

**STUDI VISUALISASI POLA ALIRAN DUA FASE
AIR-UDARA PADA ALIRAN HORIZONTAL
PIPA PERSEGI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik



Oleh :

HERLAMBANG RIDHO PRATOMO
NIM. I0412023

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2017**



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SEBELAS MARET - FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

Jl Ir Sutami No. 36A Kentingan Surakarta Telp. 0271 632163 web: mesin.ft.uns.ac.id

**SURAT TUGAS PEMBIMBING DAN PENGUJI TUGAS AKHIR
PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN UNS**

Program Studi : **S1 Teknik Mesin**

Nomor : **0761/TA/S1/11/2016**

Nama : **HERLAMBAANG RIDHO PRATOMO**
NIM : **I0412023**
Bidang : **Konversi Energi**
Pembimbing 1 : **Dr. BUDI SANTOSO, ST, MT/197011052000031001**
Pembimbing 2 : **D. DANARDONO, ST, MT, PhD/196905141999031001**
Penguji : **1. Dr. BUDI KRISTIAWAN, ST., MT./ 197104251999031001**
2. DR. ENG. SYAMSUL HADI, S.T., M.T./
197106151998021002
3. R. LULUS LAMBANG, ST,MT/ 197207052000121001

Mata Kuliah Pendukung

- 1.ALIRAN DUA FASE(MS06063-15)**
- 2.POMPA DAN KOMPRESOR(MS06103-10)**
- 3.GENERATOR UAP DAN GAS(MS06083-15)**

Judul Tugas Akhir

**"STUDI VISUALISASI POLA ALIRAN DUA FASE
AIR-UDARA PADA ALIRAN HORIZONTAL PIPA PERSEGI"**

Surakarta, **2017-04-26 10:17:08**
Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin,

DR ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT
NIP. 197106151998021002

Tembusan :

1. Mahasiswa ybs.
2. Dosen Pembimbing TA ybs.
3. Koordinator TA.
4. Arsip.

PERNYATAAN INTEGRITAS PENULIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Herlambang Ridho Pratomo

NIM : I0412023

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Studi Visualisasi Pola Aliran Dua Fase Air-Udara pada Aliran Horizontal Pipa Persegi” adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat, atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan.

Surakarta, 24 Juni 2017

Herlambang Ridho Pratomo

**STUDI VISUALISASI POLA ALIRAN DUA FASE AIR-UDARA PADA
ALIRAN HORIZONTAL PIPA PERSEGI**

Disusun Oleh

HERLAMBAH RIDHO PRATOMO
NIM : 10412023

Dosen Pembimbing 1



Dr. BUDI SANTOSO, ST, MT
NIP. 197011052000031001

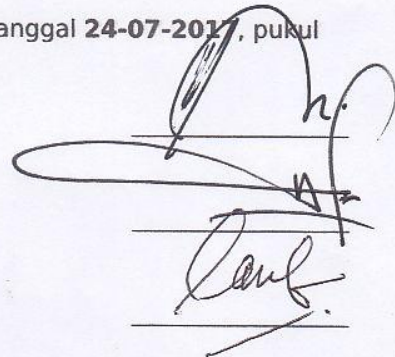
Dosen Pembimbing 2



D. DANARDONO, ST, MT, PhD
NIP. 196905141999031001

Telah dipertahankan di depan Tim Dosen Penguji pada tanggal **24-07-2017**, pukul **13:00:00**, bertempat di **M.101, Gd.1 FT-UNS**.

1. Dr. BUDI KRISTIAWAN, ST., MT.
197104251999031001
2. DR. ENG. SYAMSUL HADI, S.T., M.T.
197106151998021002
3. R. LULUS LAMBANG, ST,MT
197207052000121001




Kepala Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Surakarta



DR. ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT
NIP. 197106151998021002

Koordinator Tugas Akhir



DR. NURUL MUHAYAT, ST,MT
NIP. 197003231998021001

MOTTO

“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah.”

(H.R. Tirmidzi)

“Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua.”

(Aristoteles)

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagi kamu. Dan boleh jadi kamu mencintai sesuatu, padahal ia amat buruk bagi kamu. Allah Maha Mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui.”

