

**INVESTIGASI FRAKSI HAMPA ALIRAN DUA FASE  
UDARA AIR DAN GLISERIN (40-70%) PADA PIPA KAPILER DENGAN  
KEMIRINGAN 30° TERHADAP POSISI HORIZONTAL**

**TUGAS AKHIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar  
Sarjana Teknik



**UMY**  
UNIVERSITAS  
MUHAMMADIYAH  
YOGYAKARTA

Unggul & Islami

**Disusun Oleh :**

**METRA PRAYOGI RIANDA  
20120130042**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

**2019**

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa tugas akhir ini adalah asli hasil karya saya dan di dalamnya tidak terdapat karya (tulisan) yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain sebelumnya. Selain itu, karya tulis ilmiah ini juga tidak berisi pendapat atau hasil penelitian yang sudah dipublikasikan oleh orang lain selain referensi yang ditulis dengan menyebutkan sumbernya di dalam naskah dan daftar pustaka.

Yogyakarta, 26 Februari 2019



Metra Prayogi Rianda

Yogyakarta, 26 Februari 2019

Penyusun

Metra Prayogi Rianda

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan kekuatan dan kemampuan serta atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penyusunan dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Investigasi Fraksi Hampa Aliran Dua Fase Udara-Akuades dan Gliserin (40-70)% pada Pipa Kapiler dengan Kemiringan 30<sup>0</sup> Terhadap Posisi Horizontal**” yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program Stara-1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Tugas akhir ini mengungkap secara detail tentang fraksi hampa aliran dua fase udara-akuades dan gliserin (40-70)% pada pipa kapiler dengan kemiringan 30<sup>0</sup> terhadap posisi horizontal dengan hasil pola aliran yang didapatkan fraksi hampanya adalah pola aliran *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Selain itu juga dibahas tentang kecepatan pola *bubbly* dan *plug*, frekuensi pola *bubbly* dan *plug*, panjang pola *bubbly* dan *plug*, kemudian menjadi dasar dalam perhitungan penurunan tekanan (*preassure gradient*). Penelitian mengenai fraksi hampa (*void fraction*) yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik nilai fraksi hampa pada pola aliran *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn* pada aliran dua fase dengan kemiringan 30<sup>0</sup> pada pipa kapiler horizontal sehingga memudahkan dalam melakukan analisa lebih lanjut.

Yogyakarta,      Februari 2019

Penyusun

Metra Prayogi Rianda

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xvi</b>
<b>INTISARI</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	<b>4</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	4
2.2 Dasar Teori .....	14
2.2.1 Tinjauan Umum Aliran Dua Fase .....	14
2.2.2 Fraksi Hampa Aliran Dua Fase .....	14
2.2.3 Fraksi Hampa Homogen .....	16
2.2.4 Rasio Kecepatan .....	17
2.2.5 <i>Digital Image Processing</i> .....	17
2.2.6 Digital Image .....	17
2.2.7 <i>Noise</i> .....	19
2.2.8 <i>Filtering</i> .....	20
2.2.9 Analisa Statistik .....	21

<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1 Bahan Penelitian .....	22
3.1.1 Fluida Gas .....	22
3.1.2 Fluida Cair .....	22
3.2 Alat Penelitian .....	23
3.2.1 Skema Alat .....	23
3.2.2 Aliran Fluida Cair .....	24
3.2.3 Aliran Fluida Gas .....	26
3.2.4 Peralatan Uji .....	28
3.2.5 Peralatan Pengambilan Data .....	29
3.3 Prosedur Penelitian .....	30
3.4 Data Penelitian .....	31
3.5 Proses Pengolahan Data .....	31
3.5.1 Pembacaan Gambar .....	31
3.5.2 Pengubahan Gambar .....	32
3.5.3 Penyesuaian Gambar .....	32
3.5.4 Pembalikan Gambar .....	32
3.5.5 Filtering .....	33
3.5.6 Segmentasi Gambar .....	33
3.6 Pengambilan Data .....	33
3.6.1 Kalibrasi Ukuran Gambar .....	33
3.6.2 Perhitungan Data .....	33
3.6.3 Perhitungan Cross-correlation .....	34
3.7 Tempat Penelitian .....	35
3.8 Diagram Alir Penelitian .....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Fraksi Hampa ( <i>Void Fraction</i> ) .....	37
4.1.1 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran <i>Bubbly</i> .....	37
4.1.2 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran <i>Plug</i> .....	43
4.1.3 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran <i>Slug-Annular</i> .....	49
4.1.4 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran <i>Annular</i> .....	56

