ANALISIS OPTIMASI ALIRAN FLUIDA DALAM PIPA KONDENSASI *WATER FROM ATMOSPHERE GENERATOR* BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* (CFD)

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif

Oleh

Syahdan Sigit Maulana

NIM.5202414045

PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019

UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

ANALISIS OPTIMASI ALIRAN FLUIDA DALAM PIPA KONDENSASI *WATER FROM ATMOSPHERE GENERATOR* BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* (CFD)

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif

Oleh

Syahdan Sigit Maulana

NIM.5202414045

PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Syahdan Sigit Maulana

NIM : 5202414045

Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif, S1

Judul : Analisis Optimasi Aliran Fluida Dalam Pipa Kondensasi *Water From Atmosphere Generator* Berbasis *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 22 Februari 2019

Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197601012003121002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Analisis Optimasi Aliran Fluida Dalam Pipa Kondensasi *Water from Atmosphere Generator* Berbasis *Computational Fluid Dynamic* (CFD) telah dipertahankan di depan siding Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 21 bulan Juni tahun 2019

Nama : Syahdan Sigit Maulana
NIM : 5202414045
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif

Panitia

Ketua

Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP.197403211999011002

Sekretaris

Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., ST., MT.
NIP. 196901061994031003

Penguji 1

A. Mustamil Khoiron, S.Pd., M. Pd
NIP.1988080820140511154

Penguji 2

Widya Aryadi, S.T., M.Eng.
NIP.197209101999031001

Pembimbing

Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph. D
NIP.197601012003121002

Mengetahui:
Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 22 Februari 2019

Yang membuat pernyataan,

Syahdan Sigit Maulana

NIM. 5202414045

RINGKASAN

Maulana, Syahdan Sigit. 2019. Analisis Optimasi Aliran Fluida Dalam Pipa Kondensasi *Water from Atmosphere Generator* Berbasis *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.

Bumi memiliki banyak lapisan, salah satunya lapisan terendah dibawah atmosfir, yaitu troposfir yang memiliki kandungan air sekitar 0% sampai dengan 4%. Hal ini menunjukkan bumi memiliki potensi kandungan air yang dapat dimanfaatkan melalui proses kondensasi. Kondensasi didalam pipa digunakan sebagai sistem, sehingga perlu adanya analisis optimasi aliran fluida pipa kondensasi *water from atmosphere generator* pada variasi tekanan berbasis *computational fluid dynamic* (CFD). Tujuan penelitian ini antara lain; Mengetahui aliran fluida, distribusi tekanan, distribusi kecepatan, dan distribusi temperature, dan produksi air hasil kondensasi yang melewati pipa selama proses kondensasi.

Penelitian ini merupakan *experimental research* dengan menggunakan metode *2-factor factorial design*. Prosedur penelitian dilakukan melalui berbagai tahapan, seperti: pembuatan *geometry* dan *meshing*, pendefinisian bidang dan batas, pemeriksaan mesh, penentuan kondisi bidang dan batas, proses numerik, dan pendefinisian hasil analisis.

Hasil penelitian antara lain: 1) aliran yang fluida yang melewati pipa selama proses kondensasi adalah aliran laminar, 2) distribusi tekanan yang terjadi didalam pipa sangat merata dan tidak terjadi pressure drop yang signifikan, 3) distribusi kecepatan yang terjadi pada sistem tidak merata 4) distribusi temperature sesuai dengan tetapan terjadi merata disetiap sisi pipa, 5) kapasitas produksi air yang dihasilkan dari kedua variasi adalah sama, yakni 366 ml/menit dengan menggunakan perhitungan *moisture removal*.

Kata kunci: *kondensasi, distribusi aliran, temperature, produksi air, CFD*

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Analisis Optimasi Aliran Fluida Dalam Pipa Kondensasi *Water from Atmosphere Generator* Berbasis *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan Salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumil akhir nanti, Amin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T., Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D., Pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini hingga selesainya penulisan karya ini.

4. Ahmad Mustamil Khoiron, S.Pd., M.Pd., Pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan hingga selesainya penulisan karya ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

Semarang, 22 Februari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR BERLOGO ii
JUDUL DALAM iii
PERSETUJUAN PEMBIMBING iv
PENGESAHAN KELULUSAN v
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH vi
RINGKASAN vii
PRAKATA viii
DAFTAR ISI x
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG xii
DAFTAR TABEL xiv
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR LAMPIRAN xviii
BAB 1. PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi Masalah 5
1.3 Pembatasan Masalah 5
1.4 Rumusan Masalah 6
1.5 Tujuan 6
1.6 Manfaat 6
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 8
2.1 Kajian Pustaka 8
2.2 Landasan Teori 10
2.3 Hipotesis 35
BAB 3. METODE PENELITIAN 37
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 37
3.2 Desain Penelitian 37
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 41

3.4 Parameter Penelitian 42
3.5 Teknik Pengumpulan Data 42
3.6 Kalibrasi Instrumen 43
3.7 Teknik Analisis Data 45
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN 46
4.1 Deskripsi Desain 46
4.2 Analisis Data 63
4.3 Pembahasan 78
BAB 5. SIMPULAN DAN SARAN 85
6.1 Simpulan 85
6.2 Saran 86
DAFTAR PUSTAKA 87
LAMPIRAN 91

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

x	: Koordinat Sumbu X
y	: Koordinat Sumbu Y
z	: Koordinat Sumbu Z
u	: Komponen Kecepatan ke arah sumbu X
v	: Komponen Kecepatan ke arah sumbu Y
w	: Komponen Keceptan ke arah sumbu Z
t	: Waktu
E_r	: Energi Total
P	: Tekanan
q	: *Heat Flux*
Re	: Bilangan Reynolds
Pr	: Bilangan Prandtl
E	: Energi total
k_{eff}	: Konduktifitas termal efektif
$(\tau_{if})_{eff}$	: *Deviatoric stress tensor*
$\vec{J}_j$	: Difusi fluks
S_h	: Sumber panas
k	: Konduktivitas thermal
P	: Tekanan (Pa)
ρ	: Densitas (kg/m^3)
V	: Kecepatan aliran (m/s)
ρ_m	: Rata-rata densitas fluida
μ_m	: Rata-rata viskositas fluida
D_h	: Diameter hidrolik
$U_{A_{min}}$	: Kecepatan fluida pada luasan aliran minimum
Δp	: *Pressure drop* aliran
f	: Koefisien *pressure loss* aliran
ρ_m	: Densitas fluida

$U_{A_{min}}$	: Kecepatan fluida pada area minimum
σ	: Rasio aliran minimum terhadap luasan permukaan
K_c	: Koefisien *loss* masuk
K_e	: Koefisien *loss* keluar
A	: Luasan permukaan sisi fluida (*fluid-side surface*)
A_c	: Luasan minimum aliran *cross-sectional*
f_c	: Faktor *core friction*
v_c	: Volume spesifik pada sisi keluar
v_e	: Volume spesifik pada sisi masuk
v_m	: Rata-rata volume spesifik = $\frac{1}{2}(v_c + v_e)$
a	: Koefisien *core friction*
b	: Eksponen *core friction*
Re_{min}	: Reynold number untuk kecepatan pada luasan aliran minimum

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Desain Penelitian *2-factor factorial design* (2^2) 37

Table 4.1. Komparasi detil fisik pada *design modeler* ansys dan autodesk inventor 51

Tabel 4.2 Parameter Mesh Pipa Kondensasi 52

Tabel 4.3 Statistik Hasil Mesh 52

Tabel 4.4 Setup *general*, *model*, *materials* dan *cell zone conditions* pada Fluent 54

Tabel 4.5 *Boundary Condition* pada setiap zona dan spesifikasinya 54

Tabel 4.6 *Solution method* 56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Simulasi Penurunan Tekanan pada Fluent 9
Gambar 2.2 Fluida Gas dan Cair 11
Gambar 2.3 Aliran Laminer 14
Gambar 2.4 Aliran Turbulen 15
Gambar 2.5 Aliran Transisi 15
Gambar 2.6 (a) Model *Finite difference* dan (b) *Finite Element* pada profil sudu turbin 22
Gambar 2.7 (a) Geometri plat pada permodelan *finite difference* dan (b) *finite element* 23
Gambar 2.8 *Finite element* dan *Finite Volume* 24
Gambar 2.9. *Viscous model dialog box* 29
Gambar 2.10. Chart *Psychrometric* 35
Gambar 3.1 Prosedur Penelitian 37
Gambar 3.2 Desain Sistem *Water from Atmosphere Generator* 38
Gambar 3.3 Import desain pada Geometry Ansys 17 38
Gambar 3.4 Mendefinisikan Input, Output dan Wall (Wall) 39
Gambar 3.5 Tampilan element hasil meshing 39
Gambar 3.6 Tampilan setup pada Ansys 17 40
Gambar 3.7 (a) Body solid pipa dan (b) Body fluida pada geometry Ansys 17 42
Gambar 3.8 Kalibrasi meshing 43
Gambar 3.9 Penentuan model analisis 44
Gambar 3.10 Penentuan material 44
Gambar 4.1 Grand Desain *Water from Atmosphere Generator* 45
Gambar 4.2 Siklus *Water from atmosphere generator* 46
Gambar 4.3 Desain pipa untuk sistem kondensasi 49
Gambar 4.4 Definisi *geometry* dan detail bodi pada *design modeler* 51
Gambar 4.6 *Element mesh quality* 53

Gambar 4.7 Grafik residu pada varian tekanan 18 kPa (a) dan 25 kPa (b) pada temperatur -10°C 57

Gambar 4.8 Grafik residu pada varian tekanan 18 kPa (a) dan 25 kPa (b) pada temperatur -5°C 57

Gambar 4.9 *Volume rendering* kecepatan (velocity) fluida dalam pipa kondensasi pada varian tekanan 18 kPa (a) dan 25 kPa (b) pada temperatur -10°C 59

Gambar 4.10 *Volume rendering* kecepatan (velocity) fluida dalam pipa kondensasi pada varian tekanan 18 kPa (a) dan25 kPa (b) pada temperatur -5°C 60

Gambar 4.11 *Volume rendering* tekanan (*pressure*) fluida dalam pipa kondensasi pada varian tekanan 18 kPa (a) dan 25 kPa (b) 61

Gambar 4.12 Volume rendering temperatur fluida dalam pipa kondensasi pada varian tekanan 18 kPa (a) dan 25 kPa (b) temperatur -5°C 61

Gambar 4.13 *Volume rendering* temperatur fluida dalam pipa kondensasi pada varian tekanan 18 kPa (a) dan 25 kPa (b) temperatur -10°C 62

