

SKRIPSI

**SIMULASI DESAIN POMPA GELEMBUNG UNTUK SISTEM
PENDINGIN ABSORPSI**



Disusun Oleh :

Muhamad Rafa Putra Lubis

NIM : 1520621004

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2025

LEMBAR PENGESAHAN (1)

Judul : Simulasi Desain Pompa Gelembung untuk Sistem Pendingin Absorpsi
Penyusun : Muhamad Rafa Putra Lubis
NIM : 1520621004
Tanggal Ujian : 7 November 2025

Disetujui Oleh :

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Darwin Rio Budi Syaka, S.T., M.T.
NIP. 197604222006041001



Dr. Eng. Agung Premono, M.T.
NIP. 197705012001121002

Mengetahui,

Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin
Universitas Negeri Jakarta,



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.
NIP. 197911022012121001

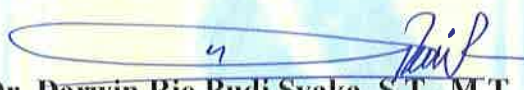
LEMBAR PENGESAHAN (2)

Judul : Simulasi Desain Pompa Gelembung untuk Sistem Pendingin Absorpsi
Penyusun : Muhamad Rafa Putra Lubis
NIM : 1520621004
Tanggal Ujian : 7 November 2025

Disetujui Oleh :

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Dr. Darwin Rio Budi Syaka, S.T., M.T.
NIP. 197604222006041001


Dr. Eng. Agung Premono, M.T.
NIP. 197705012001121002

Pengesahan Panitia Ujian Skripsi :

Ketua Penguji,

Sekretaris Penguji,

Dosen Ahli,


Dr. Ahmad Kholil, S.T., M.T.
NIP. 197908312005011001


Dr. Eng I Wayan Sugita, M.T.
NIP. 197911142012121001


Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.
NIP. 197911022012121001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin
Universitas Negeri Jakarta,


Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.
NIP. 197911022012121001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili: 021-4894221
Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Muhamad Rafa Putra Lubis
NIM : 1520621004
Fakultas/Prodi : Fakultas Teknik/Teknik Mesin
Alamat email : putralubisrafa@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

“Simulasi Desain Pompa Gelembung untuk Sistem Pendingin Absorpsi”

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 10 November 2025
Penulis

Muhamad Rafa Putra Lubis

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

Nama : Muhamad Rafa Putra Lubis
No. Registrasi : 1520621004
Tempat, tanggal lahir : 17 September 2003
Alamat : Jl. Komp. Sandang Blok E No.5 Rt.011/017,
Kelurahan Klender, Kecamatan Duren Sawit,
Jakarta Timur, DKI Jakarta

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini merupakan karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di Perguruan Tinggi lain.
2. Skripsi ini belum dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 10 November 2025

Yang membuat pernyataan,



Muhamad Rafa Putra Lubis
No. Registrasi 1520621004

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha ESA karena atas rahmat dan karuniaNya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi dengan judul “Simulasi Desain Pompa Gelembung untuk Sistem Pendingin Absorpsi” dengan baik, skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Darwin Rio Budi Syaka, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah memberikan arahan, pengajaran, dan dukungan penuh kepada penulis selama proses pengerjaan skripsi.
2. Bapak Dr. Eng. Agung Premono, M.T selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan arahan, pengajaran, dan dukungan penuh kepada penulis selama proses pengerjaan skripsi.
3. Bapak Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta yang telah memberikan banyak arahan dan masukkan kepada penulis untuk meningkatkan kualitas penelitian ini.
4. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi S1 Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu pengetahuan dalam bidang akademik maupun diluar akademik selama penulis melaksanakan kegiatan perkuliahan.
5. Kedua Orang Tua, khususnya Ibu yang selalu mendoakan dan memberikan motivasi serta dukungan agar penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
6. Kakak dan adik yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis dalam menyusun skripsi.

7. Teman-teman mahasiswa S1 Teknik Mesin UNJ angkatan 2021 yang telah menemani penulis dan selalu mendukung penulis dalam mengerjakan skripsi.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan masukan yang bermanfaat bagi penulis dan para pembaca serta teman-teman mahasiswa pada khususnya. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak.

