada siklus Rankine ini meliputi analisis konservasi massa, konservasi energi, hukum kedua termodinamika dan data termodinamika.

Tujuan dari analisa di sini adalah untuk mengetahui berapa kecepatan uap air ketika menabrak condenser tube sehingga dapat mengakibatkan kebocoran pada tube. Untuk menjawab pertanyaan ini kita harus mencari terlebih dahulu berapa kecepatan uap ketika menabrak steam deflector.

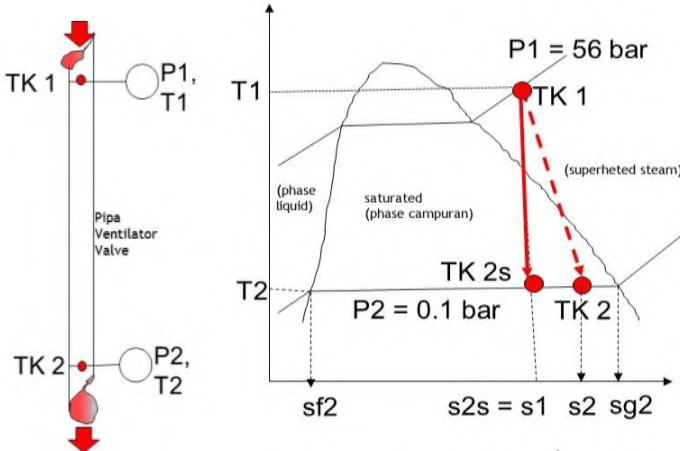
Data utama yang diperlukan untuk mencari kecepatan uap air ketika menabrak steam deflector adalah tekanan dan tempertur uap air ketika meninggalkan ventilator valve, dan tekanan kerja kondenser pada sisi uap (hot side). Tidak ada data yang mencatat tekanan (P1) dan temperatur (T1) uap meninggalkan ventilator valve. Namun P1 dan T1 dapat dicari dengan asumsi sebagai berikut.

Hubungan pipa steam extraction, pipa ke HP 7 Heater, dan pipa ventilator valve ditunjukkan pada Gambar 3.5. Data di DCS yang ada adalah data tekanan (P3), temperatur (T3), dan laju aliran massa (m_3) yang menuju ke HP 7 Heater. Untuk kondisi valve pada pipa HP7 H membuka penuh dan turbine ventilator valve juga membuka penuh, maka dapat diassumsikan bahwa tekanan $P_3 = P_1$, dan temperatur $T_3 = T_1$. Jadi tingkat keadaan uap (TK 1) yang berupa P1 dan T1 dapat diketahui secara tidak langsung dari DCS

yang besarnya sama dengan pembacaan untuk P3 dan T3 ketika uap air masuk ke HP 7 Heater.



Gambar 2.3 Hubungan pipa steam extraction, pipa ke HP 7 Heater, dan pipa ventilator valve.



Gambar 2.4 Pernyataan proses uap masuk ke dan keluar dari pipa ventilator valve

Gambar 2.4 menunjukkan bahwa uap air berada pada phase panas lanjut (super heated steam) pada P1 = 56 bar, T1 = 425 oC

masuk kedalam pipa ventilator valve dan keluar pada outlet pipa yang ada di dalam kondenser pada tekanan P2 = 0,1 bar, kondisi jenuh.

Persamaan balans aliran massa pada pipa untuk kondisi steady state:

Laju aliran massa masuk (\dot{m}_1) = laju aliran massa ke luar (\dot{m}_2)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m} \dots\dots\dots 2.1$$

Persamaan balans energi pada pipa untuk kondisi steady state:

Laju aliran energi masuk = laju aliran energi keluar

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} z_1 \right) = \dot{m} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} z_2 \right) \dots\dots\dots 2.2$$

dimana :

h = enthalpi,

V = kecepatan,

z = ketinggian,

g = grafitasi bumi

g_c = konstanta konversi satuan,

g_c = 1 (untuk sistem Satuan Internasional-SI) dan g_c =

32,172 $\frac{lbm-ft}{lbf-s^2}$ (untuk sistem satuan British)

$$\left(\frac{V_2^2}{2g_c} \right) = \left((h_1 - h_2) + \frac{V_1^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} (z_1 - z_2) \right) \dots\dots\dots 2.3$$

Dengan asumsi V₁ << V₂, maka V₁ diabaikan, dan z₁ = z₂, maka Persamaan 2.3 menjadi

$$\left(\frac{V_2^2}{2g_c} \right) = (h_1 - h_2) \dots\dots\dots 2.4 a$$

$$V_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)} \dots\dots\dots 2.4 b$$

dimana $g_c = 1$ karena menggunakan sistem Satuan Internasional (SI)

Persamaan 2.4 menunjukkan bahwa kecepatan uap keluar dari pipa ventilator valve, V_2 dapat dihitung dengan mengetahui enthalpi pada keadaan uap masuk, h_1 dan enthalpi pada keadaan uap keluar dari pipa, h_2 . Nilai enthalpi ini merupakan fungsi dari tekanan dan temperatur uap.

Proses dari TK 1 ke TK 2s, mula-mula diasumsikan pipa diisolasi (berarti proses adiabatik) dan aliran uap dalam pipa tidak ada gesekannya (proses reversibel). Dengan menggunakan persamaan balans entropi, didapat bahwa,

$$s_{2s} - s_1 = \frac{Q}{T} + \sigma \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana Q adalah energi panas yg keluar dari pipa, dan $Q = 0$, karena pipa diisolasi (diassumsikan adiabatik); σ adalah produksi entropi, dan $\sigma = 0$ karena proses reversibel.

Persamaan 2.5 sekarang menjadi,

$$\begin{aligned} s_{2s} - s_1 &= 0 \\ s_{2s} &= s_1 \dots\dots\dots 2.6 \end{aligned}$$

Proses dari TK 1 ke TK 2s boleh dikata (dengan kata lain) merupakan proses entropi konstan atau proses isentropik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.

Dengan menggunakan Persamaan 2.4 dan untuk proses isentropik, maka didapat bahwa kecepatan isentropik keluar dari pipa ventilator valve adalah,

$$V_{2s} = \sqrt{2(h_1 - h_{2s})} \dots\dots\dots 2.7$$

Kualitas air jenuh (x_{2s}) pada TK 2S dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.8 sebagai berikut,

$$x_{2s} = \frac{s_{2s} - s_{f2}}{s_{g2} - s_{f2}} \dots\dots\dots 2.8$$

Dengan diketahuinya x_{2s} , maka enthalpi h_{2s} pada TK 2S dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.9 sebagai berikut,

$$h_{2s} = (1 - x_{2s})h_{f2} + x_{2s} h_{g2} \dots\dots\dots 2.9$$

Juga dengan diketahuinya x_{2s} , maka volume jenis v_{2s} pada TK 2S dapat pula dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.10 sebagai berikut,

$$v_{2s} = (1 - x_{2s})v_{f2} + x_{2s} v_{g2} \dots\dots\dots 2.10$$

Kecepatan isentropik adalah kecepatan dengan asumsi bahwa aliran uap air dengan permukaan dalam pipa tidak ada gesekannya dan prosesnya adiabatik. Namun kenyataan ada gesekan antara aliran uap dengan permukaan dalam-pipa. Didefinisikan efisiensi isentropik yang merupakan perbandingan kecepatan aktual terhadap kecepatan isentropik dan dinyatakan dengan Persamaan 2.11 sebagai berikut,

$$\eta_s = \frac{\left(\frac{V_2^2}{2}\right)}{\left(\frac{V_{2s}^2}{2}\right)}$$

$$V_2 = V_{2s}\sqrt{\eta_s} \dots\dots\dots 2.11$$

Kualitas uap keluar dari ventilator valve dan masuk ke kondenser dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.12 sebagai berikut,

$$x_2 = \frac{h_2 - h_{f2}}{h_{g2} - h_{f2}} \dots\dots\dots 2.12$$

Untuk dapat menghitung laju aliran massa uap keluar dari pipa ventilator valve masuk kedalam kondenser harus dihitung terlebih dahulu besarnya volume jenis uap pada sisi outlet dari pipa yang digambarkan pada TK 2. Besarnya volume jenis uap keluar dari pipa ventilator dapat dihitung dengan Persamaa 2.13 sebagai berikut,

$$v_2 = (1 - x_2)v_{f2} + x_2 v_{g2} \dots\dots\dots 2.13$$

Dimana v_2 adalah volume jenis uap, x_2 : kualitas uap, v_{f2} adalah volume jenis cair jenuh (saturated liquid), dan v_{g2} adalah volume jenis uap jenuh (saturated vapour), index 2 menyatakan pada tingkat keadaan (TK) 2.