Gambar 4.18 *Streamline* fluida pada varian tekanan 18 kPa 63

Gambar 4.19 Reynold Number pada varian tekanan 18 kPa 63

Gambar 4.20 *Streamline* fluida pada varian tekanan 25 kPa 64

Gambar 4.21 Reynold Number pada varian tekanan 25 kPa 65

Gambar 4.22 Grafik Reynold Number bagian Header Atas 66

Gambar 4.23 Grafik Reynold Number bagian Header Bawah 67

Gambar 4.23 Distribusi tekanan (*pressure*) fluida dalam pipa kondensasi pertama dari sisi inlet pada varian tekanan 18 kPa (a) dan 25 kPa (b) 68

Gambar 4.24 Distribusi kecepatan (*velocity*) fluida dalam pipa kondensasi bagian header atas pada varian tekanan (a) 25 kPa, dan (b) 18 kPa 71

Gambar 4.25 Grafik *Velocity* Bagian Header Atas 71

Gambar 4.26 Distribusi kecepatan (*velocity*) fluida dalam pipa kondensasi bagian header bawah pada varian tekanan 25 kPa dan temperatur -10°C 72

Gambar 4.27 Grafik Velocity Bagian Header bawah 72

Gambar 4.28 Distribusi Temperature 73
Gambar 4.29 Grafik Distribusi Temperature 74
Gambar 4.30 *Dehumidifier sizing* 76

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Formulir Usulan Topik Skripsi 90
Lampiran 2. Surat Usulan Pembimbing 92
Lampiran 3. Surat Keputusan Dosen Pembimbing 93
Lampiran 4. Surat Persetujuan Seminar Proposal 94
Lampiran 5. Surat Tugas Penguji Seminar Proposal 95
Lampiran 6. Presensi Seminar Proposal 96
Lampiran 7. Berita Acara Seminar Proposal Skripsi 98
Lampiran 8. Formulir Bimbingan Skripsi 99
Lampiran 9. Formulir Selesai Bimbingan Skripsi 100
Lampiran 10. Desain Pipa Kondensasi 101
Lampiran 11. Contour Reynlod Number Varian 263K 18KPa 102
Lampiran 12. Contour Pressure Varian 263K 18KPa 104
Lampiran 13. *Volume Rendering Pressure* Varian 263K 18KPa 109
Lampiran 14. *Contour Temperature* Varian 263K 18KPa 110
Lampiran 15. *Volume Rendering Temperature* Varian 263K 18KPa 115
Lampiran 16. *Contour Velocity* Varian 263K 18KPa 116
Lampiran 17. *Volume Rendering Velocity* Varian 263K 18KPa 121
Lampiran 18. *Streamline* Varian 263K 18KPa 122
Lampiran 19. *Contour* Reynlod Number Varian 263K 25KPa 123
Lampiran 20. *Contour Pressure* Varian 263K 25KPa 124
Lampiran 21. *Volume Rendering Pressure* Varian 263K 25KPa 129
Lampiran 22. *Contour Temperature* Varian 263K 25KPa 130
Lampiran 23. *Volume Rendering Temperature* Varian 263K 25KPa 135
Lampiran 24. *Contour Velocity* Varian 263K 25KPa 136
Lampiran 25. *Volume Rendering Velocity* Varian 263K 25KPa 141
Lampiran 26. *Streamline* Varian 263K 25KPa 142
Lampiran 27. *Contour Pressure* Varian 268K 18KPa 101
Lampiran 28. *Volume Rendering Pressure* Varian 268K 18KPa 148

Lampiran 29. *Contour Temperature* Varian 268K 18KPa 149
Lampiran 30. *Volume Rendering Temperature* Varian 268K 18KPa 154
Lampiran 31. *Contour Velocity* Varian 268K 18KPa 155
Lampiran 32. *Volume Rendering Velocity* Varian 268K 18KPa 160
Lampiran 33. *Streamline* Varian 268K 18KPa 161
Lampiran 34. *Contour Pressure* Varian 268K 25KPa 162
Lampiran 35. *Volume Rendering Pressure* Varian 268K 25KPa 167
Lampiran 36. *Contour Temperature* Varian 268K 25KPa 168
Lampiran 37. *Volume Rendering Temperature* Varian 268K 25KPa 173
Lampiran 38. *Contour Velocity* Varian 268K 25KPa 174
Lampiran 39. *Volume Rendering Velocity* Varian 268K 25KPa 179
Lampiran 40. *Streamline* Varian 268K 25KPa 180

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan air bersih sangat penting untuk kesehatan publik, baik digunakan untuk minum, kebutuhan domestik, produksi makanan atau kepentingan yang lainnya. Air yang terdapat di bumi terdiri dari 97% air laut dan 3% air tawar dengan 2,5% adalah air yang membeku, dan hanya 0,5% air tawar tersedia yang terdapat pada air tanah, air hujan, danau, sungai dan cadangan lainnya (World Energy Council, 2010:7). Menurut World Health Organization (2017) pada tahun 2015, 89% populasi penduduk bumi (6,5 miliar orang) menggunakan layanan air dasar yang membutuhkan waktu sekitar 30 menit untuk mendapatkan air. Sebanyak 884 juta orang bahkan tidak mendapatkan layanan air dasar sehingga sejumlah 159 juta orang masih bergantung pada air permukaan dan tanah. Secara global, sekitar 2 miliar orang menggunakan sumber air minum yang terkontaminasi kotoran yang dapat berakibat berbagai macam penyakit seperti diare, kolera, disentri dan polio. Hal ini sudah menyebabkan 502.000 kematian setiap tahunnya. Sampai tahun 2025 diperkirakan setengah dari populasi bumi akan hidup dalam lingkungan air yang terkontaminasi.

Lebih lanjut, Quinn dan Dehgan (2017) menjelaskan satu dari empat anak di dunia akan kesulitan mendapatkan air bersih pada 2040, terutama negara miskin dan langka air. Dalam dua dekade mendatang, 600 juta anak berada di area dengan kesulitan akses air bersih, dan berkompetisi karena kebutuhan tinggi sementara ketersediaan terbatas. UNICEF mengantisipasi bahwa akan ada lebih dari sembilan

juta orang yang akan menghadapi kesulitan air tahun ini di Ethiopia. Sedikitnya 1,4 juta anak menghadapi risiko kematian akibat malnutrisi di Sudan Selatan, Nigeria, Somalia dan Yaman. Laporan itu juga menemukan adanya ancaman bagi kehidupan anak-anak di masa mendatang disebabkan faktor perubahan iklim yang turut membuat kelangkaan air.

Indonesia yang merupakan negara maritime dengan bagian terluas adalah lautan tidak luput dari adanya krisis air. Kekeringan terjadi hampir disetiap tahun, terlebih ketika terjadi kemarau panjang akibat pengaruh El Nino seperti pada tahun 1997, 2002 dan 2015 yang menyebabkan kekeringan semakin meluas, hingga September 2017 terdapat 2726 kelurahan/desa di Pulau Jawa dan Nusa Tenggara mengalami kekeringan (Aziz, 2017). Berdasarkan data sementara yang dihimpun Pusat Pengendali Operasi Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), terdapat sekitar 105 kabupaten/kota, 715 kecamatan, serta 2.726 kelurahan/desa di Pulau Jawa dan Nusa Tenggara mengalami kekeringan akibat musim kemarau normal 2017. Akibatnya sekitar 3,9 juta jiwa masyarakat terdampak kekeringan sehinga memerlukan bantuan air bersih. Kekeringan juga melanda sekitar 56.334 hektar lahan pertanian, sehingga 18.516 hektar lahan pertanian mengalami gagal panen (Erdianto, 2017).

Lebih lanjut krisis air bersih juga dialami kota metropolitan, Badan Geologi Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral menyatakan, bahwa 80% air tanah di wilayah Cekungan Air Tanah (CAT) Jakarta tidak memenuhi standar Menteri Kesehatan No. 492 tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Jakarta bagian utara merupakan wilayah terparah dimana secara umum CAT air tanahnya

mengandung unsur besi (Fe) dengan kadar yang tinggi serta kandungan natrium (Na), klorida (Cl), *total disolve solid* (TDS) dan daya hantar listrik (DHL) yang tinggi akibat adanya pengaruh dari intrusi air asin (kementerian ESDM, 2017).

Bumi memiliki banyak lapisan, salah satunya lapisan terendah dibawah atmosfir, yaitu troposfir. Pada lapisan ini terdapat kandungan air sekitar 0% - 4%. Tidak seperti kandungan oksigen dan nitrogen pada udara bebas, kandungan air pada lapisan ini bergantung pada kondisi cuaca dan letak geografisnya. Kandungan air pada atmosfir memiliki volume sekitar 12,900 km^3. Mengekstrak air dari atmosfir ini dapat digunakan dan dikembangkan sebagai teknologi untuk produksi air bersih. Sekarang ini pengembangan yang sudah dilakukan salah satunya ada di India. *Water maker* India menjadi pelopor perkembangan teknologi sumber air alternatif. Menggunakan prinsip kondensasi dan filtrasi osmosis menjadikan hasil produksi siap konsumsi. Namun ada hal yang belum ada dalam produk tersebut, yakni mineral. Air yang terkandung pada hasil kondensasi hanya sebatas air murni, bukan air mineral, tentunya ini akan menjadi hal yang fatal apabila *output* dari rancangan ini adalah untuk air siap konsumsi.

Kondensasi untuk menghasilkan air dari udara banyak diteliti dalam lingkup eksperimen, diantaranya sistem kondensasi air menggunakan *photovoltaic solar energy* dikembangkan oleh Muñoz-Garcia et al. (2013:60) untuk menghasilkan air dari udara kemudian digunakan untuk menyirami tunas pohon. Joshi et al. (2016:161) dalam penelitiannya mengembangkan penghasil air menggunakan *thermoelectric cooler* yang mengalirkan udara melewati *heatsink* sehingga terjadi kondensasi. Pada penelitiannya, kapasitas produksi air ditingkatkan. Kedua

penelitian ini didapatkan bahwa pengaruh temperatur pada medium yang dilewatkan udara akan mempengaruhi kapasitas produksi air. Oueslati dan Megriche (2017:453) mengembangkan rancangan baru *dehumidifier* udara menggunakan pipa vertikal dimana kondensasi air dicapai dengan melewatkan udara melalui pipa vertikal.