(Al-Baqarah: 216)

“Ketergesaan dalam setiap usaha membawa kegagalan.”

(Herodotus)

“Allah mencintai pekerjaan yang apabila bekerja ia menyelesaikannya dengan baik.”

(H.R. Thabrani)

“Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah.”

(Lessing)

“Barang siapa yang keluar dalam menuntut ilmu maka ia adalah seperti berperang di jalan Allah hingga pulang.”

(H.R. Tirmidzi)

“Harga kebaikan manusia adalah diukur menurut apa yang telah dilaksanakan atau diperbuatnya.”

(Ali bin Abu Thalib)

ABSTRAK**STUDI VISUALISASI POLA ALIRAN DUA FASE
AIR-UDARA PADA ALIRAN HORIZONTAL
PIPA PERSEGI**

Herlambang Ridho Pratomo
Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Surakarta Indonesia
Email : herlambang.ridho@gmail.com

Studi eksperimen aliran dua fase penting dilakukan sebagai pertimbangan dalam penerapan desain sistem perpipaan yang bergantung pada aliran dua fase. Pola aliran air-udara diidentifikasi pada penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola aliran air-udara yang terbentuk pada saluran persegi kecil dengan arah aliran horisontal serta mengetahui konfigurasi alirannya. Saluran bening diameter dalam 3 mm dan 5 mm digunakan dalam penelitian ini. Pola aliran yang terbentuk adalah *bubble*, *slug*, *plug*, dan *annular*. Peta pola aliran baru dibentuk kembali pada penelitian ini. Peta pola aliran hasil penelitian memiliki kemiripan yang baik dengan peta pola aliran Chen (2009) untuk pipa diameter dalam 3 mm dan peta pola aliran Barnea (1980) untuk pipa diameter dalam 5 mm. Pipa dengan diameter dalam 5 mm pada penelitian ini lebih sesuai dengan pipa konvensional. Fraksi hampa hasil penelitian memiliki korelasi yang sangat baik terhadap model fraksi hampa dari Armand (1946) dan Nicklin (1962). Nilai fraksi hampa mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan kecepatan superficial udara.

Kata kunci : dua fase, horisontal, saluran persegi, air-udara, pola aliran, peta pola aliran, konvensional, fraksi hampa.

ABSTRACT**VISUALIZATION STUDY OF AIR-WATER
TWO PHASE FLOW REGIME IN HORIZONTAL FLOWS
OF RECTANGULAR PIPE**

Herlambang Ridho Pratomo

Departement of Mechanical Engineering

Engineering Faculty of Sebelas Maret University

Surakarta Indonesia

Email : herlambang.ridho@gmail.com

Two phase flow experimental study is important to observed as consideration in application of piping system design which depends on two phase flow. Air-water flow regime was identified in this experiment. The purpose of this experiment was to know air-water flow regime which occurred in rectangular mini-channel with horizontal flow, and to know the flow configuration. The transparent channel with inner diameter 3 mm and 5 mm was used in the experiment. The flow regime formed were bubble, slug, plug, and annular. The new flow regime map was reformed in this experiment. The result of flow regime map had good relation with Chen (2009) flow regime map for 3 mm inner-diameter and Barnea (1980) flow regime map for 5 mm inner-diameter. Pipes with 5 mm inner diameter in this study was more in line with conventional pipes. The result of void fraction had very good correlation to void fraction models by Armand (1946) and Nicklin (1962). The value of the void fraction increases with the rise of superficial air velocity.

Keywords : two phase, horizontal, rectangular channel, water-air, flow regime, flow regime map, conventional, void fraction.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Visualisasi Pola Aliran Dua Fase Air-Udara pada Saluran Horisontal Pipa Persegi” ini dengan lancar dan baik.