Besarnya laju aliran massa yang keluar dari pipa ventilator dapat dihitung dengan persamaan 2.14 sebagai berikut,

$$\dot{m} = \rho_2 \frac{\pi D^2}{4} V_2 \dots\dots\dots 2.14$$

2.3 Analisis Perpindahan Panas

Dalam suatu *heat exchanger* ada dua jenis perpindahan panas utama yang terjadi. Pertama, perpindahan panas akibat aliran fluida di luar *tube* atau di sisi *shell*. Kedua, perpindahan panas akibat aliran fluida di dalam *tube*.

2.3.1 Perpindahan Panas Akibat Aliran Fluida di Dalam Tube

Perpindahan panas akibat fluida yang mengalir di dalam tube termasuk pada aliran internal. Aliran internal adalah aliran fluida dimana boundary layer tidak dimungkinkan untuk berkembang karena dibatasi oleh surface. Aliran ini berbanding terbalik dengan aliran eksternal dimana pada aliran eksternal dimungkinkan untuk terjadinya perkembangan boundary layer. Dalam aliran internal biasa dibagi menjadi 2 jenis aliran. Jenis

aliran tersebut adalah aliran laminar dan aliran turbulen. Untuk membedakan keduanya digunakan Reynolds number sebagai pembatasnya.

$$Re_d = \frac{\rho \cdot V \cdot d_{tube}}{\mu} \dots\dots\dots(2.15)$$

a. Aliran laminar

Perpindahan panas pada aliran internal dapat ditinjau pada 2 kondisi. Saat heat flux permukaan seragam dan pada saat temperatur permukaan seragam. Pada saat aliran internal pada circular tube dengan karakteristik uniform surface heat flux dan laminar fully developed condition, Nusselt numbernya konstan dan tidak bergantung pada Re, Pr, dan axial location. Adapun Nusselt number didapatkan dari persamaan berikut:

$$Nu_D = \frac{h \cdot D}{k} = 4.36 (q'' \text{ konstan}) \dots\dots\dots(2.16)$$

$$Nu_D = 3.66 (T_s \text{ konstan}) \dots\dots\dots(2.17)$$

b. Aliran turbulen

Dalam aliran turbulen Nusselt number dapat dihitung menggunakan persamaan dari Dittus-Boelter. Dengan pengaruh dari jenis perpindahan panas yang terjadi menjadi salah satu faktor yang diperhitungkan (cooling atau heating)

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\left[\begin{array}{l} 0.7 \leq Pr \leq 160 \\ Re_D \geq 10000 \\ \frac{L}{D} \geq 10 \end{array} \right]$$

Dimana n = 0.4 untuk proses heating (Ts > Tm) dan n = 0.3 untuk proses cooling (Ts < Tm). Setelah menghitung nilai

Nusselt number, secara umum koefisien perpindahan panas rata-rata untuk aliran fluida melewati susunan tube dapat diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu_D} \times k}{D} \dots\dots\dots(2.19)$$

2.4 Flow-Accelerated Erosion-Corrosion

Ketika kecepatan fluida sangat tinggi sehingga akan benar-benar menghapus film pelindung dari permukaan logam, sehingga flow-accelerated erosion-corrosion mungkin terjadi. Sebaliknya, kecepatan yang lebih tinggi yang diinginkan karena mereka meningkatkan laju perpindahan panas dan menjaga permukaan tabung bersih, mengurangi tahanan permukaan untuk mengalir. Secara umum, kecepatan 6 kaki per detik (fps) dianggap sebagai minimum untuk menjaga permukaan tabung bersih. Biofilm telah dikenal untuk mengembang pada tingkat aliran rendah. Tabel 2.1 merangkum kecepatan aliran fluida aman maksimum dalam tabung kondensor dari bahan yang berbeda.

Tabel 2.1 Kecepatan aman maksimum dari berbagai material

Alloy	Maximum velocity
Admiralty	6 fps
90/10 copper-nickel	8 fps
70/30 copper-nickel	10 fps
304/316 stainless steel	30+ fps
Titanium Grade 2	100 fps
Super-ferritic stainless steel	100+ fps

Desain kondensor yang lebih tradisional dibatasi oleh laju aliran dari kisaran 6 hingga 7 fps untuk melindungi tabung berbasis paduan tembaga. Dengan penghapusan tembaga di kondensor modern, laju aliran modern di kisaran 9 sampai 10 fps. Jika kondensor yang ada memiliki kinerja termal marjinal dan dapat menangani laju aliran air pendingin yang lebih tinggi (kecepatan), maka peningkatan kinerja yang signifikan dapat dibuat, dengan asumsi modifikasi pompa untuk meningkatkan laju aliran

memungkinkan. Pada tingkat aliran tinggi yang lebih tinggi, baja tahan karat dan titanium tahan terhadap erosi dan korosi. Dalam banyak sistem, pengembalian atas investasi mungkin kurang dari satu tahun. Selain itu, kecepatan aliran yang lebih tinggi akan mengakibatkan tabung menjadi lebih bersih.

2.5 Steam Impingement Erosion

Dalam kondisi unik tertentu, adalah mungkin untuk mengalami erosi tabung permukaan luar yang disebabkan oleh dampak lokal dari tetesan air kecepatan tinggi (Gambar 6). Hal ini dapat terjadi di dekat piring pengalir yang mungkin fokus kecepatan tinggi uap basah ke tabung atau saat kondisi marah lainnya. Hal ini sering terjadi di daerah pembuangan uap ketika outlet tidak dirancang dengan baik.



Gambar 2.5 Steam Impingement Erosion

Perlawanan dari tabung untuk bentuk erosi adalah fungsi langsung dari kekerasan substrat logam di bawah oksida pelindung. Secara umum, kekerasan yang lebih memberikan resistensi erosi yang lebih tinggi. Menggunakan perangkat pelampiasan tetesan air yang dikembangkan oleh Avesta Sheffield, paduan dapat berdasarkan peringkat waktu untuk kegagalan. Proses ini untuk grafis merencanakan kekerasan material terhadap waktu kegagalan, sehingga hubungan dapat ditentukan. nilai material lainnya kemudian dapat ditambahkan dengan membandingkan

kekerasan. Menggunakan titanium kelas 2 sebagai referensi, dengan nilai 1, perlawanan relatif nilai lainnya dapat peringkat, seperti yang disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai kekerasan dan ketahanan erosi

Alloy	Hardness (HV)	Relative erosion resistance
Admiralty	60 HV	0.4
70-30 copper-nickel	135 HV	0.8
Titanium Grade 2	145 HV	1.0
TP 304/TP 316 stainless steel	165 HV	2.0
Titanium Grade 12	190 HV	3.6
S31254/N08367 superaustenitic stainless steel	200 HV	7.0
Titanium Grade 9	215 HV	6.2
S44660 superferritic stainless steel	240 HV	7.2
S32750 super-duplex stainless steel	290 HV	9.4

2.6 Penelitian Terdahulu

2.6.1 Ashwini K. Sinha (2010)

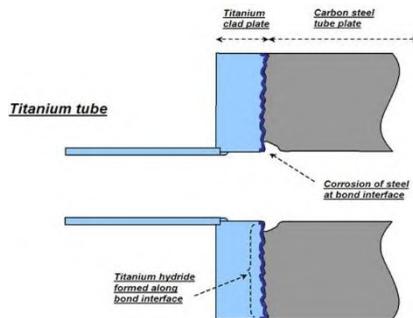
Jurnal dengan judul “*Aspects of Failure of Condenser tubes and their Remedial Measures at Powerplants*” bertujuan untuk memahami apa saja penyebab kerusakan pada kondensor dan akibat yang dihasilkan dari kerusakan kondensor tersebut.

Di salah satu stasiun pantai yang menggunakan air laut sebagai media pendingin dan memiliki Titanium grade II dengan plat tabung baja karbon titanium. Waterbox dilapisi dengan bahan GRP 3 mm. Awalnya unit dilengkapi dengan zinc anode berdasarkan katodhic protection method. Anoda dari zinc terlarut sangat cepat dalam air laut. Dianjurkan untuk menggunakan paduan berdasarkan Aluminium sebagai bahan Anoda. Pemasok peralatan menggantikan anoda dari zinc dengan anoda paduan berbasis aluminium, namun; bracket anoda tidak diganti. Bracket baja yang terkorosi tidak mampu untuk menahan beban dari anoda. Sisa-sisa braket lepas dan mengenai pipa, merusak beberapa pipa dalam proses. Perbaikan dilakukan dan semua anoda dengan bracket dihilangkan.