Sistem yang sudah dibuat dan dilakukan oleh peneliti sebelumnya, tidak dapat diketahui secara pasti kondisi aliran fluida yang terjadi serta fenomenanya tidak bisa diprediksi secara akurat. Karena inilah maka diperlukan sebuah simulasi yang dapat memberikan informasi untuk meningkatkan kinerja alat. Informasi ini diperlukan untuk dapat meningkatkan lagi kinerja desain alat yang sudah ada, seperti kapasitas volume produksi, karena masih belum diketahui pasti efektivitasnya. Punetha dan Khandekar (2017:280) membahas mengenai kondensasi uap yang dipengaruhi adanya udara yang tidak dapat terkondensasi. Hasilnya jika pada suatu uap memiliki sedikit kandungan udara yang tak terkondensasi maka dapat menghasilkan air lebih banyak, hasil ini didukung dengan data visual dan perhitungan matematis yang didapat melalui simulasi CFD. Vyskocil et al. (2014:147) dalam penelitiannya menyatakan tekanan, kelembaban dan temperatur udara merupakan faktor penentu dalam terjadinya kondensasi. Berdasarkan masalah tersebut maka perlu adanya Analisis Optimasi Aliran Fluida Pipa Kondensasi *Water from Atmosphere Generator* pada Variasi Tekanan Berbasis *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang, terdapat beberapa masalah yang teridentidikasi sebagai berikut:

1. Ketersediaan air bersih semakin berkurang.
2. Sumber air banyak yang terkontaminasi sehingga tidak layak dikonsumsi.
3. Wabah penyakit akibat krisis air bersih terus bertambah.
4. Kesulitan air berpotensi besar mengakibatkan kematian.
5. Sumber air bersih berpotensi belum banyak dikembangkan.
6. Teknologi yang efektif untuk mengekstrak air dari udara belum ada.
7. Belum tersedianya rancangan penghasil air dari udara berskala produksi.
8. Kurangnya penelitian yang membahas tentang optimasi aliran fluida pada teknologi penghasil air dari udara.
9. Tidak adanya analisis optimasi aliran udara pada pipa kondensasi.
10. Belum diketahui tekanan optimal untuk proses kondensasi.
11. Belum diketahui pengaruh temperatur dan kelembaban udara untuk proses kondensasi.

1.3 Pembatasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Rancangan pipa kondensasi berdasarkan pada desain yang sudah ada.
2. Tekanan yang digunakan adalah tekanan udara yang melewati pipa.
3. Hanya digunakan temperatur dan kelembaban udara yang melewati pipa.
4. Temperatur ruangan dalam proses kondensasi konstan.

5. Menggunakan analisis CFD untuk mengetahui distribusi tekanan, temperatur dan aliran.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang sudah dibatasi dalam pembatasan masalah, diketahui rumusan masalah penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana aliran fluida yang melewati pipa selama proses kondensasi?
2. Bagaimana distribusi tekanan dalam aliran fluida selama proses kondensasi?
3. Bagaimana distribusi kecepatan dan temperatur dalam aliran fluida selama proses kondensasi?
4. Bagaimana data produksi air hasil kondensasi pada setiap parameter?

1.5 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui aliran fluida yang melewati pipa selama proses kondensasi.
2. Mengetahui distribusi tekanan dalam aliran fluida selama proses kondensasi.
3. Mengetahui distribusi kecepatan aliran dan temperatur dalam aliran fluida selama proses kondensasi.
4. Mengetahui data produksi air hasil kondensasi.

1.6 Manfaat

Melalui penelitian yang dilakukan dapat diperoleh manfaat sebagai berikut:

1. Bagi ilmu pengetahuan bermanfaat memberikan pemahaman tentang aliran fluida dalam pipa kondensasi terhadap proses kondensasi pada alat *water from atmosphere generator*.

2. Bagi dunia industri dan perancangan data analisis kondensasi alat *water from atmosphere generator* bermanfaat sebagai pertimbangan rekayasa fluida pada sistem kondensasi udara.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Ahyar (2016) melakukan penelitian analisis CFD terhadap profil temperatur untuk kondensasi steam arah circumferential pada pipa konsentrik horizontal dengan aliran pendinginan searah di dalam ruang anular. Menggunakan ukuran pipa berdiameter dalam 17,2 mm dan panjang 1.6 m menghasilkan kondensasi yang terjadi pada titik 75 sampai dengan 150 cm dari sisi inlet.

Behera (2013:31) menganalisis pengaruh *counter flow* pada *heat exchanger* dari pipa helical menggunakan aplikasi CFD Ansys Fluent 13. Material pipa spiral yang digunakan terbuat dari tembaga dengan fluida yang digunakan adalah air. Kontur temperatur, vektor kecepatan, kontur tekanan keseluruhan dan laju hilangnya panas pada dinding pipa. Air panas digunakan sebagai fluida pada aliran masuk dan air panas digunakan sebagai fluida pada aliran keluar.

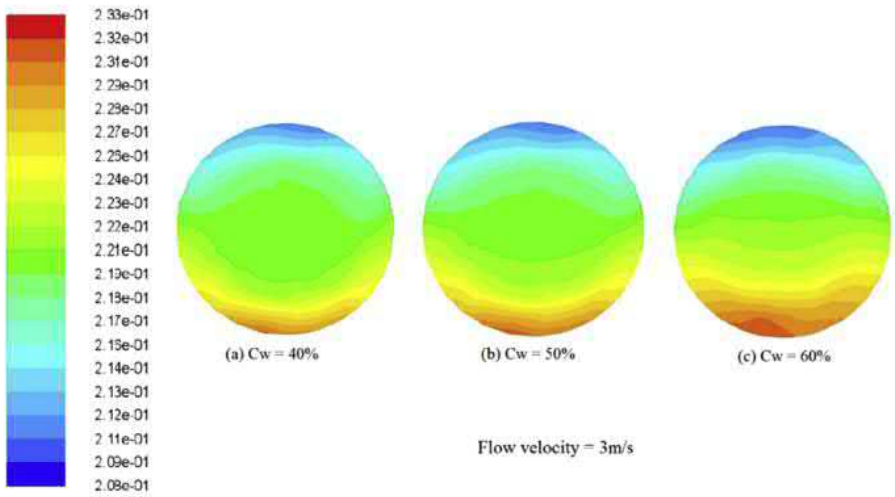
Vyskocil et al. (2014:157) menganalisis model kondensasi yang dikembangkan untuk digunakan pada udara compressible dan incompressible dengan tambahan non-condensable gas. Kondensasi dibuat dalam satu model dan dua bagian, volume dan dinding. Analisis CFD menggunakan CONAN dan PANDA. Hasilnya saat terjadi peningkatan konsentrasi uap maka mulai terjadi kondensasi pada dinding.

Punetha dan Khandekar (2017:281) melakukan prediksi kondensasi menggunakan Ansys CFX 17. Prediksi dilakukan untuk mengetahui kondensasi pada udara yang memiliki gas yang tidak dapat terkondensasi. Penelitian dilakukan

dengan mengamati proses perubahan multikomponen gas spesifik dan fenomena perubahan fasa menggunakan pendekatan CFD dengan Ansys CFX.

Hammami dan Feddaoui (2012:1684) mensimulasi secara numerik kondensasi uap air didalam pipa vertikal dengan konsentrasi udara yang tinggi dengan prediksi Nusselt number dan koefisien perpindahan panas kondensasi yang menghasilkan pernyataan bahwa temperature dinding, tekanan, kecepatan mempengaruhi kondensasi. Penelitian lain yang serupa untuk mengetahui konveksi yang terjadi pada kondensasi uap air dalam dinding dari pipa horizontal 1 mm dan dengan memperhatikan gas yang tidak dapat terkondensasi juga telah diinvestigasi secara numerik oleh Yin et al. (2015:975).

Singh et al. (2017:4) melakukan permodelan aliran dua fasa pada pipa horizontal menggunakan Fluent. Pipa berdiameter 50 mm disimulasikan pada kecepatan 1-3 m/s menghasilkan penurunan tekanan selama terjadi peningkatan kecepatan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Simulasi penurunan tekanan pada Fluent

Penelitian modelling berbasis CFD sudah banyak dilakukan untuk memprediksi suatu fenomena aliran fluida dalam pipa. Khususnya dalam penelitian ini dilakukan menggunakan aplikasi Ansys 17. Rancangan yang akan dianalisis merupakan desain yang sudah ada sehingga hasil simulasi pada pipa akan dibandingkan dan ditentukan hasil yang optimal untuk data dalam perancangan *water from atmosphere generator*.

2.2 Landasan Teori

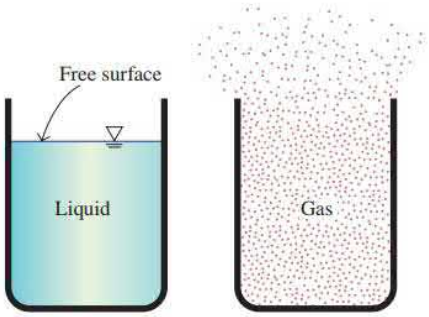
2.2.1 Fluida

Fluida adalah zat yang mengubah bentuknya sebagai respons terhadap gaya apapun betapapun kecilnya, yang cenderung mengalir atau sesuai dengan bentuk wadahnya, dan didalamnya termasuk gas, cairan dan campuran padatan dan cairan yang mampu mengalir (Vlachopoulos, 2016:1). Sumber lain menyatakan bahwa fluida adalah zat yang mengalami deformasi terus menerus dibawah tegangan geser yang diterapkan atau setaranya, sehingga tidak memiliki bentuk yang diinginkan (Kundu et al., 2015:2). Sehingga fluida akan selalu berubah bentuk apabila dikenakan tekanan geser. Berbeda dengan zat padat yang akan menunjukkan reaksi deformasi ketika menerima gaya geser.

Berdasarkan wujudnya, Cengel dan Cimbala (2014:3) fluida dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Fluida gas, merupakan fluida dengan partikel yang renggang dimana gaya tarik antara molekul sejenis relatif lemah dan sangat ringan sehingga dapat melayang dengan bebas serta volumenya tidak menentu, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2

2. Fluida cair, berdasarkan pada Gambar 2.2 merupakan fluida dengan partikel yang rapat dimana gaya tarik antara molekul sejenisnya sangat kuat dan mempunyai permukaan bebas serta cenderung untuk mempertahankan volumenya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Fluida gas dan cair (Cengel dan Cimbala, 2014:3)

Untuk memahami segala hal tentang aliran fluida, maka terlebih dahulu harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Sifat–sifat dasar fluida tersebut yaitu: berat jenis, kerapatan, tekanan, temperatur, kekentalan

1. Berat Jenis

Berat Jenis (*specific weight*) dari suatu fluida, dilambangkan dengan γ (gamma), didefinisikan sebagai berat tiap satuan volume. Dirumuskan sebagai berikut (Munson et al., 2016:9):

$$\gamma = \rho\, g \quad \text{.....(2.1)}$$

dengan: m = berat jenis (N/m^3)

g = percepatan gravitasi (kg/m^3)

ρ = kerapatan zat (kg/m^3)

2. Kerapatan

Definisi kerapatan suatu fluida adalah massa per satuan volume pada suatu temperatur dan tekanan tertentu. Dinyatakan dengan ρ dengan persamaan sebagai berikut (Cengel dan Cimbala, 2014:39):

$$\rho = \frac{massa}{satuan\ volume} = \frac{m}{V}\ (\text{kg/m}^3) \quad (2.2)$$

Kerapatan fluida bervariasi sesuai dengan jenis fluidanya. Fluida gas akan mengalami perubahan apabila temperatur dan tekanannya berubah. Sedangkan fluida cair pengaruh keduanya tidak signifikan. Jika kerapatan fluida tidak dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan tekanan maka disebut fluida inkompresibel.

