

SKRIPSI
INVESTIGASI FRAKSI HAMPA DUA FASE UDARA
AIR DAN GLISERIN (0 – 30 %) PADA PIPA KAPILER
DENGAN KEMIRINGAN 15° TERHADAP POSISI HORIZONTAL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik



UMY

UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH
YOGYAKARTA

Unggul & Islami

Disusun oleh:
Wildan Zulkarnain
20150130128

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2020

HALAMAN PERYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Wildan Zulkarnain

Nim : 20150130128

Jurusan : Teknik Mesin

Universitas : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Menyatakan bahwa skripsi tentang **“Investigasi Fraksi Hampa Dua-Fase Udara-Air dan Gliserin (0-30%) pada Pipa Kapiler dengan Kemiringan 15⁰ Terhadap Posisi Horizontal”** ini merupakan hasil investigasi penelitian dari pengujian dan karya ilmiah saya secara murni keasliannya, dengan tidak adanya manipulasi data dan semua yang saya tuliskan tidak terdapat unsur plagiat ataupun pernah diajukan sebelumnya untuk mendapat gelar sarjana di perguruan tinggi lain. Dengan pernyataan ini, karya yang saya buat tidak terdapat hasil dari penelitian yang sudah dipublikasikan ataupun diterbitkan selain dari referensi yang diikut sertakan sumber keasliannya dalam naskah ini.

Yogyakarta,



Wildan Zulkarnain

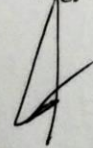
KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, kami panjatkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan inayah-Nya kepada kita semua, sehingga kami diberikan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Investigasi Fraksi Hampa Dua-Fase Udara-Air dan Gliserin (0-30%) pada Pipa Kapiler dengan Kemiringan 15⁰ Terhadap Posisi Horizontal”** secara baik dan tepat pada waktunya.

Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis, baik secara moril dan materil dalam pelaksanaan tugas akhir maupun penyusunan laporan ini. Terima kasih kepada Bapak Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.M., M.Eng.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta atas izin dan persetujuan peminjaman laboratorium untuk penelitian, Bapak Dr. Ir. Sukamta, M.T., IPM. dan Bapak Dr. Ir. Sudarja, M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan ilmu kepada penulis dan membantu dalam pelaksanaan penyusunan ataupun penulisan tugas akhir ini hingga selesai, Bapak Muhammad Nadjib, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji tugas akhir, semua staf pelayanan dan laboran Teknik Mesin UMY yang telah melayani mahasiswa dalam segala urusan akademik dan teman-teman Teknik Mesin UMY angkatan 2015 serta rekan tim tugas akhir aliran dua fase yang telah membantu baik itu berupa saran, doa, maupun dukungan sampai selesai.

Akhir kata penulisan tugas akhir ini, penulis sadar masih adanya kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan karya tulis ini. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk perbaikan dimasa mendatang agar menjadi lebih baik dikemudian hari.

Yogyakarta,



Wildan Zulkarnain

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah skripsi ini saya persembahkan untuk bapak dan ibu saya tercinta bapak Asnawi dan ibu Maryati terima kasih atas doa, motivasi, perhatian, dan kasih sayang yang telah diberikan kepada penyusun.

MOTTO

*Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan,
karena itu bila kau telah selesai (mengerjakan yang lain)
dan kepada tuhan berharaplah.*

(QS. Al Insyirah :6-8)

*Dan (ingatlah juga), tatkala Tuhanmu memaklumkan;
“Sesungguhnya jika kamu bersyukur, pasti Kami akan
menambah (nikmat) kepadamu, dan jika kamu mengingkari
(nikmat-Ku), maka sesungguhnya azab-Ku sangat pedih”.*

(QS. Ibrahim :7)

*Manusia diwajibkan untuk belajar tidak untuk pintar,
pintar hanyalah bonus.*

(Asnawi)

Terombang-ambing tetapi tidak tenggelam.