Akhirnya diamati bahwa di salah satu unit setelah merombak konduktivitas kation dan menunjukkan intermiten

trend naik. Pengujian akustik dan Helium digunakan untuk mengidentifikasi sumber kebocoran / rembesan. Beberapa pipa untuk pengujian dipasang. Namun; konduktivitas kation yang sebentar-sebentar menunjukkan tren meningkat. Hal ini diduga bahwa pipa Titanium dan / atau clad tube titanium telah terkikis karena Hidridisasi dari reaksi korosi. Itu mungkin alasan bisa:

- a) Pada saat pengoperasian sistem proteksi katodik berpotensi lebih negatif daripada $-1,2$ V yang mengakibatkan hidridisasi dari pipa titanium / plat pipa
- b) Pipa atau sambungan pipa tidak disegel dengan benar menyebabkan korosi galvanic antara titanium cladding dan baja karbon atau sambungan titanium cladding telah gagal yang mengakibatkan reaksi korosi terjadi seperti ditunjukkan dalam gambar berikut dan pengembangan retak hidrida dari air laut yang bercampur dengan kondensat.



Gambar 2.6 Sambungan pipa titanium dengan pipa baja

2.7 Pemodelan Pada FLUENT

Computational Fluid Dynamic (CFD) merupakan perangkat analisa dengan berdasarkan pada persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Metode ini sering digunakan sebagai proses simulasi *thermofluid* untuk menyelesaikan berbagai permasalahan *engineering*. Dalam menggunakan metode ini, perlu adanya pemahaman mendalam tentang fenomena fluida dan perpindahan

panas. Hal tersebut bertujuan agar hasil dari simulasi yang dilakukan cukup merepresentasikan kondisi secara nyata. Dalam melakukan proses simulasi ini, diperlukan tiga langkah dasar yaitu *pre-processing*, *processing* dan *post-processing*.

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

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

1. Model 3D

Pada pemilihan model simulasi, terdapat beberapa pilihan pengaturan, salah satunya adalah model simulasi tiga dimensi dengan jenis *double precision*. Model tiga dimensi dipilih jika *domain* yang akan disimulasikan berbentuk tiga dimensi.

Sedangkan jenis *double precision* dipilih jika *domain* yang akan disimulasikan memiliki geometri dan ukuran yang kompleks serta tidak memiliki gradasi dimensi yang sangat tinggi.

2. *Solver*

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

3. *Turbulence Modelling*

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

4. *Energy Equation*

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

5. *Materials*

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

6. *Operating Condition*

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

7. *Boundary Condition*

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

8. *Control Monitoring and Residual Solution*

Pada menu *control monitoring and residual solution*, terdapat pengaturan tentang jenis perhitungan numerik seperti *first order*, *second order upwind* dan lain-lain. Selain itu, pada menu ini juga dilakukan pengaturan tentang pembatasan nilai *error* yang diterima dari hasil proses perhitungan. Semakin kecil batas *error* yang diterima, maka hasil proses simulasi yang diperoleh juga akan semakin akurat.

9. *Initialize Condition*

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

10. *Iteration*

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

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

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Dalam melakukan penelitian dan studi numerik mengenai analisis penambahan *steam deflector* pada *condenser* terhadap karakteristik perpindahan panas, Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, antara lain:

1. Studi Kasus

Permasalahan yang diangkat pada penelitian tugas akhir ini adalah penambahan *steam deflector* pada *twin shell single pressure surface condenser* sebagai upaya untuk meminimalisir kerusakan pada salah satu komponen PLTU Tanjung Jati B.

2. Studi Literatur

Untuk memperdalam pemahaman mengenai permasalahan yang dibahas, dilakukan studi literatur yang berkaitan dengan proses perpindahan panas yang terjadi pada *twin shell single pressure surface condenser* yang dipengaruhi oleh penambahan *steam deflector*, geometri *steam deflector* serta studi literatur mengenai simulasi numerik perpindahan panas menggunakan perangkat lunak fluent. Studi Literatur diperoleh dari buku-buku, Jurnal, e-book, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan permasalahan yang dibahas.

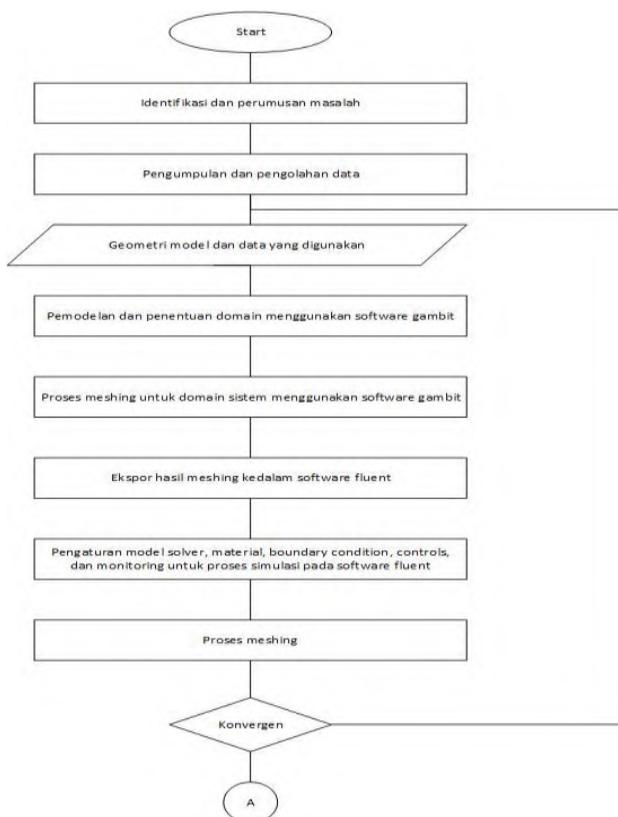
3. Pemodelan dan Simulasi

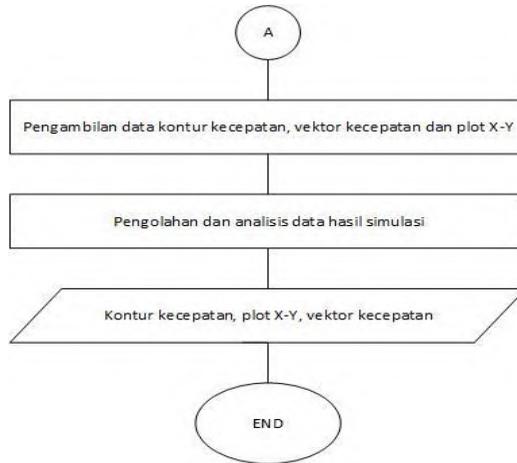
Proses Pemodelan dimulai dengan pembuatan geometri control volume yang telah ditentukan dan menentukan domain menggunakan software GAMBIT 2.4.6. Setelah itu dilakukan proses Simulasi dari domain control volume yang telah dibuat dengan memasukkan properties serta data-data yang dibutuhkan kedalam software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

4. Pengolahan dan Analisa Data Hasil Simulasi

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

3.2 Flowchart Penelitian





3.3 Tahapan Pemodelan dan Simulasi

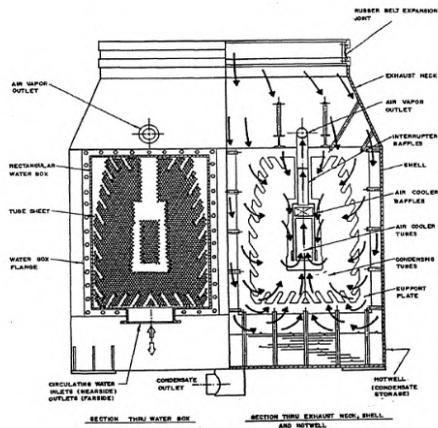
Pada penelitian ini akan dibandingkan hasil simulasi numerik pada *twin shell single pressure surface condenser* dengan melakukan variasi geometri *sheet protection*. Simulasi numerik adalah sebuah proses simulasi berbasis perhitungan yang dilakukan oleh sebuah perangkat lunak komputer dengan mendefinisikan parameter-parameter yang sesuai dengan boundary conditions, lalu dilanjutkan dengan proses iterasi atau pengulangan sampai tercapainya konvergensi untuk mendapatkan nilai pendekatan yang signifikan. Pada proses numerik terbagi menjadi 3 tahapan, yakni Pre- Processing, Processing, dan Post Processing

3.3.1 Pre-Processing

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

1. Pembuatan Model

Model awal yang akan dibuat adalah bentuk susunan *superheater heat exchanger* yang kemudian akan ditentukan suatu kontrol volume yang dapat mewakili sistem secara menyeluruh seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1