3. Kerapatan relatif

Kerapatan relatif merupakan perbandingan antara kerapatan fluida tertentu terhadap kerapatan fluida standar, umumnya pada air adalah 4°C (untuk cairan) dan udara (untuk gas). Kerapatan relatif (*specific gravity* atau SG) merupakan besaran yang dinyatakan melalui persamaan berikut (Cengel dan Cimbala, 2014:39):

$$SG = \frac{\rho}{\rho H_2O@4^oC} \quad (2.3)$$

4. Tekanan

Tekanan didefinisikan sebagai gaya (F) yang diterima fluida tiap luasan area (A). Satuan tekanan biasa disebut pascal (Pa). Definisi tersebut dinyatakan dalam satuan newton per meter kuadrat (N/m^2) atau biasa disebut pascal (Pa) dimana (Cengel dan Cimbala, 2014:76):

$$1Pa = 1\ N/m^2 \quad (2.4)$$

Namun karena skalanya terlalu kecil, praktiknya yang umum digunakan adalah kelipatan dalam kilopascal (1 kPa = 10^3 Pa) dan megapascal (1 MPa = 10^6). Satuan lain yang umum digunakan antara lain: bar (1 bar = 10^5 Pa), standar atmosfer (1 atm = 101325 Pa), dan kilogram-force per centimeter persegi (1 kgf/cm^2 = 0.9679 atm).

5. Temperatur

Temperatur berkaitan dengan tingkat energi internal dari suatu fluida. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, baik itu dalam bentuk perpindahan maupun gerakan di tempat berupa getaran. Makin tingginya energi atom-atom penyusun benda, makin tinggi temperatur benda tersebut. Temperatur diukur dengan alat termometer. Temperature juga menjadi kuantitas fisik dasar dalam termodinamika yang bersimbol (*T*) dengan satuan kelvin (K), karena dalam praktik pada umumnya menggunakan aturan berbeda dari kelvin maka digunakan temperatur celcius dengan symbol *t*, didefinisikan dengan (Preston-Thomas, 1989:3):

$$t/^{o}\mathrm{C} = T/\mathrm{K} - 273{,}15 \quad (2.5)$$

2.2.2 Aliran Fluida

Aliran pada fluida berbeda dengan zat padat, karena kemampuan fluida untuk mengalir. Fluida lebih mudah mengalir karena terdapat ikatan molekul yang lebih kecil dibandingkan dengan ikatan molekul pada zat padat, sehingga fluida hambatan perubahan bentuk karena gesekan relatif kecil. Beberapa jenis aliran sangat terpengaruh oleh bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds adalah bilangan tidak berdimensi yang penting digunakan untuk penelitian aliran fluida pada pipa.

Adapun persamaan bilangan Reynolds untuk aliran di dalam pipa adalah sebagai berikut (Cengel dan Cimbala, 2014:11).

$$Re = \frac{V\,D\,\rho}{\mu} \quad \text{.....} \quad (2.6)$$

dengan: V = Kecepatan Fluida (m/s)

D = Diameter Dalam Pipa (m)

ρ = Massa Jenis Fluida (kg/m³)

μ = Viskositas Dinamik Fluida (kg/m.s) atau (N.s/m²)

Berdasarkan kondisinya terhadap waktu, aliran fluida dapat dibedakan menjadi dua (Cengel dan Cimbala, 2014:11), yaitu:

a. Aliran *Steady*. Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu sehingga kecepatan konstan pada setiap titik (tidak mempunyai percepatan).
b. Aliran Transient. Dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

Berdasarkan pola alirannya, aliran fluida dibedakan menjadi tiga, yaitu:

a. Aliran Laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynoldsnya kurang dari 2300 (Re < 2300).

Gambar 2.3 Aliran Laminer (Cengel dan Cimbala, 2014:11)

b. Aliran Turbulen

Aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dimana nilai bilangan Renoldsnya lebih besar dari 4000 (Re>4000).

Gambar 2.4 Aliran Turbulen (Cengel dan Cimbala, 2014:11)

c. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen, nilai bilangan Reynoldssnya antara 2300 sampai dengan 4000 (2300<Re<4000).

Gambar 2.5 Aliran Transisi (Cengel dan Cimbala, 2014:11)

2.2.3 Kondensasi

Kondensasi merupakan fenomena penting dalam berbagai aplikasi teknik (Hohne et al., 2017:211). Kondensasi tersebut merupakan proses konversi uap (gas) ke keadaan cair atau padat. Pelepasan panas pada transformasi fasa secara tak

langsung menghubungkan proses kondensasi uap dengan pertukaran panas. Kondensasi dapat terjadi pada volume uap atau pada permukaan pertukaran panas yang didinginkan (Slobodina dan Mikhailov, 2016:395).

Kondensasi *filmwise* terjadi saat uap mengembun pada film cairan kontinyu yang terbentuk di sekitar permukaan yang didinginkan. Ini adalah mode kondensasi yang paling penting dalam peralatan konvensional. Adanya spesies non-kondensasi yang dicampur dengan uap biasa. Ini bisa jadi akibat masuknya gas yang tidak diinginkan, atau karena spesies ini adalah bagian dari proses. Konsentrasi spesies inert lebih tinggi di sebelah lapisan film, yang bertindak sebagai penghalang untuk uap kondensasi. Spesies kondensasi harus berdifusi melalui spesies inert menuju film cair. Pada saat bersamaan, panas juga berdifusi ke permukaan yang didinginkan. Perpaduan antara panas dan perpindahan massa yang menyebar dapat menyebabkan keadaan meteorisasi jenuh dalam gas. Kondensasi massal dapat terjadi dan fase diskrit dapat muncul dalam bentuk partikel cair yang terdispersi dalam campuran gas. Kombinasi fase kontinyu dan diskrit membentuk aerosol cair, yang juga disebut kabut (Fernandez dan Prieto, 2015:1059).

Temperatur jenuh suatu zat dapat diketahui dengan mencari titik embun (*dew point temperature*). Apabila temperatur uap berada pada *dew point temperatur* (Tdp) maka akan terjadi kondensasi (Cengel dan Cimbala, 2014:4). *Dew point temperatur* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$T_{dp} = T_{sat@Pv}$ dengan, Pv = Tekanan uap .....(2.7)

2.2.4 Pipa

Pipa adalah saluran tertutup sebagai sarana pengaliran atau transportasi fluida, sarana pengaliran atau transportasi energi dalam aliran. Copper Development Association (2010:9) menjelaskan, pipa biasanya ditentukan berdasarkan ukuran nominalnya, sedangkan *tube* adalah merupakan salah satu jenis pipa yang ditetapkan berdasarkan diameter luarnya. Dalam keadaan sehari – hari pipa AC menggunakan pipa tembaga. Pengerjaan pemipaan yang berhubungan dengan sistem pemanasan, pendinginan dan sistem lainnya. Semua produksi pipa tembaga di Amerika yang digunakan untuk memenuhi semua kebutuhan, harus sesuai standar dan spesifikasi dari American Society for Testing and Materials (ASTM). Semua pipa tembaga ber-standar ASTM harus berkomposisi minimal 99,9 % tembaga murni.

Menurut Copper Development Association (2010:9) pipa tembaga adalah pipa yang paling sering digunakan untuk keperluan mesin pendingin. Pipa tembaga yang dipergunakan pada mesin pendingin adalah pipa tembaga khusus yang disebut *Air Conditioning and Refrigeration Tubing* (ACR TUBING) yang telah dirancang dan memenuhi persyaratan/karakteristik khusus untuk mesin pendingin. Bagian dalam pipa untuk keperluan mesin pendingin harus dijaga agar tetap kering dan biasanya dibersihkan dengan menggunakan nitrogen. Ujung-ujung pipa jangan dibiarkan terbuka dan harus ditutup agar tidak terkontaminasi udara luar (uap air) atau kotoran lainnya dengan cara digepengkan ataupun ditutup dengan penutup khusus.

Berdasarkan Copper Development Association (2010:9) Pipa tembaga pada umumnya dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu:

a. Pipa Tembaga Lunak (Soft)

Pipa tembaga lunak biasanya digunakan pada mesin-mesin pendingin jenis domestik dan komersial. Pipa tembaga ini memiliki sifat kekerasan tertentu yang disebut “Annealed Copper Tubing”, yaitu, pipa dipanaskan kemudian dibiarkan mendingin sendiri. Hal ini membuat pipa tembaga menjadi lunak dan mudah dibentuk. Pipa tembaga lunak mempunyai sifat khusus. Jika pipa dibengkokan berulang kali maka pipa tersebut akan menjadi keras dan kaku, sehingga mudah rusak, retak atau patah.

b. Pipa Tembaga Keras (Hard)

Pipa tembaga keras biasanya digunakan pada mesin pendingin untuk keperluan komersial, dimana sifat pipa tembaga ini kaku dan keras, jadi pada saat pemasangan pipa tersebut harus dipasang klem atau penyangga sebagai tumpuan dan pengikatnya, apalagi jika ukuran diameter pipa yang digunakan ukurannya besar. Pipa tembaga keras tidak dapat dibengkokkan, jadi harus menggunakan *elbow* bila diperlukan bengkokan. Penyambungan pipa hanya hanya dilakukan dengan sistem pengelasan dengan las perak (*silver brazing*) atau menggunakan *flare fitting*. Penyolderan hanya dilakukan untuk saluran tekanan rendah. Pipa tembaga keras ini diperjualbelikan di pasaran dalam bentuk batangan, dimana setiap batangnya mempunyai panjang kurang lebih 7 meter.