(Semboyan Paris)

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iv
PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
INTISARI.....	xix
ABSTRACT	x
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II	4
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4

2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	12
2.2.1 Tinjauan Umum Aliran Dua Fase	12
2.2.2 Fraksi Hampa	12
2.2.3 Rasio Kecepatan	15
2.2.4 Digital Image processing	15
2.2.5 Digital Image	15
2.2.6 Noise	16
2.2.7 Mean Value	17
2.2.8 Probability Distribution Function (PDF)	17
2.2.9 Power Spectral Density (PSD)	17
2.2.10 Cross-Correlation	17
2.2.11 Pola Aliran	18
BAB III	19
METODE PENELITIAN	19
3.1 Bahan Penelitian	19
3.2 Alat Penelitian	20
3.2.1 Aliran Fluida Gas	22
3.2.2 Aliran Fluida Cair	23
3.2.3 Peralatan Uji	26
3.2.4 Alat ambil gambar	28
3.3 Diagram Alir	30

3.4	Prosedur Pengambilan Data	32
3.5	Jalan Proses Penelitian	33
3.6	Pengkalibrasian Alat Ukur	33
3.7	Pengolahan Data dan Analisa	34
3.7.1	Pembacaan Gambar	34
3.7.2	Konversi Gambar	34
3.7.3	Image Cropping	34
3.7.4	Image Complement	35
3.7.5	Image Filtering	35
3.7.6	Konversi ke biner.....	36
3.7.7	Data gathering	36
BAB IV		37
HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Fraksi Hampa (Void Fraction)	37
4.1.1	Fraksi Hampa pada Pola Aliran Plug	37
4.1.2	Fraksi Hampa pada Pola Aliran Slug-Annular	43
4.1.3	Fraksi Hampa pada Pola Aliran Annular	50
4.1.4	Fraksi Hampa pada Pola Aliran Bubbly	56
4.1.5	Fraksi Hampa pada Pola Aliran Churn	63
4.2	Kecepatan dan Cross-Correlation Aliran Plug dan Bubbly	69
4.2.1	Cross-Correalation Aliran Plug dan Bubbly	69
4.2.2	Kecepatan Plug dan Bubbly	72

4.2.3 Panjang Plug dan Bubbly	73
4.2.4 Frekuensi Plug dan Bubbly	73
4.3 Perbandingan bentuk pola aliran bubbly terhadap penelitian sebelumnya ..	74
BAB V	76
KESIMPULAN DAN SARAN	76
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	80
DAFTAR GAMBAR	
Gambar 2.1 Pengukuran fraksi hampa	5
Gambar 2.2 Kecepatan Bubble	6
Gambar 2.3 Korelasi fraksi hampa dengan volume quality dengan hasil	7
Gambar 2.4 Jenis aliran	8
Gambar 2.5 (a) Pengaruh JG dan JL terhadap fraksi hampa, (b) pengaruh β terhadap ε , ($\varepsilon = \alpha$)	9
Gambar 2.6 Perbandingan pressure drop pipa berdiameter 4, 6 dan 8 mm	10
Gambar 2.7 Perbandingan dengan studi literatur yang sebelumnya	11
Gambar 2.8 Fraksi hampa chordal	13
Gambar 2.9 Fraksi hampa cross-section.....	14
Gambar 2.10 Fraksi hampa volumetrik	14
Gambar 2.11 Contoh gambar RGB dengan aliran plug.....	16
Gambar 2.12 Contoh gambar Grayscale dengan aliran plug	16

Gambar 2.13 Contoh gambar binner dengan aliran plug	16
Gambar 3.1 Skema instalasi	21
Gambar 3.2 Kompresor	22
Gambar 3.3 Flowmeter udara	23
Gambar 3.4 Water Pump	23
Gambar 3.5 Penampung fluida cair	24
Gambar 3.6 Tangki bertekanan	25
Gambar 3.7 Flowmeter cair	25
Gambar 3.8 Pipa transparan.....	26
Gambar 3.9 Mixer	26
Gambar 3.10 Konektor	27
Gambar 3.11 Seksi pengujian	27
Gambar 3.12 Lampu penerangan.....	28
Gambar 3.13 Kamera	29
Gambar 3.14 Diagram alir penelitian	30
Gambar 3.15 Diagram alir image processing	31
Gambar 4.1 Pola aliran plug pada (a) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 0,7 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,207 \text{ m/s}$, $JL = 0,7 \text{ m/s}$	37
Gambar 4.2 Time-Average fraksi hampa pada (a) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 0,7 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,207 \text{ m/s}$, $JL = 0,7 \text{ m/s}$	38
Gambar 4.3 PDF pada aliran plug pada (a) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 0,7 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,207 \text{ m/s}$, $JL = 0,7 \text{ m/s}$	38
Gambar 4.4 Pola aliran plug pada (a) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 0,7 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,207 \text{ m/s}$, $JL = 0,7 \text{ m/s}$	39