Jakarta, 10 November 2025



Muhamad Rafa Putra Lubis

NIM. 1520621004



Intelligentia - Dignitas

SIMULASI DESAIN POMPA GELEMBUNG UNTUK SISTEM PENDINGIN ABSORPSI

Muhamad Rafa Putra Lubis

Dr. Darwin Rio Budi Syaka ,S.T.,M.T. & Dr. Eng. Agung Premono, M.T.

ABSTRAK

Sistem pendingin absorpsi adalah alternatif berkelanjutan untuk refrigerasi konvensional, namun kinerja pompa gelembung sebagai komponen sirkulasi pasif masih terkendala oleh pemahaman kuantitatif yang terbatas tentang hubungan antara parameter desain dengan pola aliran multifase dan efisiensi pemompaan. Penelitian ini mengembangkan model *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan OpenFOAM dengan *solver* InterCondensatingEvaporatingFoam untuk mensimulasikan aliran multifase dalam pompa gelembung, yang dibandingkan dengan perhitungan korelasi empiris *airlift pump* Reinemann menggunakan Python dan hasil kedua simulasi divalidasi dengan eksperimen. Simulasi dilakukan dengan variasi submergence ratio (SR: 54%, 62%, 70%) dan temperatur (55°C, 60°C, 65°C) menggunakan air dengan input panas 300 Watt. Model CFD berhasil mereplikasi empat pola aliran (Mist, Bubbly, Churn, Annular) dengan konvergensi stabil. Konfigurasi optimal diperoleh pada SR 70% dan 65°C, menghasilkan laju aliran massa total 0,037 kg/s dan efisiensi 0,07%. Laju aliran gas mencapai puncak pada 60°C ($2,45 \times 10^{-5}$ kg/s), menunjukkan hubungan non-linear antara temperatur dan produksi uap. Validasi menunjukkan hasil CFD 15–35% lebih tinggi karena asumsi adiabatik 2D, sementara korelasi empiris memberikan prediksi intermediet dengan deviasi 15–25%. Penelitian ini membuktikan bahwa desain pompa gelembung efektif memerlukan keseimbangan optimal antara gaya apung uap, pergerakan massa cairan, *friction loss*, dan perpindahan panas, serta menunjukkan bahwa integrasi CFD dan korelasi empiris efektif untuk optimasi desain pompa gelembung pada sistem pendingin absorpsi.

Kata Kunci : Aliran Multifase, Computational Fluid Dynamics, OpenFOAM, Pompa Gelembung, Sistem Pendingin Absorpsi.

SIMULATION DESIGN OF BUBBLE PUMP FOR ABSORPTION COOLING SYSTEM

Muhamad Rafa Putra Lubis

Dr. Darwin Rio Budi Syaka ,S.T.,M.T. & Dr. Eng. Agung Premono, M.T.

ABSTRACT

Absorption cooling systems are a sustainable alternative to conventional refrigeration, but the performance of bubble pumps as passive circulation components remains limited by a lack of quantitative understanding of how design parameters affect multiphase flow patterns and pumping efficiency. This study develops a Computational Fluid Dynamics (CFD) model in OpenFOAM using the InterCondensatingEvaporatingFoam solver to simulate multiphase flow in a bubble pump, with comparisons to empirical airlift pump correlations based on Reinemann calculations in Python, and both simulation results validated against experimental data. Simulations were conducted with variations in submergence ratio (SR: 54%, 62%, 70%) and generator temperature (55°C, 60°C, 65°C) using water as the working fluid and a heat input of 300 Watts. The CFD model successfully reproduced four characteristic flow regimes (Mist, Bubbly, Churn, Annular) with stable convergence. The optimal configuration—SR 70% at 65°C—yielded the highest total mass flow rate of 0.037 kg/s and a pump efficiency of 0.07%. Gas mass flow rate peaked at 60°C (2.45×10^{-5} kg/s), indicating a nonlinear relationship between temperature and vapor generation. Validation shows that CFD results are 15–35% higher due to idealized 2D adiabatic assumptions, while empirical correlations yield intermediate predictions with 15–25% deviation. This study demonstrates that effective bubble pump design requires an optimal balance of vapor buoyancy, liquid circulation, friction losses, and heat transfer, and highlights the value of integrating CFD and empirical correlations for bubble pump optimization in absorption cooling systems.