Skripsi ini dibuat dan disusun guna memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam pelaksanaan hingga penyelesaian skripsi ini tidak mungkin dapat tercapai tanpa bantuan pihak lain baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Maka pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah membantu pada pelaksanaan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya kepada kita semua.
2. Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah menuju pada zaman islamiyah saat ini.
3. Bapak Dr. Budi Santoso, ST., MT., selaku Pembimbing I yang senantiasa membimbing, mengarahkan, memberikan nasehat dan menularkan ilmunya dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak D. Danardono, ST., MT., PhD., selaku Pembimbing II yang turut serta membimbing dan memberi arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Budi Kristiawan, ST., MT., Bapak Dr. Eng. Syamsul Hadi, ST., MT., dan Bapak R. Lulus Lambang, ST., MT., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran yang membangun dalam skripsi ini.
6. Bapak Dr. Triyono, ST., MT., sebagai pembimbing akademik yang telah membimbing, memberikan nasehat, memotivasi dan memberikan bekal pengalaman yang akan sangat berguna saat yang akan datang.

7. Bapak Dr. Eng. Syamsul Hadi, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin yang senantiasa memberikan motivasi lebih pada mahasiswa dalam perkuliahan maupun aktivitas di luar akademik.
8. Seluruh Dosen, laboran dan Staff di Program Studi Teknik Mesin yang turut serta membantu demi kelancaran penyelesaian skripsi ini.
9. Papa dan ibu yang selalu memberikan dorongan baik secara materi maupun spiritual, serta adik yang senantiasa menjadi hiburan disela kesibukan dalam perkuliahan maupun kegiatan di luar perkuliahan.
10. Teman-teman “CAMRO” selaku teman-teman senasib seperjuangan yang telah mendorong penulis untuk lebih maju selama kurang lebih lima tahun mengenyam manis pahit suka duka menjalani perkuliahan di Program Studi Teknik Mesin ini.
11. Guntur, Mahfud, Ridwan, Siti Kholifah “Ifa”, dan Zulfi, selaku teman-teman satu penelitian Aliran Dua Fase yang kurang lebih setahun saling bahu-membahu dan melengkapi dalam penyelesaian skripsi ini.
12. Mas Latif dan Mas Mufrih yang telah membantu mengajari dan mengarahkan dalam penggunaan peralatan penelitian Aliran Dua Fase.
13. Serta pihak-pihak lain yang sedikit banyak telah membantu demi kelancaran penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya masukan dan saran yang membangun demi tercapainya laporan hasil skripsi yang lebih baik dan sempurna di kemudian hari.

Akhir kata, penulis berharap semoga hasil dari skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua, serta penulis pada khususnya.

Surakarta, 24 Juni 2017

Herlambang Ridho Pratomo

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN SURAT PENUGASAN	
PERNYATAAN INTEGRITAS PENULIS	
HALAMAN PENGESAHAN	
MOTTO	
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR PERSAMAAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar belakang masalah	1
1.2. Perumusan masalah	2
1.3. Batasan masalah	2
1.4. Tujuan penelitian	3
1.5. Manfaat penelitian	3
1.6. Sistematika penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Dasar Teori	12
2.2.1. Aliran dua fase	12
2.2.2. Klasifikasi saluran	12
2.2.3. Pola aliran dua fase	12
2.2.4. Peta pola aliran	16
2.2.5. Persamaan umum aliran dua fase	17
2.2.6. Pengamatan visual aliran dua fase	19
2.2.7. Fraksi hampa	21
2.2.8. Kecepatan actual fase gas	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Tempat Penelitian	23
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	23
3.2.1. Alat penelitian	23
3.2.2. Bahan penelitian	29
3.3. Parameter Penelitian	30
3.3.1. Parameter yang ditentukan	30
3.3.2. Parameter yang diukur	30
3.3.3. Parameter yang dihitung	30
3.4. Prosedur Penelitian	30
3.4.1. Tahap persiapan	30
3.4.2. Tahap pengambilan Data	31
3.4.3. Tahap pengolahan dan analisa Data	31
3.5. Diagram Alir Penelitian	33
BAB IV DATA DAN ANALISIS	