Temper, dideskripsikan sebagai tingkat kekuatan dan kekerasan dari pipa. *Drawn temper tube* biasa dikatakan sebagai *hard tube* atau pipa keras sedangkan annealed temper tube lebih sering dikataan *soft tube* atau pipa lunak. Terdapat enam tipe standar pipa tembaga dan spesifikasi penggunaannya. Terdapat tipe K, L, M,

DWV dan *Medical Gas Tube* yang sesuai dengan standar ASTM. Tiap tipe pipa merepresentasikan tingkat ketebalan pipa. Pipa tipe K akan lebih tebal dari pada pipa tipe L, dan pipa tipe L akan lebih tebal dari pada pipa tipe M untuk semua ukuran diameter pipa. Sedangkan ukuran diameter dalam, dipengaruhi oleh ukuran pipa serta ketebalan pipa tersebut.

2.2.5 Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational fluid dynamic merupakan sistem analisis yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait seperti reaksi kimia dengan menggunakan perhitungan computer berbasis simulasi (Versteeg dan Malalasekera, 2007:1). Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di tersebut.

Versteeg dan Malalasekera (2007:2) dalam bukunya menyatakan ada beberapa keuntungan dari CFD berdasarkan pendekatan eksperimen untuk desain sistem fluida antara lain:

1. Meminimumkan biaya dan waktu dalam mendesain suatu produk, jika proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
2. Mempunyai kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
3. Mempunyai kemampuan untuk sistem studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
4. Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain.

Aplikasi dari CFD untuk penyelesaian masalah aliran pada pipa telah mengalami kemajuan cukup pesat. Bahkan pada saat ini teknik CFD merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral perancangan. *Computational Fluid Dynamics* terdiri dari tiga elemen utama yaitu: (1) *Pre Processor*, (2) *Solver Manager*, (3) *Post Processor*. Sebuah pemahaman yang baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Menurut Versteeg dan Malalasekera (1996:6) Terdapat tiga konsep matematika yang berguna dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma:

1. Konvergensi, merupakan properti metode numerik untuk menghasilkan solusi yang mendekati solusi eksakta sebagai grid spacing, ukuran kontrol volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol.
2. Konsisten, merupakan suatu skema numerik yang menghasilkan sistem persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan ekuivalen dengan persamaan pengendali sebagai grid spasi mendekati nol.
3. Stabilitas, yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembulatan bahkan dalam data awal dapat menyebabkan osilasi atau divergensi.

Pada umumnya proses perhitungan untuk aliran fluida diselesaikan dengan menggunakan persamaan energi, momentum dan kontinuitas. Persamaan yang digunakan adalah persamaan Navier-Stokes, persamaan ini ditemukan oleh G.G. Stokes di Inggirs dan M. Navier di Perancis sekitar awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya adalah sebagai berikut (Cengel dan Cimbala, 2014:529-541).

a. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad \text{.....(2.8)}$$

b. Persamaan Momentum

Momentum pada sumbu X

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Rer}\left(\frac{\partial \tau xx}{\partial x} + \frac{\partial \tau xy}{\partial y} + \frac{\partial \tau xz}{\partial z}\right) \quad \text{.....(2.9)}$$

Momentum pada sumbu Y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Rer}\left(\frac{\partial \tau xy}{\partial x} + \frac{\partial \tau yy}{\partial y} + \frac{\partial \tau yz}{\partial z}\right) \quad \text{.....(2.20)}$$

Momentum pada sumbu Z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Rer}\left(\frac{\partial \tau xz}{\partial x} + \frac{\partial \tau yz}{\partial y} + \frac{\partial \tau zz}{\partial z}\right) \quad \text{.....(2.12)}$$

c. Persamaan Energi

$$\frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_r)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} = -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} - \frac{1}{Re_r Prr}\left(\frac{\partial q_x}{\partial_x} + \frac{\partial q_y}{\partial_y} + \frac{\partial q_z}{\partial_z}\right) + \frac{1}{Rer}\left(\frac{\partial}{\partial x}(u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y}(u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial z}(u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz})\right) \quad \text{.....(2.12)}$$

dengan: x = Koordinat Sumbu X

y = Koordinat Sumbu Y

z = Koordinat Sumbu Z

u = Komponen Kecepatan ke arah sumbu X

v = Komponen Kecepatan ke arah sumbu Y

w = Komponen Keceptan ke arah sumbu Z

t = Waktu

ρ = Densitas

E_r = Energi Total

P = Tekanan

q = Heat Flux

Re = Bilangan Reynolds

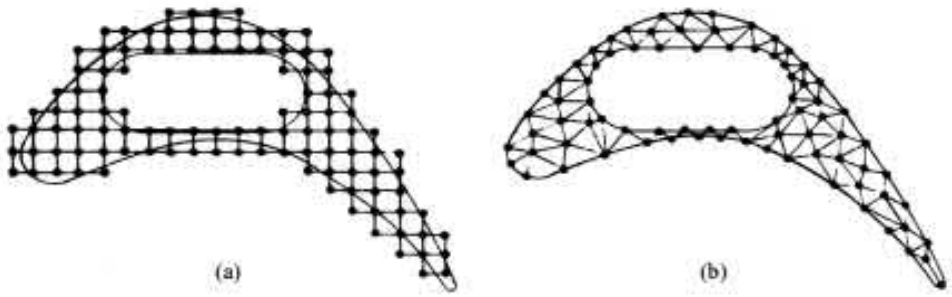
Pr = Bilangan Prandtl

Pada dasarnya CFD mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. Persamaan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) dirubah menjadi model diskrit (jumlah sel terhingga).

Ada tiga teknik solusi numerik (metode diskritisasi) aliran yang berbeda, yaitu finite diffrence, finite element dan finite volume methods. Metode diskritisasi dipilih pada umumnya untuk menentukan kestabilan dari program numerik/CFD yang dibuat atau program software yang ada. Beberapa metode diskritisasi yang digunakan untuk memecahkan persamaan-persamaan diferensial parsial, diantaranya adalah (Versteeg dan Malalasekera, 1996:3-4):

a. Metode Beda Hingga (*finite difference method*)

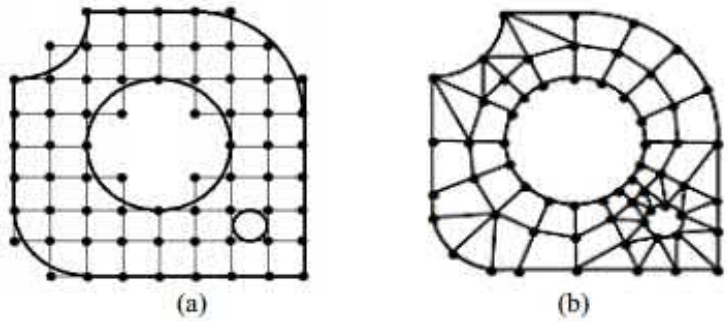
Dalam metode ini area aliran dipisahkan menjadi satu set poin grid dan fungsi kontinyu (kecepatan, tekanan, dan lainnya) didekati dengan nilai-nilai diskrit dan fungsi-fungsi ini dihitung pada titik-titik grid. Turunan dari fungsi didekati dengan menggunakan perbedaan antara nilai fungsi pada titik lokal grid dibagi dengan jarak grid. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 (a) Model *finite difference* dan (b) *finite element* pada profil sudu turbin (Jagota et al., 2013:2)

b. Metode Elemen Hingga (*finite element method*)

Metode ini membagi masalah besar menjadi lebih kecil dan sederhana yang disebut elemen hingga. Persamaan sederhana yang memodelkan seluruh kasus kemudian disusun menjadi sebuah sistem persamaan yang lebih luas. Persamaan konservasi kekekalan massa, momentum, dan energi ditulis dalam bentuk yang tepat untuk setiap elemen, dan hasil dari set persamaan aljabar untuk bidang aliran diselesaikan secara numerik. Perbedaan Metode elemen dan metode beda ditunjukkan pada Gambar 2.7

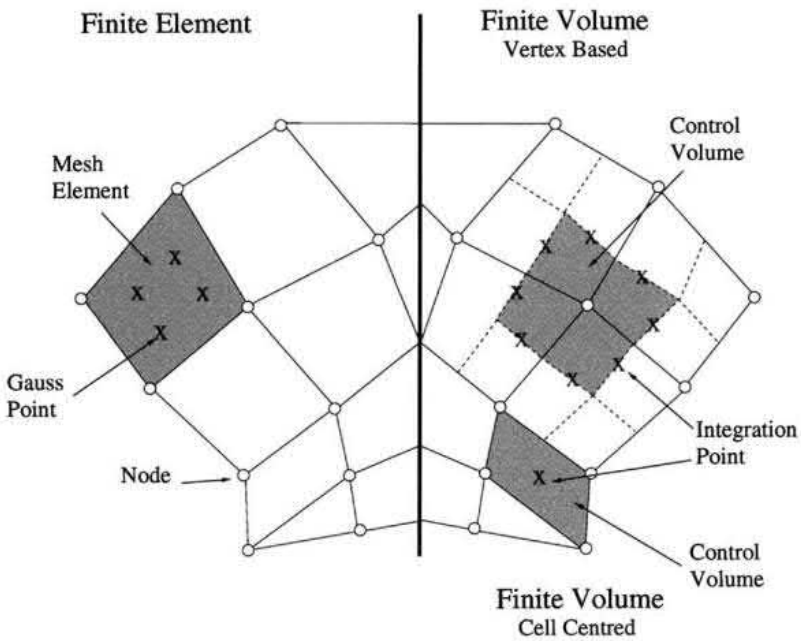


Gambar 2.7 (a) Geometri plat pada permodelan *finite difference* dan (b) *finite element* (Jagota et al., 2013:2)

c. Metode Volume Hingga (*finite volume method*)

Finite volume method adalah metode untuk mewakili dan mengevaluasi persamaan diferensial parsial dalam bentuk aljabar. Metode ini sama seperti *finite*

difference method dan *finite element method*, nilai-nilai dihitung di tempat terpisah pada geometri yang di mesh. Metode ini mengacu pada volume kecil disekitar node pada mesh. Dalam metode ini, volume integral dalam persamaan diferensial yang memiliki istilah divergensi dikonversi ke *surface integrals* menggunakan teori divergensi.