Keywords : Absorption cooling system; Bubble pump; Computational Fluid Dynamics; Multiphase flow; OpenFOAM.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN (1)	i
LEMBAR PENGESAHAN (2)	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Mesin Pendingin.....	7
2.1.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap	7
2.1.2 Siklus Refrigerasi Absorpsi.....	8
2.2 Siklus Refrigerasi Absorpsi Tekanan Tunggal.....	12
2.3 Komponen Siklus Refrigerasi Absorpsi dengan Pompa Gelembung	15
2.4 Komponen Pompa Gelembung.....	17
2.5 Fluida Kerja Siklus Refrigerasi Absorpsi	21
2.6 Generator dan Pompa Gelembung.....	23
2.7 Analisa Kinerja Pompa Gelembung	23
2.7.1 Aliran Dua Fasa	26
2.7.2 Pola Aliran	26
2.7.3 <i>Pressure Drop</i> dan <i>Heat Loss</i> Sepanjang Tabung Angkat	27
2.7.4 Laju Aliran pada Pompa Gelembung.....	29
2.7.5 Efisiensi Pompa Gelembung	30
2.8 <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	30

2.9 Kerangka Berpikir	38
2.10 Penelitian Terkait	38
BAB III METODELOGI PENELITIAN	43
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	43
3.1.1 Tempat Pelaksanaan Penelitian	43
3.1.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	43
3.2 Alat dan Bahan	43
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	44
3.4 Metode Simulasi CFD	45
3.5 InterCondensatingEvaporatingFOAM.....	53
3.6 Skema Geometri Analisis Penelitian	54
3.7 Matriks Penelitian.....	56
BAB IV HASIL PENELITIAN.....	57
4.1 Hasil Visualisasi dan Tabel Karakteristik Aliran	57
4.2 Analisis Perbandingan Antar Sample	80
4.2.1 Laju Alir Massa dan Volume Fasa Cair (<i>Liquid</i>)	80
4.2.2 Laju Alir massa dan Volume Fasa Gas	84
4.2.3 Laju Alir Total dan Kecepatan Alir (<i>Uz</i>)	87
4.2.4 Kualitas (<i>x</i>).....	93
4.3 Komparasi Kuantitatif Kinerja <i>Submergence ratio</i>	95
4.3.1 Desain Optimal Berdasarkan Aliran Total	96
4.3.2 Desain Optimal Berdasarkan Fasa	96
4.3.3 Titik Operasi Optimal	97
4.4 Hasil Perhitungan Pompa Gelembung dengan menggunakan phyton	97
4.5 Analisis Perbandingan Data Simulasi dan Eksperimen	98
BAB V KESIMPULAN.....	113
5.1 Kesimpulan	113
5.2 Saran	114
DAFTAR PUSTAKA.....	115
LAMPIRAN	120
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	171
METADATA SKRIPSI	172