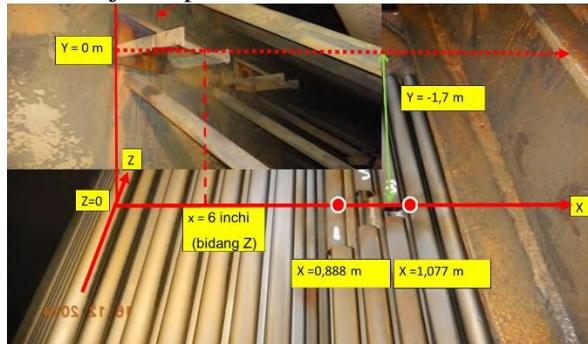


Gambar 3.1 Skema Kondensor yang Akan Dimodelkan

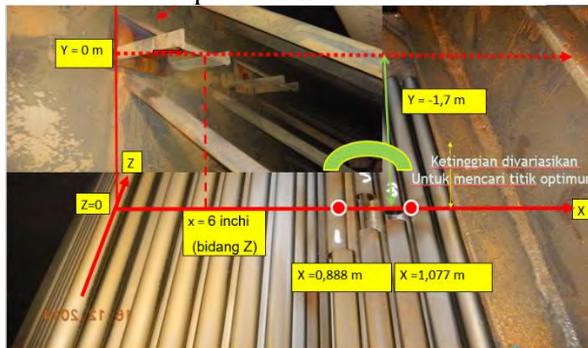
Control volume dibuat untuk mensimplikasi permasalahan dalam melakukan simulasi. Pemodelan dimulai dari tube ventilator sampai ke kondensor hingga aliran menabrak deflector. Kecepatan awal telah diketahui dari data PT.TJB Power Service Jepara Jawa Tengah. Temperatur di dalam tube diasumsikan sama disetiap panjang tube sehingga dapat menggunakan data CCR dari PT. TJB Power Service Jepara Jawa Tengah.

Distribusi kecepatan uap ke arah bawah setelah menabrak steam deflector akan dihitung dalam arah 3 dimensi (3D). Untuk memudahkan pendiskripsian distribusi kecepatan dipilih sumbu referensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Koordinat (0,0,0) dipilih merupakan perpotongan garis lurus (sumbu Y) yang ditarik kebawah dari pojok ujung sisi kiri deflector yang menempel pada bagian dinding sampai ke

permukaan tumpukan pipa. Sumbu X adalah arah melintang pipa terhadap tumpukan pipa kondensor. Sedangkan sumbu Z adalah searah dengan panjang pipa kondensor. Sistem koordinat ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Sistem koordinat tanpa penambahan sheet protection



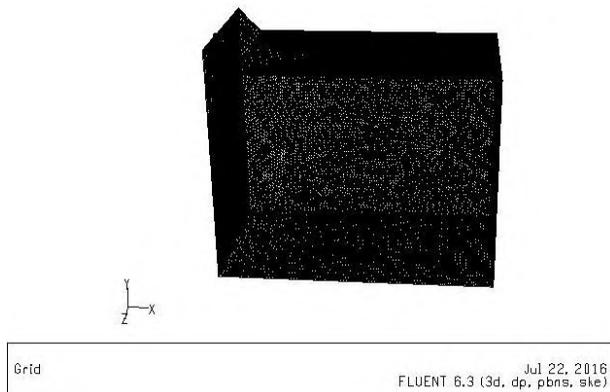
Gambar 3.3 Sistem koordinat dengan penambahan sheet protection

Steam deflector berbentuk empat persegi panjang dengan panjang sisinya adalah 12 in menempel pada dinding kondensor dengan sudut 45° kearah bawah. Z = 6 in berada pada sumbu bidang miring deflector. Permukaan tumpukan pipa kondensor paling atas berada pada jarak ketinggian Y = - 1,7 m dari ujung sisi bawah deflector. Lokasi pipa bocor berada pada jarak x antara 0,888 s/d 1,077 m, Y = 1,7 m dari

ujung sisi bawah deflector, dan $Z = 6 \text{ in} = 0,15 \text{ m}$ dari sisi pojok kiri deflector. Pada daerah ini akan dianalisa bagaimana bentuk distribusi kecepatannya dalam arah x , y , dan z .

2. Pembuatan meshing

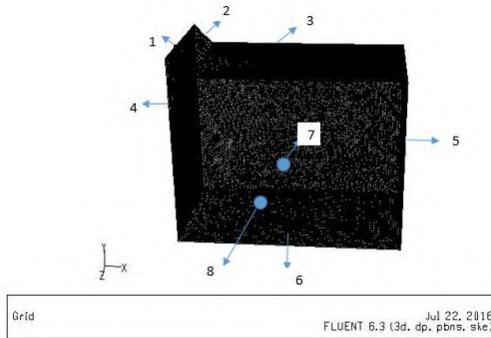
Pembuatan *meshing* dilakukan berdasarkan dari geometri kontrol volume dimana ada aliran fluida didalamnya. *Mesh* yang digunakan adalah jenis *Hexahedron-pave*. Fenomena dan karakteristik aliran yang akan dianalisa adalah aliran pada *control volume* yang melewati *deflector* dari *ventilator tube*. *Meshing* untuk pemodelan 3D dari *superheater* ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Meshing Pemodelan

3. Penentuan *Boundary Condition* yang Digunakan

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



Gambar 3.5 Boundary Condition

Tabel 3.1 Boundary Condition

No.	Boundary Condition	Keterangan
1.	<i>Inlet</i>	Tipe : Velocity Inlet Kecepatan : 1374.25 m/s Temperatur : 698 K
2-6	<i>Condenser Wall</i>	Tipe : <i>Stationary Wall</i>
7-8	<i>Outflow</i>	Tipe : <i>Outflow</i>

3.3.2 Processing

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

1. *Solver Model*

Pada simulasi tugas akhir digunakan penyelesaian 3 dimensi (3D) *double precision* dengan keakuratan ganda untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dalam menyelesaikan masalah. Untuk *solver* yang digunakan yaitu *pressured based* yang merupakan *solver* berbasis tekanan dengan mengkondisikan waktu *steady*. Persamaan energi diaktifkan guna mendukung penyelesaian *heat-transfer* maupun efek kompresibilitas aliran terhadap perubahan tekanan dan temperatur. *Turbulence modelling* yang digunakan adalah *k-ε* karena model ini mendukung efek turbulensi dan model diferensial viskositas untuk menghitung efek bilangan Reynold yang rendah serta model ini telah digunakan dalam dunia industri..

2. Material

Material yang digunakan dalam proses simulasi ini ada dua yaitu fluida kerja yang mengalir melewati *tube* dan material *tube*. Fluida kerja yang mengalir melewati *tube* dimodelkan sebagai uap air dengan temperatur 698 K dan material *tube* adalah *carbon steels ASTM A 213*.

3. *Operating Conditions*

Operating conditions digunakan untuk mengatur tekanan di dalam sistem yang disimulasikan. Dalam simulasi ini, tekanan operasional diatur pada tekanan 101.325 Pa (absolut). Gravitasi diatur 9.81 m/s².

4. *Boundary Conditions*

Informasi variabel yang akan disimulasikan dimasukkan sebagai parameter nilai untuk setiap *boundary conditions*. Simulasi ini menggunakan kondisi batas pada Tabel 3.1

5. *Control and Monitoring Solution*

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

6. *Initialize Condition*

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

7. *Iterations*

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

3.3.3 *Post-Processing*

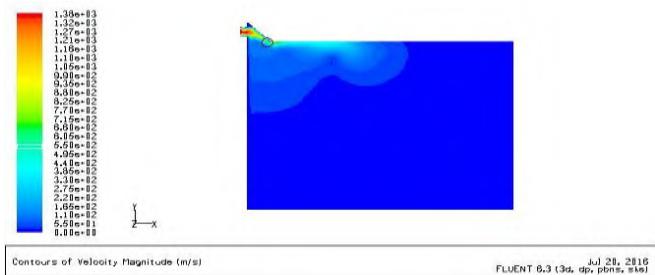
Dari hasil simulasi diperoleh data perpindahan panas visualisasi distribusi temperatur dan visualisasi distribusi kecepatan yang melewati *steam deflector*. Yang selanjutnya diolah dengan perangkat lunak Microsoft Excel 2013 dan akan disajikan dalam bentuk grafik.

3.4 Pengolahan Data

Setelah dilakukan proses simulasi mulai dari tahap *pre-processing*, *processing*, hingga *post-processing* menggunakan *software* GAMBIT 2.4.6 dan FLUENT 6.3.26, maka diperoleh data kuantitatif. Data tersebut kemudian disimpan ke dalam bentuk *excel workbook* dan selanjutnya diolah secara matematis menggunakan rumus seperti yang sudah dipaparkan dalam Bab 2.