Gambar 4.5 Time-Average fraksi hampa pada (a) $JG = 0,066$ m/s, $JL = 0,7$ m/s dan (b) $JG = 0,207$ m/s, $JL = 0,7$ m/s	39
Gambar 4.6 PDF pada aliran plug pada (a) $JG = 0,066$ m/s, $JL = 0,7$ m/s dan (b) $JG = 0,207$ m/s, $JL = 0,7$ m/s	40
Gambar 4.7 Pola aliran plug pada (a) $JG = 0,066$ m/s, $JL = 0,7$ m/s dan (b) $JG = 0,207$ m/s, $JL = 0,7$ m/s	40
Gambar 4.8 Time-Average fraksi hampa pada (a) $JG = 0,066$ m/s, $JL = 0,7$ m/s dan (b) $JG = 0,207$ m/s, $JL = 0,7$ m/s	41
Gambar 4.9 PDF pada aliran plug pada (a) $JG = 0,066$ m/s, $JL = 0,7$ m/s dan (b) $JG = 0,207$ m/s, $JL = 0,7$ m/s	41
Gambar 4.10 Pola aliran plug pada (a) $JG = 0,066$ m/s, $JL = 0,7$ m/s dan (b) $JG = 0,207$ m/s, $JL = 0,7$ m/s	42
Gambar 4.11 Time-Average fraksi hampa pada (a) $JG = 0,066$ m/s, $JL = 0,7$ m/s dan (b) $JG = 0,207$ m/s, $JL = 0,7$ m/s	42
Gambar 4.12 PDF pada aliran plug pada (a) $JG = 0,066$ m/s, $JL = 0,7$ m/s dan (b) $JG = 0,207$ m/s, $JL = 0,7$ m/s	43
Gambar 4.13 Pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62$ m/s, $JL = 0,033$ m/s dan (b) $JG = 9,62$ m/s, $JL = 0,232$ m/s	44
Gambar 4.14 Time-Average pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62$ m/s, $JL = 0,033$ m/s dan (b) $JG = 9,62$ m/s, $JL = 0,232$ m/s	44
Gambar 4.15 PDF pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62$ m/s, $JL = 0,033$ m/s dan (b) $JG = 9,62$ m/s, $JL = 0,232$ m/s	45
Gambar 4.16 Pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62$ m/s, $JL = 0,033$ m/s dan (b) $JG = 9,62$ m/s, $JL = 0,232$ m/s	45
Gambar 4.17 Time-Average pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62$ m/s, $JL = 0,033$ m/s dan (b) $JG = 9,62$ m/s, $JL = 0,232$ m/s	46

Gambar 4.18 PDF pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,232 \text{ m/s}$	46
Gambar 4.19 Pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,232 \text{ m/s}$	47
Gambar 4.20 Time-Average pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,232 \text{ m/s}$	47
Gambar 4.21 PDF pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,232 \text{ m/s}$	48
Gambar 4.22 Pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,232 \text{ m/s}$	48
Gambar 4.23 Time-Average pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,232 \text{ m/s}$	49
Gambar 4.24 PDF pola aliran slug-annular pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 0,232 \text{ m/s}$	49
Gambar 4.25 Pola aliran annular pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	50
Gambar 4.26 Time-average fraksi hampa pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	51
Gambar 4.27 PDF aliran annular pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	51
Gambar 4.28 Pola aliran annular pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	52
Gambar 4.29 Time-average fraksi hampa pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	52
Gambar 4. 30 PDF aliran annular pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	53