DAFTAR TABEL

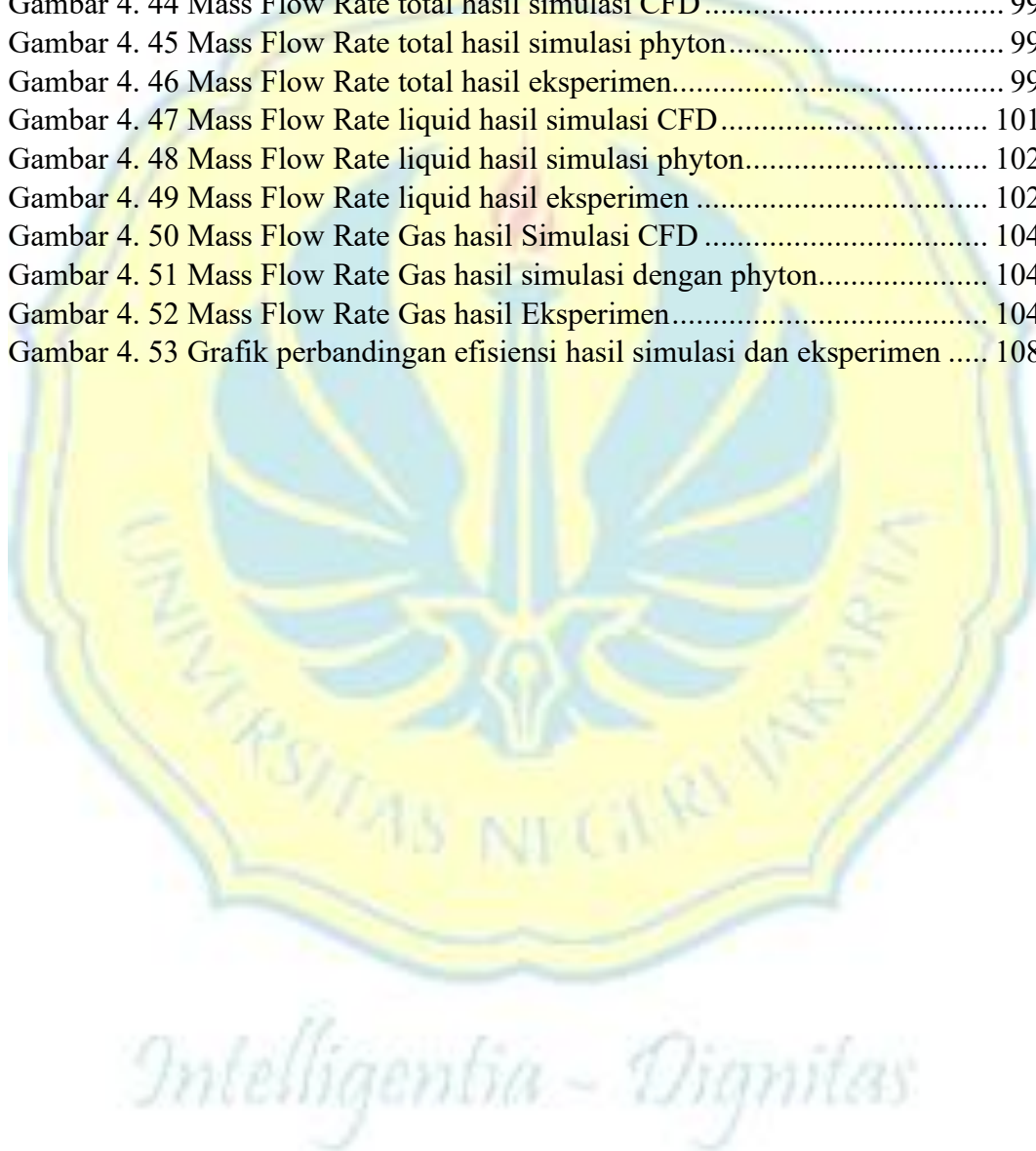
Tabel 2. 1 Penelitian Terkait Pompa Gelembung pada Sistem pendingin absorpsi	38
Tabel 3. 1 Matriks Penelitian	56
Tabel 4. 1 Tabel Analisis Rata-Rata Properti Sample 55°C SR 54%	59
Tabel 4. 2 Tabel Analisis Rata-Rata Properti Sample 55°C SR 62%	62
Tabel 4. 3 Tabel Analisis Rata-Rata Properti Sample 55°C SR 70%	64
Tabel 4. 4 Tabel Analisis Rata-Rata Properti Sample 60°C SR 54%	67
Tabel 4. 5 Tabel Analisis Rata-Rata Properti Sample 60°C SR 62%	69
Tabel 4. 6 Tabel Analisis Rata-Rata Properti Sample 60°C SR 70%	72
Tabel 4. 7 Tabel Analisis Rata-Rata Properti Sample 65°C SR 54%	74
Tabel 4. 8 Tabel Analisis Rata-Rata Properti Sample 65°C SR 62%	77
Tabel 4. 9 Tabel Analisis Rata-Rata Properti Sample 65°C SR 70%	79
Tabel 4. 10 Tabel Summary rata-rata keseluruhan analisis CFD	95
Tabel 4. 11 Data hasil simulasi dengan menggunakan <i>python</i>	97
Tabel 4. 12 Hasil Efisiensi Simulasi CFD	107
Tabel 4. 13 Hasil Efisiensi Eksperimen	107
Tabel 4. 14 Persentase <i>Error</i> Efisiensi Simulasi CFD dengan eksperimen rata-rata	108
Tabel 4. 15 Persentase <i>Error</i> Efisiensi Simulasi CFD dengan eksperimen per fasa	109
Tabel 4. 16 Persentase <i>Error</i> Efisiensi Simulasi matematis dengan eksperimen rata-rata	109
Tabel 4. 17 Persentase <i>Error</i> Efisiensi Simulasi matematis dengan eksperimen per fasa	110
Tabel 4. 18 Perbandingan Kecepatan dan Slip Ratio – CFD dan korelasi empiris	111
Tabel 4. 19 Perbandingan Kecepatan dan Slip Ratio – Eksperimen	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Aliran Kerja Siklus Refrigerasi Kompresi Uap.....	7
Gambar 2. 2 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap pada Diagram P-h dan T-s	8
Gambar 2. 3 Sistem Refrigerasi Absorpsi.....	9
Gambar 2. 4 Sistem Refrigerasi absorpsi bertekanan tunggal.....	11
Gambar 2. 5 Sistem Refrigerasi Bertekanan Ganda	11
Gambar 2. 6 Siklus Refrigerasi Difusi-Absorpsi.....	13
Gambar 2.7 Siklus Refrigerasi Einstein	14
Gambar 2. 8 Sistem Refrigerasi Absorpsi menggunakan Pompa Gelembung.....	15
Gambar 2. 9 Kondensor Pipa U.....	16
Gambar 2. 10 Evaporator	17
Gambar 2. 11 Prinsip Kerja Pompa Gelembung	17
Gambar 2. 12 Tabung reaksi Pyrex	18
Gambar 2. 13 Electric Heater	19
Gambar 2. 14 Valve.....	20
Gambar 2. 15 Flowmeter.....	20
Gambar 2. 16 Pressure Gauge	21
Gambar 2. 17 Termokopel	21
Gambar 2. 18 Bubble Pump generator Control.....	24
Gambar 2. 19 Pola Aliran dalam Pompa Gelembung.....	27
Gambar 2. 20 Klasifikasi metode numerik dalam CFD.....	31
Gambar 2. 21 Kerangka Berpikir.....	38
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	44
Gambar 3. 2 Gambar mesin geometri yang dibuat pada Inventor 2022	45
Gambar 3. 3 Pemisahan geometri STL per kelompok boundary patch	46
Gambar 3. 4 Konfigurasi ekspor file STL dari Blender (atas) hasil ekspor STL (bawah)	47
Gambar 3. 5 Penambahan nama patch setelah “solid” (atas) dan setelah “endsolid” (bawah)	48
Gambar 3. 6 Susunan folder template cfMesh	48
Gambar 3. 7 Konfigurasi meshing yang digunakan	49
Gambar 3. 8 Spesifikasi mesh yang digunakan.....	50
Gambar 3. 9 Visualisasi mesh pada paraview.....	51
Gambar 3. 10 Skema 2D Pompa Gelembung.....	54
Gambar 3. 11 Skema 3D Pompa Gelembung.....	54
Gambar 3. 12 Desain Geometri untuk Simulasi Pompa Gelembung	54
Gambar 4. 1 Irisan Sample 55oC SR 54% (a) Profil Kecepatan (b) Profil Fasa Alpha.....	57
Gambar 4. 2 (a) Fase Gelembung Mist (Merah) dan Bubbly Biru (b) Fase Gelembung Churn	58
Gambar 4. 3 Fase Gelembung Annular Flow.....	58
Gambar 4. 4 Irisan Sample 55oC SR 62% (a) Profil Kecepatan (b) Profil Fasa Alpha.....	60