3.5 Hasil dari Pemodelan Awal

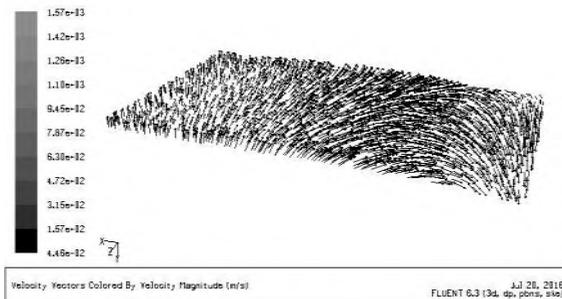
Dari domain komputasi diatas setelah dilakukan proses simulasi pada *software* FLUENT 6.3.26 diperoleh vector kecepatan aliran steam. Jika ditinjau pada $z = 0$ (bidang x,y) dengan masukan kecepatan awal adalah 1374.25 m/s dengan suhu 500K yang nantinya akan menabrak penahan steam dan terdistribusi pada seluruh domain. Adapun hasil komputasi untuk vektor kecepatan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.6 Vektor kecepatan aliran steam pada $z = 0$ (bidang x,y)

Gambar 4.3 di atas menunjukkan bahwa steam menabrak steam deflector pada kisaran kecepatan sebesar kecepatan masukan. Aliran kemudian terarah ke depan mengikuti sudut kemiringan penahan dengan kecepatan yang menurun yaitu pada kisaran 550 m/s. Hal ini disebabkan tumbukan yang mana sebagian besar momentum menjadi tekanan total ketika menabrak steam deflector. Adapun sebagian steam dipancarkan ke bawah dan kemudian akan mengenai tube dengan kecepatan yang sudah jauh menurun sebagai berikut.

3.5.1 Vektor kecepatan pada plane searah *tube* dengan $x = 0,852 \text{ m}$ (bidang y,z)

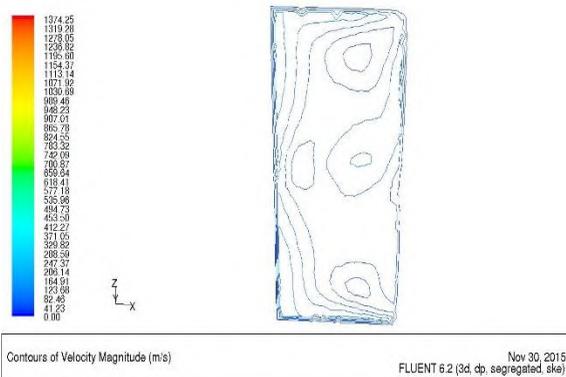


Gambar 3.7 Vektor kecepatan pada plane searah *tube* dengan $x = 0,852 \text{ m}$ (bidang y,z)

Dari gambar di atas terlihat bahwa steam yang juga langsung terpancar ke bawah dengan kecepatan yang sudah menurun, yaitu pada kisaran 1000 m/s. Kecepatan tersebut makin menurun seiring dengan Bergeraknya steam ke bawah. Pada kasus ini, yang mengenai *tube* kondenser berada pada kisaran 130 m/s.

3.5.2 Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube* paling atas, pada $y = -1,7$ m (bidang xz)

Hasil tersebut juga konsisten dengan hasil kontur kecepatan pada area yang mengenai *tube*, sebagai berikut,

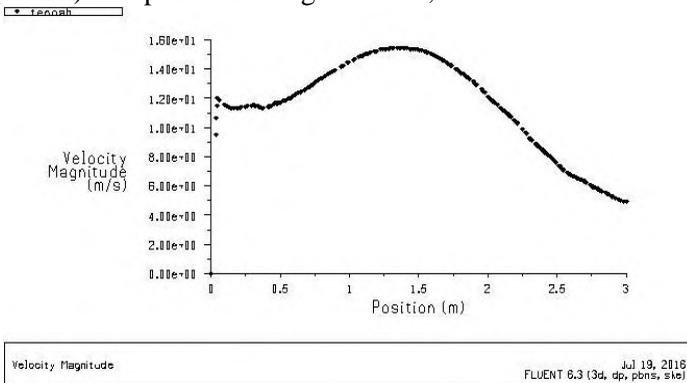


Gambar 3.8 Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube* paling atas, pada $y = -1,7$ m (bidang xz)

Distribusi kecepatan pada pada bidang ini berada pada kisaran 20 – 160 m/s dimana yang tertinggi adalah berada pada daerah yang tepat di bawah tumbukan steam dengan penahan. Hal ini konsisten jika dibandingkan dengan gambar-gambar visualisasi mengenai kerusakan *tube* yang juga berada pada daerah tersebut.

3.5.3 Variasi Kecepatan Pada Sumbu x Untuk $y = -1,7$ m, dan $z = 0$ m

Adapun distribusi kecepatan pada arah x menunjukkan bahwa kecepatan cenderung lebih tinggi pada bagian belakang (arah x) dari penahan sebagai berikut,



Gambar 3.9 Grafik variasi kecepatan pada sumbu x untuk $y = -1,7$ m, dan $z = 0$ m

Dari simulasi dapat disimpulkan bahwa rata-rata kecepatan yang menumbuk *tube* adalah 135 m/s. Namun kecepatan tinggi yang mengenai permukaan pipa adalah 130 – 140 m/s pada daerah $0,8 < x < 1,0$. Pada posisi $1,25 < x < 1,75$ terjadi peningkatan kecepatan karena posisi outlet tegak lurus dengan daerah itu, namun dengan vector kecepatan mengarah keatas sebelum seluruh steam terdistribusi merata melalui pipa dengan X maksimal adalah 3 meter.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi numerik tentang pengaruh distribusi kecepatan fluida (uap) ketika mengenai permukaan pipa kondensor dengan penambahan sheet protection dan tanpa penambahan sheet protection. Simulasi numerik telah dilakukan dengan menggunakan *software* FLUENT 6.3.26 dan pembuatan geometri dan domain permodelan menggunakan *software* GAMBIT 2.4.6. Pengolahan data hasil simulasi CFD ditampilkan dalam bentuk kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif akan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel, sedangkan data kualitatif akan disajikan dalam bentuk kontur distribusi kecepatan dan vektor kecepatan. Hal yang akan dibahas meliputi :

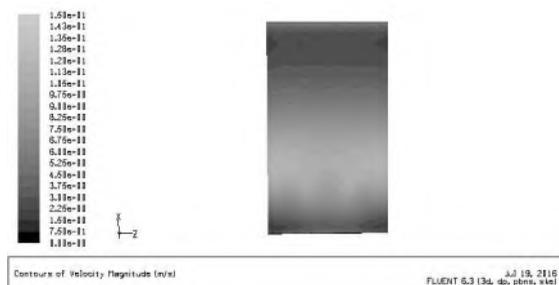
1. Distribusi kecepatan fluida (uap) ketika mengenai permukaan pipa kondensor dengan penambahan sheet protection pada $y = -1$ m.
2. Distribusi kecepatan fluida (uap) ketika mengenai permukaan pipa kondensor dengan penambahan sheet protection pada $y = -1.2$ m.
3. Distribusi kecepatan fluida (uap) ketika mengenai permukaan pipa kondensor dengan penambahan sheet protection pada $y = -1.5$ m.

4.1 Analisis Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan serta Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1$ m

Pemodelan dengan simulasi numerik menghasilkan data kualitatif dan kuantitatif. Analisis data kualitatif berupa visualisasi

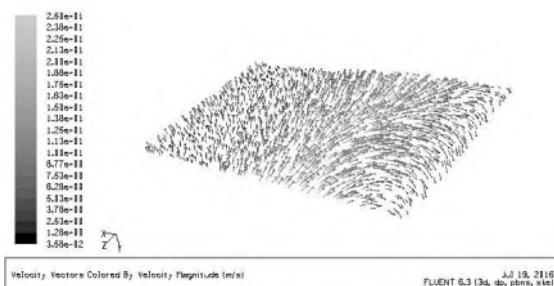
kontur kecepatan pada permukaan pipa kondensor, selain itu analisis dilakukan dengan visualisasi vektor kecepatan dari aliran. Analisis data kuantitatif berupa grafik distribusi kecepatan uap tepat pada permukaan pipa kondensor.

4.1.1 Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1$ m



Gambar 4.1 Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube paling atas*, pada $y = -1$ m (bidang xz)

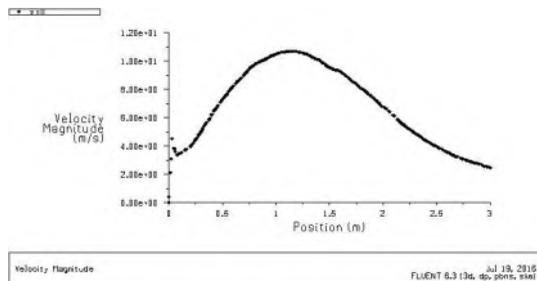
Distribusi kecepatan pada pada bidang ini berada pada kisaran 0 – 15 m/s dimana yang tertinggi adalah berada pada daerah $x = 0.8$ m sampai dengan $x = 1.2$ m yaitu daerah terjadinya kebocoran pada pipa kondensor.