4.1. Pola Aliran.....	36
4.1.1. Transisi Pola Aliran.....	36
4.1.2. Penentuan Pola Aliran	39
4.2. Peta Pola Aliran.....	43
4.2.1. Peta pola aliran pada pipa diameter dalam 3 mm.....	43
4.2.2. Peta pola aliran pada pipa diameter dalam 5 mm.....	44
4.3. Perbandingan dengan Peta Pola Aliran Penelitian Lain	45
4.3.1. Peta pola aliran pada pipa diameter dalam 3 mm.....	45
4.3.2. Peta pola aliran pada pipa diameter dalam 5 mm.....	47
4.4. Kecepatan Aktual Udara dan Fraksi Hampa Penelitian	50
4.4.1. Kecepatan Aktual Udara.....	51
4.4.2. Fraksi Hampa.....	53
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan.....	57
5.2. Saran	57
Daftar Pustaka	58
Lampiran	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta pola aliran Barnea (1980)	5
Gambar 2.2	Peta pola aliran Coleman dan Garimella (1999)	6
Gambar 2.3	Hasil penelitian Zhao dkk (2004)	7
Gambar 2.4	Peta pola aliran dua fase Ide dkk (2007)	8
Gambar 2.5	Peta pola aliran Chen (2009)	9
Gambar 2.6	Sketsa perbedaan pola aliran <i>plug flow</i> dan <i>slug flow</i>	10
Gambar 2.7	Pola aliran pada saluran mendatar (Perez, 2007)	13
Gambar 2.8	Pola aliran pada saluran tegak (Perez, 2007).....	14
Gambar 2.9	Pola aliran <i>incline upward</i> (Perez, 2007)	16
Gambar 3.1	Skema alat uji aliran dua fase air-udara	24
Gambar 3.2	Pompa air	24
Gambar 3.3	Kompresor udara	25
Gambar 3.4	<i>Mixer</i> air-udara	25
Gambar 3.5	Saluran uji aliran.....	26
Gambar 3.6	(a) <i>Flowmeter</i> air, (b) <i>Flowmeter</i> udara	26
Gambar 3.7	Kamera Casio EX-ZR1000.....	27
Gambar 3.8	Lampu led deret.....	27
Gambar 3.9	Perpipaan <i>by-pass</i>	28
Gambar 3.10	Tangki air.....	28
Gambar 3.11	Rangka utama	29
Gambar 3.12	Diagram alir penelitian	33
Gambar 4.1	Aplikasi pengolah data video Phantom 630	35
Gambar 4.2	Pola <i>plug</i> ke <i>bubble</i> hasil penelitian ($j_G = 0,333$ m/s)	37
Gambar 4.3	Pola <i>plug</i> ke <i>slug</i> hasil penelitian ($j_L = 0,495$ m/s).....	38
Gambar 4.4	Pola <i>slug</i> ke <i>annular</i> hasil penelitian ($j_L = 0,285$ m/s).....	39
Gambar 4.5	Peta pola aliran (pipa diameter dalam 3 mm).....	44
Gambar 4.6	Peta pola aliran (pipa diameter dalam 5 mm).....	45
Gambar 4.7	Perbandingan peta pola penelitian dengan peta pola aliran pada pipa 1 mm Zhao (2004).....	46
Gambar 4.8	Perbandingan peta pola penelitian dengan peta pola aliran pada pipa 3 mm Chen (2009)	47
Gambar 4.9	Perbandingan peta pola penelitian dengan peta pola aliran pada pipa 3 mm Chen (2009)	48
Gambar 4.10	Perbandingan peta pola penelitian dengan peta pola aliran pada pipa 25 mm Barnea dkk (1980)	48
Gambar 4.11	Peta pola aliran air-udara penelitian pada pipa 3 mm	50
Gambar 4.12	Peta pola aliran air-udara penelitian pada pipa 5 mm	50
Gambar 4.13	Kecepatan actual udara terhadap kecepatan superfisial total pada pipa diameter dalam 3 mm	52

Gambar 4.14	Kecepatan actual udara terhadap kecepatan superfisial total pada pipa diameter dalam 5 mm	52
Gambar 4.15	Perbandingan fraksi hampa penelitian terhadap korelasi fraksi hampa model Armand (1946).....	54
Gambar 4.16	Perbandingan fraksi hampa penelitian terhadap korelasi fraksi hampa model Nicklin (1962).....	54
Gambar 4.17	Perbandingan fraksi hampa penelitian terhadap korelasi fraksi hampa model Toshiba (1989).....	55