Gambar 2.8 *Finite Element* dan *Finite Volume* (Slone et al., 2002:374)

2.2.6 ANSYS Fluent 17.2

A. Kapabilitas

ANSYS Fluent merupakan program computer untuk permodelan aliran fluida, perpindahan panas dan reaksi kimia pada suatu geometri kompleks. Program yang menyediakan fleksibilitas mesh, termasuk kemampuan untuk menyelesaikan masalah aliran dibuat dari Bahasa pemrograman C. ANSYS Fluent dalam mode *solution* memiliki kapabilitas untuk melakukan simulasi diantaranya sebagai berikut (Ansys, 2017:4):

1. 2D *planar*, 2D *axisymmetric*, 2D *axisymmetric* dengan *swirl* (*rotationally symmetric*), dan aliran 3D.
2. Aliran pada *quadrilateral, triangular, hexahedral (brick), tetrahedral, wedge, pyramid, polyhedral,* dan elemen mesh campuran.
3. Aliran *steady* atau *transient*.
4. Aliran *incompressible* atau *compressible*, termasuk semua *speed regimes* (*low subsonic, transonic, supersonic, and hypersonic flows*)
5. Aliran Inviscid, laminar, dan turbulen.
6. Aliran newtonian atau non-Newtonian.
7. Udara ideal atau real.
8. Perpindahan panas (*heat transfer*), termasuk konveksi paksa, alami, dan campuran, perpindahan panas gabungan (solid/fluid), dan radiasi.
9. *Free surface* dan model dua fasa utuk aliran gas-liquid, gas-solid, dan liquid-solid.
10. Perhitungan *lagrangian trajectory* untuk fase dispersi (*particles/droplets/bubbles*), termasuk *coupling* dengan permodelan fasa kontinyu dan permodelan *spray*.

Ketika menentukan fitur yang akan digunakan menyelesaikan masalah menggunakan ANSYS Fluent, prosedur dasar yang digunakan antara lain (Ansys, 2017:17):

1. Menentukan permodelan
2. Membuat model geometri dan mesh
3. Mengatur model fisik dan penyelesaiannya

4. Menghitung dan memantau solusi
5. Memeriksa dan menyimpan hasil
6. Mempertimbangkan revisi terhadap parameter model numerik atau fisik jika diperlukan.

B. Permodelan pada ANSYS Fluent

ANSYS Fluent menyediakan kapabilitas permodelan yang komprehensif dalam lingkup yang luas untuk permasalahan aliran fluida *incompressible dan compressible*, serta aliran laminar dan turbulen. Turbulen merupakan gerakan 3 dimensi yang tidak tetap dan acak pada fluida yang memiliki bilangan Reynold lebih dari 4000 (Munson et al., 2016:283). Program ANSYS Fluent memiliki banyak pilihan untuk menyelesaikan permodelan turbulen diantaranya (Ansys, 2009):

1. Model Spalart-Allmaras
2. Model $k - \varepsilon$
   - *Standard* $k - \varepsilon$ *model*
   - *Renormalization-group (RNG)* $k - \varepsilon$ *model*
   - *Realizable* $k - \varepsilon$ *model*
3. Model $k - \omega$
   - *Standard* $k - \omega$ *model*
   - *Baseline (BSL)* $k - \omega$ *model*
   - *Shear-stress transport (SST)* $k - \omega$ *model*
4. Model $v^2 - f$ (tambahan)
5. Model transisi $k - kl - \omega$

6. Model transisi SST
7. *Reynolds stress models* (RSM)
   - *Linear pressure-strain* RSM
   - *Quadratic pressure-strain* RSM
   - *Stress-Omega* RSM
   - *Stress*-BSL RSM
8. *Scale-Adaptive Simulation (SAS) model*, yang dapat digunakan pada salah satu kombinasi *ω-based URANS* models berikut ini:
   - *SST* $k - \omega$ *model*
   - *Standard* $k - \omega$ *model*
   - *BSL* $k - \omega$ *model*
   - *Transition SST model*
   - *ω-based Reynolds stress models (RSM)*
9. Model *Detached eddy simulation* (DES), yang termasuk salah satu model RANS berikut:
   - *Spalart-Allmaras RANS model*
   - *Realizable* $k - \varepsilon$ *RANS model*
   - *SST* $k - \omega$ *RANS model*
   - *BSL* $k - \omega$ *RANS model*
   - *Transition SST model*
10. Model *Shielded Detached Eddy Simulation* (SDES) model, yang termasuk salah satu model RANS berikut:
    - *SST* $k - \omega$ *RANS model*

- *BSL* $k - \omega$ *RANS model*
- *Transition SST model*

11. Model *Stress-Blended Eddy Simulation* (SBES), yang termasuk salah satu model RANS berikut:
    - *SST* $k - \omega$ *RANS model*
    - *BSL* $k - \omega$ *RANS model*
    - *Transition SST model*
12. Model *Large eddy simulation* (LES), yang termasuk salah satu model *subgrid-scale* berikut:
    - *Smagorinsky-Lilly subgrid-scale model* (dengan atau tidak dengan *dynamic stress enabled*)
    - WALE *subgrid-scale model*
    - *Dynamic kinetic energy subgrid-scale model*
    - *Wall-Modeled* LES (WMLES)
    - *Wall-Modeled* LES $S - \Omega$ (WMLES $S - \Omega$)

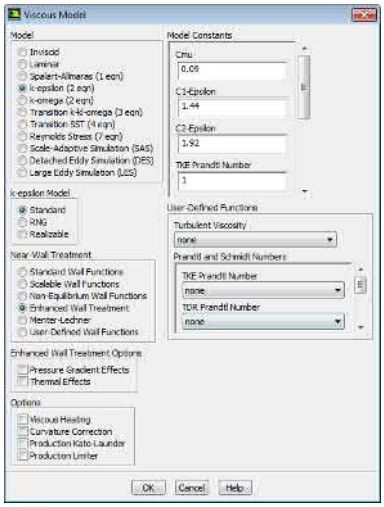
Melalui ANSYS Fluent, pemindahan panas turbulen dimodelkan menggunakan konsep analogi Reynolds ke perpindahan momentum turbulen. Persamaan energi permodelan dinyatakan sebagai berikut (Ansys, 2009):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E)+\frac{\partial}{\partial x_i}\left[u_i(\rho E+p)\right]=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(k_{eff}\frac{\partial T}{\partial x_j}+u_i\left(\tau_{ij}\right)_{eff}\right)+S_h \quad \text{..... (2.13)}$$

dengan E merupakan energi total, k_{eff} adalah konduktifitas termal efektif, dan $\left(\tau_{if}\right)_{eff}$ adalah *deviatoric stress tensor* yang memiliki persamaan sebagai berikut:

$$\left(\tau_{ij}\right)_{eff}=\mu_{eff}\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i}+\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)-\frac{2}{3}\mu_{eff}\frac{\partial u_k}{\partial x_k}\delta_{ij} \quad \text{..... (2.14)}$$

istilah yang melibatkan $(\tau_{if})_{eff}$ merepresntasikan *viscous heating*, dan selalu dihitung pada penyelesaian berbasis *density*. Persamaan ini tidak dihitung secara default pada penyelesaian berbasis tekanan, tetapi dapat diaktifkan melalui *viscous model dialog box* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. *Viscous model dialog box*

Mengutip pada Ansys (2009), istilah lain ada pada persamaan energi, tergantung pada model fisik yang digunakan. ANSYS Fluent menyelesaikan persamaan energi menggunakan persamaan:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E)+\nabla\cdot(\vec{v}(\rho E+p))=\nabla\cdot\left(k_{eff}\nabla T-\sum_j h_j\vec{J}_j+(\bar{\bar{\tau}}_{eff}\cdot\vec{v})\right)+S_h \quad \text{..... (2.15)}$$

dimana k_{eff} adalah konduktivitas efektif ($k + k_t$, dimana k_t, konduktivitas termal turbulen, didefinisikan berdasarkan pada permodelan turbulen yang digunakan), dan $\vec{J}_j$ merupakan difusi fluks j. Tiga istilah pertama pada bagian kanan pada persamaan 2.15 menunjukkan perpindahan panas karena konduksi, *species diffusion* dan *viscous dissipation*. S_h merupakan sumber panas (*heat sources*) yang ditetapkan pengguna. Pada persamaan 2.15:

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}$$ ..... (2.16)

dimana *sensible enthalpy* h didefinisikan gas ideal sebagai

$$h = \sum_j Y_j h_j$$ ..... (2.17)

dan untuk aliran *incompressible* sebagai

$$h = \sum_j Y_j h_j + \frac{p}{\rho}$$ ..... (2.18)

sedangkan pada persamaan 2.16 dan 2.17, Y_j adalah fraksi massa j dan

$$h_j = \int_{T_{ref}}^{T} c_{p,j} dT$$ ..... (2.19)

nilai yang digunakan untuk T_{ref}pada perhitungan *sensible enthalpy* bergantung pada penyelesaian dan model yang digunakan. Untuk penyelesaian berbasis tekanan T_{ref} adalah 298.15 K kecuali untuk permodelan PDF, dimana T_{ref} diinput oleh pengguna. Sedangkan pada penyelesaian berbasis *density* T_{ref} ditetapkan sebesar 0 K kecuali pada permodelan *species transport* dengan reaksi, T_{ref} ditetapkan oleh pengguna.

Pada permodelan *standard* dan *realizable k-epsilon*, konduktivitas efektif thermal dinyatakan dengan

$$k_{eff} = k + \frac{c_p \mu_t}{Pr_t}$$ ..... (2.20)

dimana k adalah konduktivitas *thermal*. Tetapan nilai yang sudah ditetapkan untuk *Prandtl number* tubulen adalah 0.85.

C. Solver pada ANSYS Fluent

Terdapat dua jenis metode penyelesaian (*solver*) pada program ANSYS Fluent diantaranya: pressure-based dan density based. Pressur-based solver biasanya digunakan untuk aliran incompressible dan compressible. Pendekatan berbasis density dirancang untuk aliran compressible berkecepatan tinggi. Berdasarkan pada panduan manual Ansys (2009), ANSYS Fluent menyediakan empat jenis algoritma yang terpisah: SIMPLE, SIMPLEC, PISO, dan (untuk aliran yang tergantung waktu menggunakan opsi *Non-Iterative Time Advancement* (NITA)) *Fractional Step* (FSM). Skema ini disebut sebagai algoritma segregasi berbasis tekanan. Perhitungan steady-state umumnya akan menggunakan SIMPLE atau SIMPLEC, sementara PISO direkomendasikan untuk perhitungan transien. PISO juga dapat berguna untuk perhitungan steady-state dan transien pada mesh yang sangat miring. Dalam ANSYS Fluent, menggunakan algoritma Coupled memungkinkan kopling kecepatan-kecepatan penuh, maka ini disebut sebagai algoritma gabungan berbasis-tekanan.