Gambar 4. 5 Fase Gelembung Churn (b) Fase Gelembung Mist dan Bubbly	61
Gambar 4. 6 Fase Gelembung Annular Flow.....	61
Gambar 4. 7 Irisan Sample 55oC SR 70% (a) Profil Fase alpha (b) Profil Kecepatan.....	63
Gambar 4. 8 Fase Gelembung Mist dan Bubbly (b) Fase Gelembung Annular Flow	63
Gambar 4. 9 Fase Gelembung Churn.....	64
Gambar 4. 10 Irisan Sample 60oC SR 54% (a) Profil Fasa Alpha (b) Profil Kecepatan.....	65
Gambar 4. 11 (a) Fase Gelembung Mist dan Bubbly (b) Fase Gelembung Churn	66
Gambar 4. 12 Fase Gelembung Annular Flow.....	66
Gambar 4. 13 Irisan Sample 55oC SR 54% (a) Profil Kecepatan (b) Profil Fasa Alpha.....	68
Gambar 4. 14 (a) Fase Gelembung Mist dan Bubbly (b) Fase Gelembung Churn	68
Gambar 4. 15 Fase Gelembung Annular Flow.....	69
Gambar 4. 16 Irisan Sample 60oC SR 70% (a) Profil Kecepatan (b) Profil Fasa Alpha.....	70
Gambar 4. 17 (a) Fase Gelembung Mist dan Bubbly (b) Fase Gelembung Churn	71
Gambar 4. 18 Fase Gelembung Annular Flow.....	71
Gambar 4. 19 Irisan Sample 65oC SR 54% (a) Profil Kecepatan (b) Profil Fasa Alpha.....	73
Gambar 4. 20 (a) Fase Gelembung Mist dan Bubbly (b) Fase Gelembung Churn	73
Gambar 4. 21 Fase Gelembung Annular Flow.....	74
Gambar 4. 22 Irisan Sample 65oC SR 62% (a) Profil Fasa Alpha (b) Profil Kecepatan.....	75
Gambar 4. 23 (a) Fase Gelembung Mist dan Bubbly (b) Fase Gelembung Churn	76
Gambar 4. 24 Fase Gelembung Annular Flow.....	76
Gambar 4. 25 Irisan Sample 65oC SR 70% (a) Profil Fasa Alpha (b) Profil Kecepatan.....	78
Gambar 4. 26 (a) Fase Gelembung Mist dan Bubbly (b) Fase Gelembung Churn	78
Gambar 4. 27 Fase Gelembung Annular Flow.....	79
Gambar 4. 28 Grafik Mass Flow Rate untuk Fasa Liquid dalam Seluruh Timestep	81
Gambar 4. 29 Grafik Mass Flow Rate untuk Fasa Liquid dalam rata-rata	82
Gambar 4. 30 Grafik Volume Flow Rate untuk Fasa Liquid dalam Seluruh Timestep.....	83
Gambar 4. 31 Grafik Volume Flow Rate untuk Fasa Liquid dalam rata-rata.....	83
Gambar 4. 32 Grafik Mass Flow Rate untuk Fasa Gas dalam Seluruh Timestep .	84
Gambar 4. 33 Grafik Mass Flow Rate untuk Fasa Gas dalam rata-rata	85
Gambar 4. 34 Grafik Volume Flow Rate untuk Fasa Gas dalam Seluruh Timestep	86
Gambar 4. 35 Grafik Volume Flow Rate untuk Fasa Gas dalam rata-rata	87
Gambar 4. 36 Grafik Mass Flow Rate untuk Seluruh Sistem dalam Seluruh Timestep.....	88
Gambar 4. 37 Grafik Mass Flow Rate untuk Fasa Liquid dalam rata-rata	89