Gambar 4.31 Pola aliran annular pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	53
Gambar 4.32 Time-average fraksi hampa pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	54
Gambar 4.33 PDF aliran annular pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	54
Gambar 4.34 Pola aliran annular pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	55
Gambar 4.35 Time-average fraksi hampa pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	55
Gambar 4.36 PDF aliran annular pada (a) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 0,149 \text{ m/s}$	56
Gambar 4.37 Pola aliran bubbly pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	57
Gambar 4.38 Time-average fraksi hampa pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	57
Gambar 4.39 PDF aliran bubbly pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	58
Gambar 4.40 Pola aliran bubbly pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	58
Gambar 4.41 Time-Average fraksi hampa pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	59
Gambar 4.42 PDF aliran bubbly pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	59
Gambar 4.43 Pola aliran bubbly pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	60

Gambar 4.44 Time-Average fraksi hampa pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	60
Gambar 4.45 PDF aliran bubbly pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	61
Gambar 4. 46 Pola aliran bubbly pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	61
Gambar 4.47 Time-Average fraksi hampa pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	62
Gambar 4.48 PDF aliran bubbly pada (a) $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 0,066 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	62
Gambar 4.49 Pola aliran churn pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	63
Gambar 4.50 Time-Average fraksi hampa pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	64
Gambar 4.51 PDF pola aliran churn pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	64
Gambar 4.52 Pola aliran churn pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	65
Gambar 4.53 Time-Average fraksi hampa pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	65
Gambar 4.54 PDF pola aliran churn pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	66
Gambar 4.55 Pola aliran churn pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	66
Gambar 4.56 Time-Average fraksi hampa pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	67

Gambar 4.57 PDF pola aliran churn pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	67
Gambar 4.58 Pola aliran churn pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	68
Gambar 4.59 Time-Average fraksi hampa pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	68
Gambar 4.60 PDF pola aliran churn pada (a) $JG = 9,62 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dan (b) $JG = 66,3 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$	69
Gambar 4. 61 Cross-correlation plug.....	70
Gambar 4. 62 Cross-correlation bubble	71
Gambar 4. 63 Kecepatan plug dan bubbly	72
Gambar 4.64 Panjang plug dan bubbly	73
Gambar 4.65 Frekuensi plug dan bubbly	74
Gambar 4.66 Pola aliran bubbly (a) Qiao S. Dkk. (2015) (b) Serizawa dkk. (2002) (c) Penelitian ini $JG = 0,025 \text{ m/s}$, $JL = 2,297 \text{ m/s}$ dengan kemiringan 15°	75

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Sifat fisik cairan.....	19
Tabel 3.2 Konversi gambar RGB ke binner	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel pengambilan data dengan J_G dan J_L berjumlah 144 variasi	81
Lampiran 2 Matriks perhitungan kecepatan bubbly dan plug.	81
Lampiran 3 Matriks perhitungan panjang bubbly dan plug.	82
Lampiran 4 Matriks perhitungan frekuensi bubbly dan plug	82
Lampiran 5 kalibrasi flowmeter	83

DAFTAR NOTASI

J_G : Kecepatan superfisial gas/udara (m/s)

J_L : Kecepatan superfisial liquid/air (m/s)

A : Luas Penampang (m^2)

A_G : Luas penampang gas (m^2)

A_L : Luas penampang cairan (m^2)

C_S : Kecepatan konstanta

D : Diameter pipa (μm)

D_H : Diameter pipa (mm)

U_G : Kecepatan aktual gas (m/s)

U_L : Kecepatan aktual liquid (m/s)

U_S : Kecepatan bubbly (m/s)

L_L : Panjang fase cairan

L_G : Panjang fase gas

L_S : Jarak aksial

S : Rasio kecepatan

t : waktu (s)

ν : Viskositas kinematik

x : kualitas gas

α : fraksi hampa penelitian

β : fraksi hampa homogen

ϵ : fraksi hampa

ρ : Massa jenis (kg/m^3)

ρ_G : Densitas udara (kg/m^3)

ρ_L : Densitas air (kg/m^3)

μ : Viskositas dinamik ($kg/m.s$)

Δt : Jeda waktu (s)