Gambar 4.2 Vektor kecepatan pada permukaan tumpukan *tube paling atas*, pada $y = -1$ m (bidang xz)

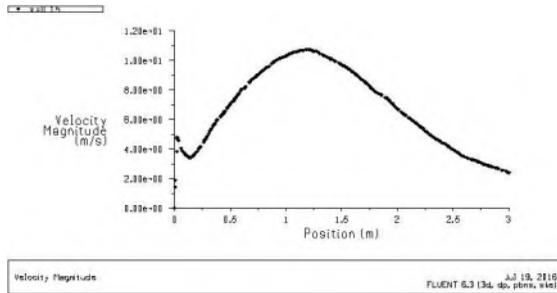
Gambar 4.2 di atas menunjukkan vektor kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1$ m. Dapat dilihat bahwa vektor cenderung mengarah kearah kanan atas dikarenakan uap yang mengalir menuju outflow.

4.1.2 Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1$ m



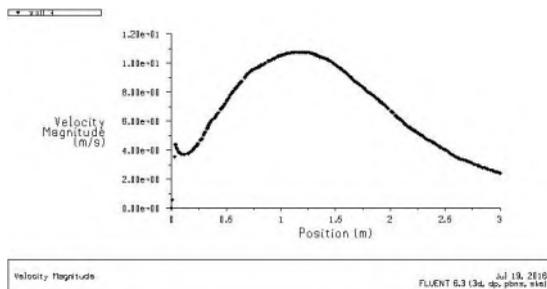
Gambar 4.3 Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ di $z = 0$ m

Gambar 4.3 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ m di $z = 0$ m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap meningkat dari $x = 0$ m dengan kecepatan sekitar 4 m/s dan mencapai puncak di $x = 1.1$ m dengan kecepatan sekitar 11 m/s kemudian menurun sampai $x = 3$ m dengan kecepatan sekitar 3 m/s.



Gambar 4.4 Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ di $z = 0.15$ m

Gambar 4.4 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ m di $z = 0.15$ m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap meningkat dari $x = 0$ m dengan kecepatan sekitar 5 m/s dan mencapai puncak di $x = 1.1$ m dengan kecepatan sekitar 11 m/s kemudian menurun sampai $x = 3$ m dengan kecepatan sekitar 2.5 m/s.



Gambar 4.5 Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ di $z = 0.3$ m

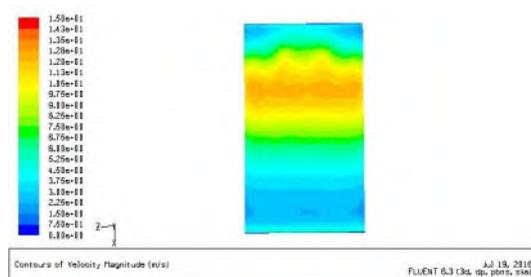
Gambar 4.5 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ m di $z = 0.3$ m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap

meningkat dari $x = 0$ m dengan kecepatan sekitar 4.5 m/s dan mencapai puncak di $x = 1.1$ m dengan kecepatan sekitar 10.8 m/s kemudian menurun sampai $x = 3$ m dengan kecepatan sekitar 2.5 m/s.

4.2 Analisis Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan serta Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.2$ m

Pemodelan dengan simulasi numerik menghasilkan data kualitatif dan kuantitatif. Analisis data kualitatif berupa visualisasi kontur kecepatan pada permukaan pipa kondensor, selain itu analisis dilakukan dengan visualisasi vektor kecepatan dari aliran. Analisis data kuantitatif berupa grafik distribusi kecepatan uap tepat pada permukaan pipa kondensor.

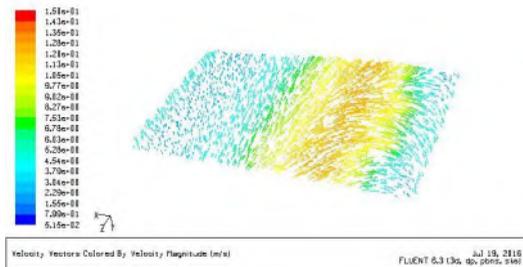
4.2.1 Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.2$ m



Gambar 4.6 Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube piling atas*, pada $y = -1.2$ m (bidang xz)

Distribusi kecepatan pada pada bidang ini berada pada kisaran 0 – 15 m/s dimana yang tertinggi adalah berada pada

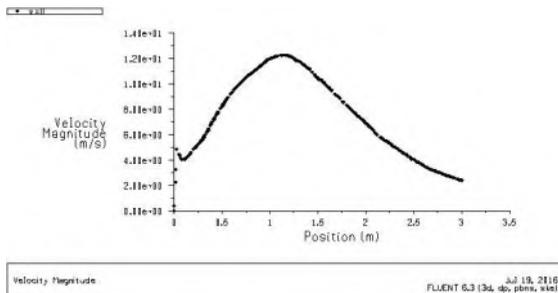
daerah $x = 0.8$ m sampai dengan $x = 1.2$ m yaitu daerah terjadinya kebocoran pada pipa kondensor.



Gambar 4.7 Vektor kecepatan pada plane searah *tube* dengan $x = 0,852$ m (bidang y,z)

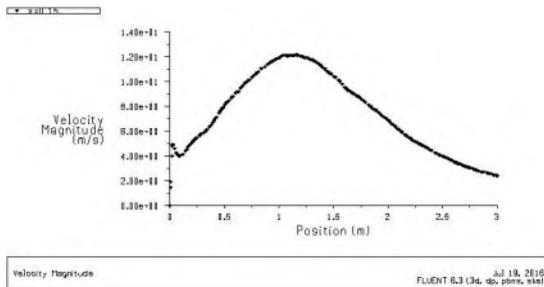
Gambar 4.7 di atas menunjukkan vektor kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1$ m. Dapat dilihat bahwa vektor cenderung mengarah kearah kanan atas dikarenakan uap yang mengalir menuju outflow.

4.2.2 Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.2$ m



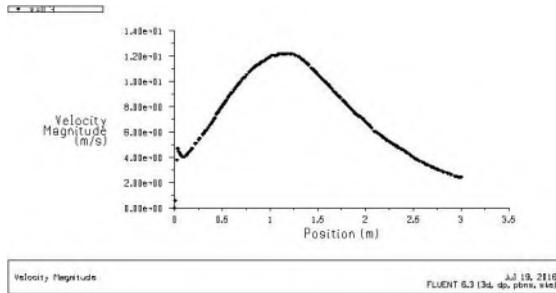
Gambar 4.8 Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.2$ di $z = 0$ m

Gambar 4.8 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ m di $z = 0$ m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap meningkat dari $x = 0$ m dengan kecepatan sekitar 5 m/s dan mencapai puncak di $x = 1.25$ m dengan kecepatan sekitar 12.5 m/s kemudian menurun sampai $x = 3$ m dengan kecepatan sekitar 2.5 m/s.



Gambar 4.9 Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.2$ di $z = 0.15$ m

Gambar 4.9 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ m di $z = 0.15$ m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap meningkat dari $x = 0$ m dengan kecepatan sekitar 5 m/s dan mencapai puncak di $x = 1.1$ m dengan kecepatan sekitar 12.5 m/s kemudian menurun sampai $x = 3$ m dengan kecepatan sekitar 3 m/s.



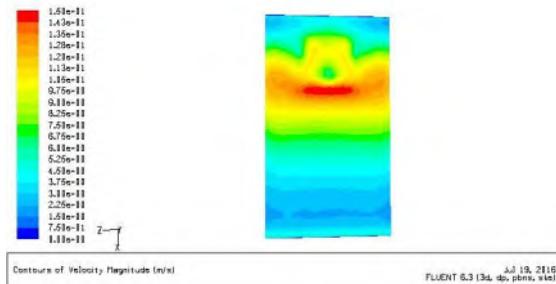
Gambar 4.10 Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.2$ di $z = 0.15$ m

Gambar 4.10 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ m di $z = 0.3$ m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap meningkat dari $x = 0$ m dengan kecepatan sekitar 5 m/s dan mencapai puncak di $x = 1.1$ m dengan kecepatan sekitar 12.5 m/s kemudian menurun sampai $x = 3$ m dengan kecepatan sekitar 2.5 m/s.