Gambar 4. 38 Grafik Volume Flow Rate untuk Seluruh Sistem dalam Seluruh Timestep.....	90
Gambar 4. 39 Grafik Volume Flow Rate untuk Seluruh Sistem dalam rata-rata..	91
Gambar 4. 40 Grafik Velocity Uz untuk Seluruh Sistem dalam timestep	92
Gambar 4. 41 Grafik Velocity Uz untuk Seluruh Sistem dalam rata-rata seluruh timestep.....	93
Gambar 4. 42 Grafik Kualitas dalam Seluruh Timestep	94
Gambar 4. 43 Grafik kualitas dalam rata-rata	95
Gambar 4. 44 Mass Flow Rate total hasil simulasi CFD	99
Gambar 4. 45 Mass Flow Rate total hasil simulasi phyton.....	99
Gambar 4. 46 Mass Flow Rate total hasil eksperimen.....	99
Gambar 4. 47 Mass Flow Rate liquid hasil simulasi CFD	101
Gambar 4. 48 Mass Flow Rate liquid hasil simulasi phyton.....	102
Gambar 4. 49 Mass Flow Rate liquid hasil eksperimen	102
Gambar 4. 50 Mass Flow Rate Gas hasil Simulasi CFD	104
Gambar 4. 51 Mass Flow Rate Gas hasil simulasi dengan phyton.....	104
Gambar 4. 52 Mass Flow Rate Gas hasil Eksperimen.....	104
Gambar 4. 53 Grafik perbandingan efisiensi hasil simulasi dan eksperimen	108



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Teknik Desain.....	120
Lampiran 2 Kode yang digunakan untuk Data Processor and Plotter	121
Lampiran 3 Kode phyton yang digunakan untuk Analisis Matematis.....	148
Lampiran 4 Konfigurasi Boundary Condition yang Digunakan pada tiap Variasi	158