Dalam ANSYS Fluent (Ansys, 2009), baik algoritma SIMPLE standar dan algoritma SIMPLEC (SIMPLE-Consistent) tersedia. SIMPLE adalah default, tetapi banyak masalah akan mendapat manfaat dari menggunakan SIMPLEC, terutama karena peningkatan di bawah-relaksasi yang dapat diterapkan. Untuk masalah yang relatif tidak rumit (aliran laminar tanpa model tambahan diaktifkan) di mana konvergensi dibatasi oleh kopling kecepatan-kecepatan, Anda sering dapat memperoleh solusi konvergensi lebih cepat menggunakan SIMPLEC. Dengan SIMPLEC, faktor koreksi tekanan di bawah-relaksasi umumnya diatur ke 1,0, yang

membantu dalam peningkatan konvergensi. Namun, dalam beberapa masalah, peningkatan koreksi tekanan di bawah-relaksasi hingga 1,0 dapat menyebabkan ketidakstabilan karena kemiringan mesh yang tinggi. Untuk kasus seperti itu, Anda perlu menggunakan satu atau lebih skema koreksi kemiringan, gunakan sedikit nilai bawah-konservatif yang lebih konservatif (hingga 0,7), atau gunakan algoritma SIMPLE. Untuk aliran rumit yang melibatkan turbulensi dan / atau model fisik tambahan, SIMPLEC akan meningkatkan konvergensi hanya jika dibatasi oleh kopling kecepatan-kecepatan. Seringkali itu akan menjadi salah satu parameter pemodelan tambahan yang membatasi konvergensi; dalam hal ini, SIMPLE dan SIMPLEC akan memberikan tingkat konvergensi yang sama.

2.2.7 Model Termodinamika Kondensasi Aliran Udara

Selama proses kondensasi, ketika tekanan udara campuran pada aliran sangat kurang dari tekanan kritisnya, uap dan gas yang tidak terkondensasi dapat dimodelkan sebagai udara campuran ideal (Wu et al., 2017: 124). Selanjutnya, pada antarmuka uap dan cairan, uap jenuh. Sehingga fraksi massa interfasial dari gas yang tidak dapat terkondensasi dapat dinyatakan melalui hukum Dalton dan persamaan gas ideal seperti berikut (Rose, 1980:541-542):

$W_0 = P_{main} - P_{sat}(T_0) / P_{main} - (1-M_v/M_g)\, P_{sat}(T_0)$ ..... (2.21)

$$W_0 = \frac{P_{main} - P_{sat}(T_0)}{P_{main} - \left(1 - \frac{M_v}{M_g}\right) P_{sat}(T_0)} \quad \text{..... (2.22)}$$

Ketika fraksi massa dari gas yang tidak dapat terkondensasi pada aliran utama uap kurang dari 0,1, maka perbedaan antara tekanan aliran utama dan tekanan jenuh dari uap berdasarkan pada temperatur aliran sangatlah kecil.

$$P_{main} - P_{sat}(T_{main}) < P_{main} \quad \text{.....(2.23)}$$

Menggunakan persamaan (2.15) P_{main} dapat diganti dengan P_{sat} (T_{main}) dan persamaan (2.14) dapat ditulis menjadi:

$$\frac{1}{W_0} = \frac{P_{main} M_v / M_g}{P_{sat}(T_{main}) - P_{sat}(T_0)} + 1 - \frac{M_v}{M_g} \quad (2.24)$$

Berdasarkan pada persamaan Clapeyron:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{r}{T\Delta v} \quad (2.25)$$

dimana r merepresentasikan kalor laten dari penguapan dan Δv merepresentasikan perbedaan antara volume spesifik uap dan volume spesifik cairan ($\Delta v = v_v - v_1$). Menggunakan teorema nilai rata-rata diferensial dan persamaan (2.17):

$$P_{sat}(T_{main}) - P_{sat}(T_0) = \frac{r(T^*)}{T^* \Delta v(T^*)} (T_{main} - T_0) \quad (2.26)$$

dimana T^* adalah temperatur kualitatif yang ditentukan dari kesimpulan Sparrow et al. (1967:1838):

$$T^* = \frac{2}{3} T_{main} + \frac{1}{3} T_w \quad (2.27)$$

Dengan demikian, persamaan (2.16) dapat dituliskan menggunakan persamaan (2.20) sebagai:

$$\frac{1}{W_0} = \frac{P_{main} \frac{M_v}{M_g}}{\frac{r(T^*)}{T^* \Delta v(T^*)} (T_{main} - T_0) + 1 - \frac{M_v}{M_g}} \quad (2.28)$$

Persamaan ini kemudian memiliki relasi dengan *interface* parameter uap-cairan (W_0,T_0) dan parameter utama aliran (P_{main}, T_{main}).

2.2.8 Hubungan antara tekanan udara dengan aliran udara

Pada peralatan pengukur aliran berbasis perbedaan (penurunan) tekanan, aliran dihitung dengan mengukur *pressure drop* yang terjadi pada aliran yang melewati sebuah penghalang yang dipasang dalam aliran tersebut. *Flowmeter* berbasis

perbedaan tekanan ini didasarkan pada persamaan Bernoulli dimana sinyal yang terukur (yaitu penurunan tekanan) merupakan fungsi dari kuadrat kecepatan aliran. Dengan menggunakan *orifice plate*, aliran fluida diukur melalui perbedaan tekanan antara sisi hulu aliran sampai sisi hilir dimana di bagian tengah antara hulu dan hilir terdapat penghalang berbentuk *orifice* yang mengakibatkan aliran menjadi lebih sempit sehingga mengarahkan aliran untuk menyempit atau memusat.

Seperti pada Cengel dan Cimbala (2014:199) Jika aliran mengalir horizontal (dengan demikian perbedaan elevasi tidak ada atau diabaikan) dan abaikan *losses* aliran yang terjadi maka persamaan Bernoulli menjadi:

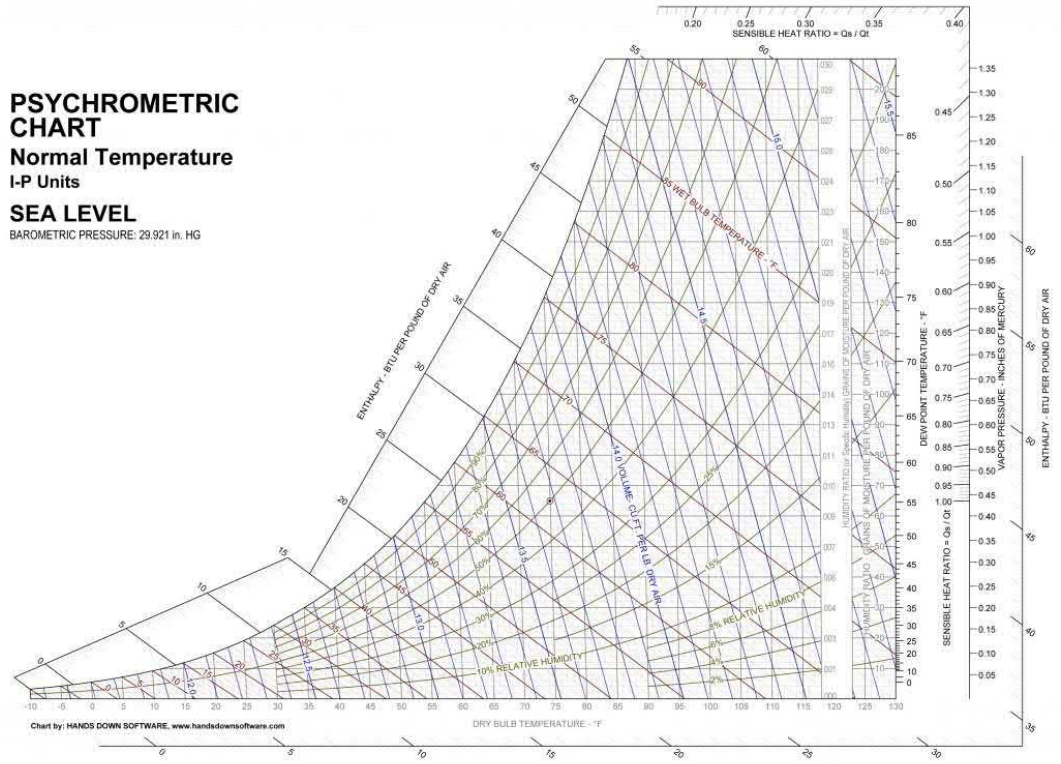
$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (2.29)$$

Dimana: P = tekanan (Pa) ρ=densitas (kg/m^3) v=kecepatan aliran (m/s)

2.2.9 Hubungan antara temperatur udara dengan volume produksi air kondensasi

Penguapan air ke udara selalu berkaitan dengan humiditas, kenaikan kandungan uap air (*moisture*) di udara adalah merupakan proses humidifikasi. Dalam proses ini, uap air ditransfer oleh air ke udara melalui penguapan dan difusi dan secara simultan mentransfer kalor dan massa uap air. Unit massa uap air yang ada pada unit massa udara kering (disebut humiditas) ini diungkapkan dalam grafik yang lazim digunakan untuk menemukan karakteristik campuran udara-uap air. Grafik ini dikenal sebagai grafik psikrometrik (*Psychrometric chart*) yang disajikan pada Gambar 2.9. Hubungan suhu udara sebagai sumbu aksis terhadap hurniditas ditunjukkan oleh Gambar 2.9. Suhu titik embun (*dew point*) dapat diperoleh dengan

cara menarik garis dari grafik humiditas udara (X%) menuju garis jenuh (humiditas 100%).



Gambar 2.10. *Psychrometric Chart* (Shallcross, 2008:3)

2.3 Hipotesis

Berdasarkan pada kajian pustaka dan landasan teori yang telah dilakukan maka yang menjadi hipotesis penelitian ini meliputi:

1. Aliran fluida yang melewati pipa selama proses kondensasi adalah aliran laminer.
2. Distribusi tekanan dalam aliran fluida selama proses kondensasi mengalami penurunan.
3. Distribusi kecepatan aliran dan temperatur dalam aliran fluida selama proses kondensasi mengalami penurunan disepanjang pipa.

4. Terjadi peningkatan data produksi air hasil kondensasi pada setiap kenaikan nilai parameter.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang sudah didapatkan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Aliran fluida yang melewati pipa selama proses kondensasi adalah aliran laminar, hal ini ditunjukkan dengan nilai Reynold Number yang berada pada range dibawah 2300. Nilai Reynold number tertinggi terdapat pada varian 18 kPa kemudian diikuti dengan varian 25 kPa pada berbagai temperature. Namun pola ini kurang efektif untuk menghasilkan sebaran udara yang merata ke dinding pipa.
2. Distribusi tekanan yang terjadi didalam pipa sangat merata dan tidak terjadi pressure drop yang signifikan yakni selisih 0,01 kPa dari tetapan tekanan yang divariasikan. Sehingga tekanan 18 kPa dan 25 kPa pada beberapa varian temperature memiliki distribusi yang optimal.
3. Distribusi kecepatan yang terjadi pada sistem tidak merata, dan massa udara yang tersalurkan juga demikian. Sehingga selama proses kondensasi yang mendapat massa udara paling banyak adalah pipa pertama, kemudian pipa kedua dan seterusnya. Dengan debit 30 liter per menit maka efektifitas kondensasi terkonsentrasi pada pipa kondensasi 1 sampai dengan 4, baik pada varian tekanan 25 kPa maupun 18 kPa di temperatur yang sama yakni -5°C dan -10°C.