4.3 Analisis Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan serta Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.5$ m

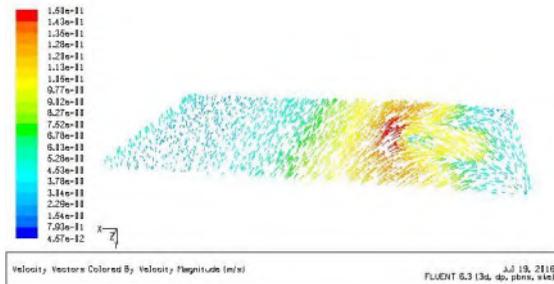
Pemodelan dengan simulasi numerik menghasilkan data kualitatif dan kuantitatif. Analisis data kualitatif berupa visualisasi kontur kecepatan pada permukaan pipa kondensor, selain itu analisis dilakukan dengan visualisasi vektor kecepatan dari aliran. Analisis data kualitatif berupa grafik distribusi kecepatan uap tepat pada permukaan pipa kondensor.

4.3.1 Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.5$ m



Gambar 4.11 Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube paling atas, pada $y = -1.5$ m (bidang xz)*

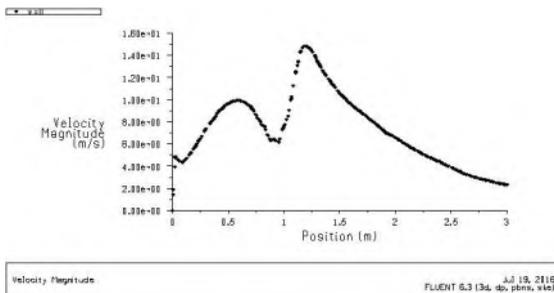
Distribusi kecepatan pada pada bidang ini berada pada kisaran $0 - 15$ m/s dimana yang tertinggi adalah berada pada daerah $x = 0.8$ m sampai dengan $x = 1.2$ m yaitu daerah terjadinya kebocoran pada pipa kondensor.



Gambar 4.12 Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas, pada $y = -1.5$ m (bidang xz)

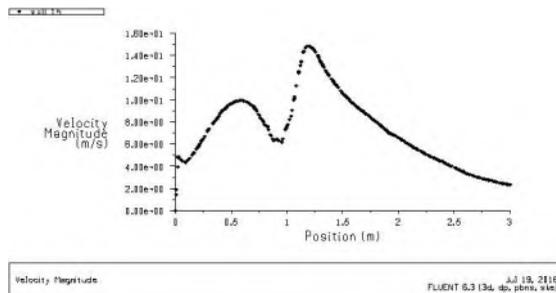
Gambar 4.12 di atas menunjukkan vektor kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1$ m. Dapat dilihat bahwa vektor cenderung mengarah ke arah kanan atas dikarenakan uap yang mengalir menuju outflow.

4.3.2 Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada $y = -1.2$ m



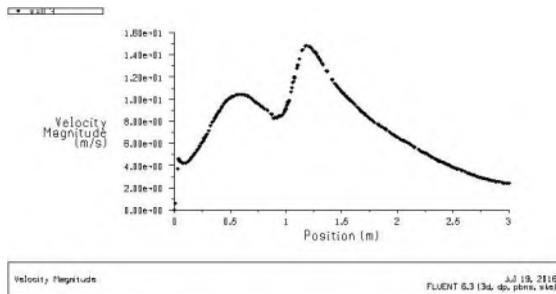
Gambar 4.13 Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.5$ di $z = 0$ m

Gambar 4.13 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ m di $z = 0$ m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap meningkat dari $x = 0$ m dengan kecepatan sekitar 5 m/s dan mencapai puncak pertama di $x = 0.6$ m dengan kecepatan sekitar 12.5 m/s kemudian menurun sampai $x = 1$ m dengan kecepatan sekitar 6 m/s. Kemudian distribusi kecepatan uap kembali meningkat sampai $x = 1.25$ m dengan kecepatan 14.5 m/s dan menurun sampai dengan $x = 3$ dengan kecepatan 2.5 m/s.



Gambar 4.14 Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.5$ di $z = 0.15$ m

Gambar 4.14 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ m di $z = 0.15$ m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap meningkat dari $x = 0$ m dengan kecepatan sekitar 4.5 m/s dan mencapai puncak pertama di $x = 0.6$ m dengan kecepatan sekitar 10 m/s kemudian menurun sampai $x = 1$ m dengan kecepatan sekitar 6 m/s. Kemudian distribusi kecepatan uap kembali meningkat sampai $x = 1.25$ m dengan kecepatan 15 m/s dan menurun sampai dengan $x = 3$ dengan kecepatan 2 m/s.



Gambar 4.15 Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.5$ di $z = 0.3$ m

Gambar 4.15 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1$ m di $z = 0.15$ m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap meningkat dari $x = 0$ m dengan kecepatan sekitar 5 m/s dan mencapai puncak pertama di $x = 0.6$ m dengan kecepatan sekitar 10 m/s kemudian menurun sampai $x = 0.9$ m dengan kecepatan sekitar 8 m/s. Kemudian distribusi kecepatan uap kembali meningkat sampai $x = 1.25$ m dengan kecepatan 15 m/s dan menurun sampai dengan $x = 3$ dengan kecepatan 2 m/s.

4.4 Analisis Kegagalan Pipa Kondenser

4.4.1 Data Material Pipa Kondenser

Data Material pipa condenser yang diperoleh adalah data statis berupa ultimate strength 345 MPa, yield strength 275 MPa. Dengan bantuan internet didapat data lebih lengkap termasuk fatigue strength seperti pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Spesifikasi material pipa Titanium

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	4.51 g/cc	0.163 lb/in ³	
Mechanical Properties			
Hardness, Knoop	170	170	
Hardness, Rockwell B	80	80	
Hardness, Vickers	145	145	
Tensile Strength, Ultimate	344 MPa	49500 psi	
Tensile Strength, Yield	275 - 410 MPa	39900 - 59500 psi	
Elongation at Break	20 %	20 %	
Reduction of Area	35 %	35 %	
Modulus of Elasticity	105 GPa	15200 ksi	In Tension
Compressive Modulus	110 GPa	16000 ksi	
Poisson's Ratio	0.37	0.37	
Izod Impact	114 - 171 J	84.1 - 126 ft-lb	
Fatigue Strength	300 MPa	43500 psi	1E+7 cycles, Unnotched
Fatigue Strength	425 MPa	61600 psi	30,000 cycles, Unnotched
Fracture Toughness	66 MPa-m ^{1/2}	60.1 ksi-in ^{1/2}	K(IQ), annealed
Shear Modulus	45 GPa	6530 ksi	
Electrical Properties			
Electrical Resistivity	5.2e-005 ohm-cm	5.2e-005 ohm-cm	

4.4.2 Perhitungan Perlambatan, Waktu Tumbukan dan Jumlah Tumbukan

Perlambatan (a) dapat dihitung dari perumusan berikut :

$$V^2 = V_0^2 + 2aS \dots\dots\dots (4.1)$$

Sehingga didapat

$$a = \frac{V^2 - V_0^2}{2S} \dots\dots\dots (4.2)$$

Sedangkan waktu yang dibutuhkan (t) butiran air dari deflector hingga menumbuk pipa condenser didapat dari perumusan berikut :

$$S = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \dots\dots\dots (4.3)$$

Sehingga waktu t didapat dari akar persamaan :

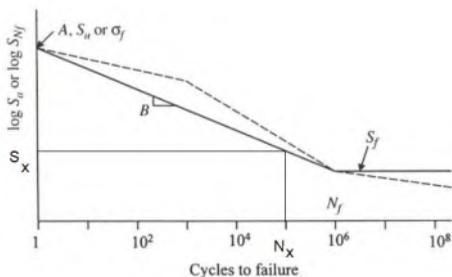
$$\frac{1}{2} a t^2 + V_0 t - S = 0 \dots\dots\dots (4.4)$$

Jumlah tumbukan (N_x) diperoleh dari waktu yang saat terjadinya kerusakan (T_x) dibagi dengan waktu untuk terjadinya tumbukan (t) yang dirumuskan

$$N_x = \frac{T_x}{t} \dots\dots\dots(4.5)$$

4.4.3 Fatigue

Fatigue adalah kerusakan yang terjadi akibat beban yang berulang-ulang. Fatigue digambarkan dalam kurva S-N dimana sumbu absis menyatakan jumlah dalam cycles dan sumbu ordinat menyatakan tegangan yang terjadi, seperti gambar berikut :