DAFTAR NOTASI

Simbol	Satuan	Keterangan
A	m^2	Luas penampang lubang saluran
A_G	m^2	Luas penampang lubang saluran yang diselimuti fase gas
C_o	-	Parameter distribusi pada <i>drift-flux models</i>
D	m	Diameter dalam pipa
g	m/s^2	Percepatan gravitasi bumi ($9,81 m/s^2$)
j	m/s	Kecepatan superfisial total ($J_g + J_l$)
j_G	m/s	Kecepatan superfisial fase gas
j_L	m/s	Kecepatan superfisial fase cair
L	m	Panjang total saluran
L_e	m	Panjang saluran dari <i>mixer</i>
m_G	kg/s	Laju aliran massa fase gas
m_L	kg/s	Laju aliran massa fase cair
Q	m^3/s	Laju aliran volum total
Q_G	m^3/s	Laju aliran volum fase gas
Q_L	m^3/s	Laju aliran volum fase cair
u_G	m/s	Kecepatan aktual fase gas
u_L	m/s	Kecepatan aktual fase cair
V_∞	m/s	Kecepatan seret rata-rata pada <i>drift-flux models</i>
X	-	Kualitas massa campuran
α	-	Fraksi hampa
β	-	Kualitas aliran volumetrik
μ_G	kg/m.s	Viskositas dinamik fluida gas
μ_L	kg/m.s	Viskositas dinamik fluida cair

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Pola aliran air-udara pada pipa diameter dalam 3 mm
- Lampiran 2. Pola aliran air-udara pada pipa diameter dalam 5 mm
- Lampiran 3. Pengukuran kecepatan aktual udara tiap frame
- Lampiran 4. Kecepatan aktual udara atau u_G (dalam m/s)
- Lampiran 5. Fraksi hampa eksperimen atau α (-)
- Lampiran 6. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 3 mm ($Jl = 0,404$ m/s)
- Lampiran 7. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 3 mm ($Jl = 0,598$ m/s)
- Lampiran 8. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 3 mm ($Jl = 0,791$ m/s)
- Lampiran 9. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 3 mm ($Jl = 0,985$ m/s)
- Lampiran 10. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 3 mm ($Jl = 1,180$ m/s)
- Lampiran 11. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 3 mm ($Jl = 1,373$ m/s)
- Lampiran 12. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 3 mm ($Jl = 1,761$ m/s)
- Lampiran 13. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 3 mm ($Jl = 2,148$ m/s)
- Lampiran 14. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 5 mm ($Jl = 0,285$ m/s)
- Lampiran 15. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 5 mm ($Jl = 0,355$ m/s)
- Lampiran 16. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 5 mm ($Jl = 0,425$ m/s)
- Lampiran 17. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 5 mm ($Jl = 0,495$ m/s)
- Lampiran 18. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 5 mm ($Jl = 0,634$ m/s)
- Lampiran 19. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 5 mm ($Jl = 0,773$ m/s)
- Lampiran 20. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 5 mm ($Jl = 1,211$ m/s)
- Lampiran 21. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 5 mm ($Jl = 1,589$ m/s)
- Lampiran 22. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 5 mm ($Jl = 1,969$ m/s)
- Lampiran 23. Pola aliran air-udara pipa diameter dalam 5 mm ($Jl = 2,347$ m/s)

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1.	Persamaan prediksi Armand (1946)	10
Persamaan 2.2.	Fraksi hampa (<i>void fraction</i>)	17
Persamaan 2.3.	Kualitas massa campuran	17
Persamaan 2.4.	Kecepatan superfisial fase gas	18
Persamaan 2.5.	Kecepatan superfisial fase cair	18
Persamaan 2.6.	Kecepatan superfisial fase total	18
Persamaan 2.7.	Kecepatan aktual fase gas	18
Persamaan 2.8.	Kecepatan aktual fase cair	18
Persamaan 2.9.	Kualitas aliran volumetrik	19
Persamaan 2.10.	Kualitas aliran volumetrik	19
Persamaan 2.11.	Model korelasi fraksi hampa Armand (1946)	21
Persamaan 2.12.	Model korelasi fraksi hampa Nicklin (1962)	22
Persamaan 2.13	Model korelasi fraksi hampa Toshiba (1989).....	22