4. Distribusi temperatur sesuai dengan tetapan terjadi merata disetiap sisi pipa, pada temperature -5°C, *dew point* terjadi pada header atas sebelum masuk pipa kondensasi, hal serupa juga terjadi pada varian -10°C. Namun pencapaian dew point yang optimal terdapat pada varian tekanan 25 kPa.
5. Kapasitas produksi air yang dihasilkan dari kedua variasi adalah sama, yakni 366 ml/menit dengan menggunakan perhitungan *moisture removal*, apabila dikondisikan dalam waktu 24 jam dengan lama pencapaian suhu yang ditetapkan selama 10 jam dan efisiensi kondensasi sebesar 50% maka akan didapatkan kapasitas produksi air sebesar 2500 liter per hari.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka beberapa saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Pencapaian suhu yang ditetapkan memerlukan waktu, mengingat hal ini akan mempengaruhi efektifitas dan kapasitas produksi air, sehingga perlu adanya konfigurasi dalam meletakkan pipa pada mesin pendingin.
2. Proses kondensasi yang berjalan akan menghasilkan lapisan tipis disepanjang pipa, untuk mengurangi hal tersebut perlu adanya variasi debit aliran sehingga dapat mengurangi menumpuknya air kondensasi didalam pipa.
3. Penentuan temperature pipa kondensasi pada penelitian selanjutnya sebaiknya dikondisikan mendekati titik beku tetapi tidak membekukan, yakni pada range 1°C sampai dengan 10°C.

DAFTAR PUSTAKA

Adaze, E., H.M. Badr, dan A. Al-Sarkhi. 2019. CFD modeling of two-phase annular flow toward the onset of liquid film reversal in a vertical pipe. *Journal of Petroleum Science and Engineering.* 175: 755-774

Ahyar, I. W. 2016. Analisis Computational Fluid Dynamics (CFD) Terhadap Profil Temperatur Untuk Kondensasi Steam Arah Circumferential Pada Pipa Konsentrik Horisontal Dengan Aliran Pendinginan Searah Di Dalam Ruang Anular. *Skripsi*. Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhamadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.

Ansys Inc. 2009. *Ansys Fluent 12.0 Documentation*. https://www.sharcnet.ca/ Software/Ansys/17.0/en-us/help/flu_ug/flu_ug.html 1 Maret 2018 (23.00)

Ansys Inc. 2012. Ansys Fluent Getting Started Guide. Canonsburg: Ansys Inc.

Aziz, A. 2017. *Indonesia Darurat Kekeringan dan Krisis Air Bersih*. https://tirto.id/indonesia-darurat-kekeringan-dan-krisis-air-bersih-cwtr 1 Maret 2018 (20.35)

Behera, S. S. 2013. CFD Analysis of Heat Transfer in a Helical Coil Heat Exchanger Using Fluent. *Skripsi*. *Departement of Mechanical Engineering*, National Institute of Technology Rourkela. Odhisa.

Cengel, Y. A. dan J. M. Cimbala. 2014. *Fluid Mechanics, Fundamentals and Applications*. 4th ed. McGraw Hill. New York.

Copper Development Association. 2010. *The Copper Tube Handbook*.

Erdianto, K. 2017. *BNPB: Ribuan Desa di Pulau Jawa dan Nusa Tenggara Krisis Air* http://nasional.kompas.com/read/2017/ 09/08/ 21311541/bnpb-ribuan-desa-di-pulau-jawa-dan-nusa-tenggara-krisis-air 1 Maret 2018 (20.40)

Fernandez, F. J. dan M. M. Prieto. 2015. Study of Aerosol Behaviour in Filmwise Condensation Processes with the Presence of Inert Gas. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 93: 1059–1071

Figgis, B., A. Nouviaire., Y. Wubulikasimu, W. Javed, B. Guo, A. Ait-Mokhtar, R. Belarbi, S. Ahzi, Y. Remond, dan A. Ennaoui. 2018. Investigation of factors affecting condensation on soiled PV modules. *Solar Energy*: 159: 488-500

Hammami, Y. E. dan M. Feddaoui. 2012. Numerical study of condensing a small concentration of vapour inside a vertical tube. *Heat and Mass Transfer*, 48(9), 1675–1685.

Hohne, T., S. Gasiunas dan M. Seporaitis. 2017. Numerical Modelling of a Direct Contact Condensation Experiment Using the AIAD Framework. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 111: 211–222

Inthavong, K. 2019. A unifying correlation for laminar particle deposition in 90-degree pipe bends. *Powder Technology* 345: 99-110

Jagota, V., A. P. S. Sethi dan K. Kumar. 2013. Finite Element Method: An Overview. *Walailak Journal of Science & Technology* 10(10): 1-8.

Joshi, V. P., V. S. Joshi, H. A. Kothari, M. D. Mahajan, M. B. Chaudhari, dan K. D. Sant. 2016. Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler. *Energy Procedia* 109: 161-166.

Kang, Y., W. A. Davies, P. Hrnjak, dan A. M. Jacobi. 2017. Effect of inclination on pressure drop and flow regimes in large flattened-tube steam condensers. *Applied Thermal Engineering* 123: 498-513

Kementerian ESDM. 2017. *Badan Geologi: Jakarta Alami Krisis Air Bersih*. https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/badan-geologi/badan-geologi-jakarta-alami-krisis-air-bersih- 1 Maret 2018 (20.45)

Kundu, P. K., I. M. Cohen, dan D. R. Dowling. 2015. *Fluid Mechanics*. 6th ed. Elsevier Inc: London.

Lu, Y., Z. Tong, D. H. Glass, W. J. Easson, dan M. Ye. Experimental and numerical study of particle velocity distribution in the vertical pipa after a 90° elbow. *Powder Technology* xxx: xxx-xxx

Martins, N. M. C., N. J. G. Carrico, H. M. Ramos, dan D. I. C. Covas. Velocity-distribution in pressurized pipe flow using CFD: Accuracy and mesh analysis. Computer and Fluids 105 (2014): 218-230

Montgomery, D. C. 2013. *Design and Analysis of Experiments*. 8th ed. John wiley & sons.

Muñoz-Garcia, M.A., G.P. Moreda, M.P. Raga-Arroyo, dan O. Marin-Gonzalez. 2013. Water Harvesting for Young Trees Using Peltier Modules Powered by Photovoltaic Solar Energy. *Computers and Electronics in Agriculture* 93: 60–67.

Munson, B. R., D. F. Young dan T. H. Okiishi. 2016. *Fundamentals of fluid mechanics*. *8th ed*. New Jersey: J. Wiley & Sons.

Oueslati, A., dan A. Megriche. 2017. Performance Analysis of a New Humid Air Dehumidifier. *Energy Procedia* 119: 453-465.

Palkar, R. R. dan V. Shilapuram. A Detailed parametric design methodology for hydrodynamics of liquid–solid circulating fluidized bed using design of experiments. *Particuology* 31:59-68

Preston-Thomas, H. 1990. The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). *Metrologia*, 27: 3-10.

Punetha, M. dan S. Khandekar. 2017. A CFD Based Modelling Approach for Predicting Steam Condensation in the Presence of Non-Condensable Gases. *Nuclear Engineering and Design* 324: 280-296.

Qin, Z., H. Liu, dan Y. Wang. 2017. Empirical and quantitative study of the velocity distribution index of the perforated pipe outflowing along a pipeline. *Flow Measurement and Instrumentation* 58:46-51

Quinn, B., dan S. K. Dehgan. 2017. *World Water Day: one in four children will live with water scarcity by 2040* https://www.theguardian.com/global-development/2017/mar/22/world-water-day-one-in-four-children-will-live-with-water-scarcity-by-2040-unicef-report 1 Maret 2018 (21.00)

Rose, J.W. 1980. Approximate Equations for Forced-Convection Condensation in the Presence of a Non-Condensing Gas on a Flat Plate and Horizontal Tube. *International. Journal of Heat Mass Transfer* 23(4): 539–546.

Shallcross, D. C. 2008. Psychrometric Chart for Water Vapour in Natural Gas. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 61: 1-8.

Singh, J. P., S. Kumar, dan S. K. Mohapatra. 2017. Modelling of Two-Phase Solid-Liquid Flow in Horizontal Pipe Using Computational Fluid Dynamic Technique. *International Journal of Hydrogen Energy* 1-5

Slobodina, E. N., dan A. G. Mikhailov. 2016. The Analysis of the Condensation Process Impact on the Vacuum Boiler Operating Efficiency. *Procedia Engineering* 152: 395 – 399

Slone, A.K., K. Pericleous, C. Bailey, dan M. Cross. 2002. Dynamic Fluid-Structure Interaction Using Finite Volume Unstructured Mesh Procedures. *Computers and Structures*, 80: 371-390.

Sparrow, E. M., W. J. Minkowycz, dan M. Saddy. 1967. Forced Convection Condensation in the Presence of Non-Condensables and Interfacial Resistance. *International Journal Heat Mass Transfer* 10(12): 1829–1845.

Versteeg, H. K., dan W. Malalasekera. 1996. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. *1st ed*. London: Longman Group Ltd.

Versteeg, H. K., dan W. Malalasekera. 2007. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. *2nd ed*. London: Longman Group Ltd.

Vlachopoulos, J. 2016. *Fundamental of Fluid Mechanics*. Polydynamic Inc.

Vyskocil, L., J. Schmid, dan J. Macek. 2014. CFD Simulation of Air-Steam Flow with Condensation. *Nuclear Engineering and Design* 279: 147-157

World Energy Council. 2010. *Water for Energy*. London: World Energy Council.

World Health Organization. 2017. *Fact Sheet: Drinking Water* http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/en/ 1 Maret 2018 (21.35)

Wu, X.M., T. Li, Q. Li, dan F. Chu. 2017. Approximate Equations for Film Condensation in the Presence of Non-Condensable Gases. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 85: 124-130

Yin, Z., Y. Guo, B. Sunden, Q. Wang, dan M. Zeng. 2015. Numerical Simulation of Laminar Film Condensation in a Horizontal Minitube with and without Non-Condensable Gas by The VOF method. *Numerical Heat Transfer* 68(9): 958–977

Yue, C., Q. Zhang, Z. Zhai, L. Ling. 2018. CFD simulation on the heat transfer and flow characteristics of a microchannel separate heat pipe under different filling ratios. *Applied Thermal Engineering* 139: 25-34