Gambar 4.16 Kurva S-N untuk material baja secara umum

Pada jumlah Cycles 1 (statis) batas kerusakan ditandai oleh ultimate strength (S_u). Artinya apabila tegangan yang terjadi dibawah S_u maka kondisi material yang digunakan aman, sebaliknya apabila tegangan yang terjadi di atas S_u maka kondisi material yang digunakan terjadi kerusakan. Pada jumlah cycles 10^6 (untuk material baja), batasan kerusakan ditandai oleh fatigue strength (S_f). Titik S_u dihubungkan dengan S_f oleh garis lurus dengan kemiringan B. Artinya bahwa apabila tegangan yang terjadi ditarik garis hingga mengenai kemiringan B maka dapat ditarik garis kebawah mengenai sumbu absis untuk dapat

mengetahui berapa umur yang bisa dicapai material tersebut. Perhitungan B dirumuskan sebagai berikut :

$$B = \frac{-\log S_u - \log S_f}{\log N_f} \dots\dots\dots(4.6)$$

Sedangkan perhitungan perhitungan yang terjadi didapat dari rumus umur :

$$N_x = N_f \left(\frac{S_x}{S_f} \right)^{-1/B} \dots\dots\dots (4.7)$$

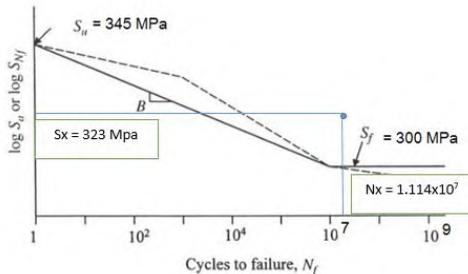
Sehingga diperoleh

$$S_x = S_f \left(\frac{N_x}{N_f} \right)^{-B} \dots\dots\dots(4.8)$$

4.4.4 Hasil Perhitungan dan S-N Diagram Penelitian

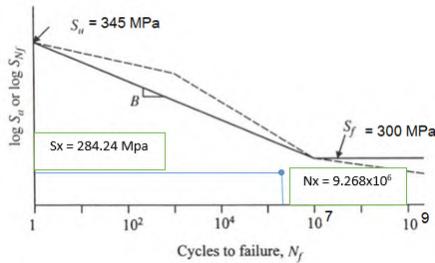
Tabel 4.2 Perhitungan Siklus dan Tegangan

Keterangan	Vo	V	t1	t2	Tx	Nx	Sx
Tanpa sheet	565.23	100	0.00511	0.0073	56814	11140000	323.8991
Dengan Sheet y = -1 m	565.23	11	0.0059	0.00613	56814	9268189.233	284.2416
Dengan Sheet y = -1.2 m	565.23	12	0.00589	0.00614	56814	9253094.463	283.9128
Dengan Sheet y = -1.5 m	565.23	14.5	0.005864	0.006172	56814	9205119.896	282.8669



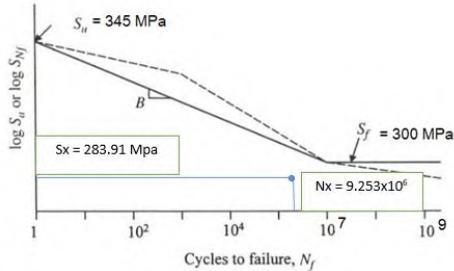
Gambar 4.17 S-N Diagram Tanpa Sheet Protection

Dari gambar 4.17 dapat dilihat bahwa dengan S_x sebesar 323 MPa dan jumlah siklus sebesar 1.114x10⁷ maka material berada di luar kurva fatigue yang diijinkan sehingga pipa mengalami kerusakan.



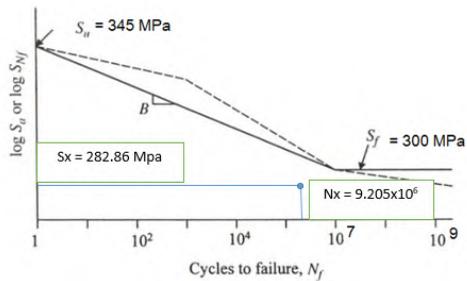
Gambar 4.18 S-N Diagram dengan Sheet Protection di $y = -1$ m

Dari gambar 4.18 dapat dilihat bahwa dengan S_x sebesar 284.24 MPa dan jumlah siklus sebesar 9.268×10^6 maka material berada di dalam kurva fatigue yang diijinkan sehingga pipa tidak mengalami kerusakan.



Gambar 4.19 S-N Diagram dengan Sheet Protection di $y = -1.2$ m

Dari gambar 4.19 dapat dilihat bahwa dengan S_x sebesar 283.91 MPa dan jumlah siklus sebesar 9.253×10^6 maka material berada di dalam kurva fatigue yang diijinkan sehingga pipa tidak mengalami kerusakan.



Gambar 4.20 S-N Diagram dengan Sheet Protection di $y = -1.5$ m

Dari gambar 4.20 dapat dilihat bahwa dengan S_x sebesar 282.86 MPa dan jumlah siklus sebesar 9.205×10^6 maka material berada di dalam kurva fatigue yang diijinkan sehingga pipa tidak mengalami kerusakan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan tentang simulasi distribusi kecepatan aliran uap melalui turbin ventilator valve yang mengenai permukaan pipa kondensor dengan penambahan sheet protection pada ketinggian $y = -1$ m, $y = -1.2$ m dan $y = -1.5$ m yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya maka didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Kecepatan uap masuk ke condenser dan menabrak deflector dengan kecepatan sebesar 1374.25 m/s dan kualitas campuran uap sebesar 88%. Setelah disimulasikan kecepatan uap pada saat menabrak permukaan pipa condenser tanpa penambahan sheet protection sebesar 130 m/s.
2. Dari proses simulasi menggunakan Fluent didapatkan kecepatan uap maksimum menabrak pipa pada posisi $x = 0.8$ m sampai dengan $x = 1.07$ m dengan variasi penempatan ketinggian sheet protection $y = -1$ m, $y = -1.2$ m dan $y = -1.5$ m secara berturut-turut adalah sebesar 11 m/s, 12 m/s dan 14.5 m/s.
3. Berdasarkan analisis kekuatan material, tegangan yang diperbolehkan untuk beban periodik 1.14×10^7 siklus sebesar 300 MPa. Sedangkan tegangan actual yang terjadi didapatkan dari perhitungan sebesar 323 MPa, karena tegangan actual yang terjadi lebih besar dari tegangan yang diperbolehkan maka pipa mengalami kerusakan.
4. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada pipa condenser maka perlu dipasang sheet protection yang diletakkan diatas pipa. Dengan kecepatan uap menabrak pipa pada posisi $x = 0.8$ m sampai dengan $x = 1.07$ m sudah didapatkan pada poin 2, maka tegangan yang terjadi berturut-turut sebesar 284.2416 MPa untuk $y = -1$ m, 283.9128 MPa untuk $y = -1.2$ m dan 282.2669 MPa untuk $y = -1.5$ m. Ketiga tegangan yang terjadi

nilainya masih lebih kecil dari tegangan yang diijinkan sehingga pipa condenser tidak mengalami kerusakan.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat digunakan untuk penelian selanjutnya berdasarkan hasil penelitian tentang simulasi distribusi kecepatan aliran uap melalui turbin ventilator valve yang mengenai permukaan pipa kondensor dengan penambahan sheet protection pada ketinggian $y = -1$ m, $y = -1.2$ m dan $y = -1.5$ m adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya data lapangan yang lebih akurat agar simulasi bisa mendekati hasil lapangan yang sebenarnya.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penempatan sheet protection terhadap karakteristik aliran.

DAFTAR PUSTAKA

- Fox, Robert W., Pritchard, P.J. dan McDonald, Alan T. 2010. *Introduction to Fluid Mechanics* (7th Edition). Asia: John Wiley & Sons.
- Incropera, Frank P., De Witt, David P. (2002). *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Kitto, J.B. dan S.C. Stultz. 2005. *Steam Its Generation an Use*. Amerika: The Babcock & Wilcox Company.
- Moran, Michael J. dan Shapiro, H.N. 2006. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (5th Edition). Inggris: John Wiley & Sons.
- Sinha, Ashwini K. (2010). *Aspects of Failure of Condenser tubes and their Remedial Measures at Powerplants* India: NETRA.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 03 Desember 1992, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Nurul Islam Tangerang, SD Islamic Village Tangerang, SMPI Nurul Fikri Boarding School, dan SMAI Nurul Fikri Boarding School. Penulis mengikuti beasiswa yang diselenggarakan oleh Kementerian Agama Republik Indonesia dan diterima di jurusan Teknik Mesin FTI-ITS pada tahun 2010.

Di Jurusan Teknik Mesin ini, Penulis mengambil Bidang Studi Konversi Energi, Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa. Penulis pernah mengikuti organisasi kemahasiswaan di Kementerian Hubungan Luar Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) ITS. Untuk semua informasi dan masukan dapat menghubungi penulis melalui email gentjer@gmail.com.