4.1.5 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran <i>Churn</i> .....	62
4.2 Kecepatan dan <i>Cross-Correlation</i> Aliran <i>Bubble</i> dan <i>Plug</i> .....	69
4.2.1 <i>Cross-Correlation</i> Aliran <i>Bubble</i> dan <i>Plug</i> .....	69
4.2.2 Kecepatan <i>Bubble</i> dan <i>Plug</i> .....	71
4.3 Panjang <i>Bubble</i> dan <i>Plug</i> .....	71
4.4 Frekuensi <i>Bubble</i> dan <i>Plug</i> .....	72
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>73</b>
5.1 Kesimpulan .....	73
5.2 Saran .....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>75</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>76</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>78</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pengukuran fraksi hampa (Ali dkk, 1993) .....	4
Gambar 2.2. Perbandingan beberapa hasil pengukuran fraksi hampa dari Triplett (1999) dengan penelitian lain (a) Model aliran homogen, (b) Chexal dkk (1977); (c) Lockhart-Martinelli-Butterworth (Butterworth, 1975); (d) CISE (Premoli, 1971) .....	5
Gambar 2.3. Kecepatan Bubble (Fukano dan Kariyasaki, 1993).....	8
Gambar 2.4. Nilai Cs dalam persamaan (2.3) pada total fluks volumetrik dan arah aliran (a) pipa dengan diameter 2,4 mm (b) pipa dengan diameter 9 mm. (Fukano dan Kariyasaki, 1993) .....	9
Gambar 2.5. Tebal Film Cairan (Fukano dan Kariyasaki, 1993).....	10
Gambar 2.6. Korelasi fraksi hampa dengan volume quality dengan hasil (Serizawa dkk, 2002) .....	11
Gambar 2.7. Fraksi hampa rata-rata untuk saluran mikro sirkular dan persegi terhadap kualitas volumetrik (Chung dan Kawaji, 2004) .....	12
Gambar 2.8. Pengaruh JL dan JG pada fraksi hampa (Sudarja, 2015) .....	12
Gambar 2.9. Fraksi Hampa Lokal (Thome, 2004).....	13
Gambar 2.10. Fraksi Hampa Chordal (Thome, 2004) .....	15
Gambar 2.11. Cross-Sectional Void Fraction (Thome, 2004) .....	15
Gambar 2.12. Fraksi Hampa Volumetrik (Thome, 2004) .....	16
Gambar 2.13. RGB (McAdrew, 2004) .....	18
Gambar 2.14. Grayscale (McAdrew, 2004) .....	18
Gambar 2.15. Biner (McAdrew, 2004) .....	19
Gambar 3.1. Skema instalasi penelitian (Sudarja dkk, 2018) .....	24
Gambar 3.2. <i>Water Pump</i> .....	25
Gambar 3.3 <i>Flowmeter</i> air dengan kapasitas maksimal 50 mL/menit, (b) 500 mL/menit dan (c) 0,1 – 1 GPM .....	25
Gambar 3.4. Pressure Vessel .....	26
Gambar 3.5 Kompresor .....	27

Gambar 3.6. <i>Flowmeter</i> udara dengan kisaran debit maksimal 0 - 0,8 L/m, 0 - 3 L/m dan 0 - 10 L/m .....	27
Gambar 3.7. <i>Mixer</i> .....	28
Gambar 3.8. Konektor .....	28
Gambar 3.9. Lampu LED.....	29
Gambar 3.10. <i>Test section</i> .....	29
Gambar 3.11. Kamera .....	24
Gambar 3.12. Sampel gambar RGB .....	25
Gambar 3.13. Sampel gambar grayscale .....	26
Gambar 3.14. Sampel gambar Crop .....	27
Gambar 3.15. Sampel gambar pembalikan warna .....	28
Gambar 3.16. <i>Filtering</i> .....	33
Gambar 3.17. Biner .....	33
Gambar 3.18. Fase fluida pada saluran .....	34
Gambar 3.19. Titik referensi setiap gambar .....	35
Gambar 4.1. Pola Aliran <i>bubbly</i> pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s .....	37
Gambar 4.2. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.....	38
Gambar 4.3. PDF aliran <i>bubbly</i> pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s .....	38
Gambar 4.4. Gambar 4.4. Pola Aliran <i>Bubbly</i> pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s .....	39
Gambar 4.5. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.....	39
Gambar 4.6. Gambar 4.6. PDF aliran <i>bubbly</i> pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s .....	40
Gambar 4.7. Gambar 4.7. Pola Aliran <i>Bubbly</i> pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s .....	41
Gambar 4.8. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.....	41



Gambar 4.9. PDF aliran <i>bubbly</i> pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s .....	41
Gambar 4.10. Pola Aliran <i>Bubbly</i> pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.....	42
Gambar 4.11. <i>Time-Average</i> fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s .....	43
Gambar 4.12. PDF aliran <i>bubbly</i> pada pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s .....	43
Gambar 4.13. Pola aliran <i>plug</i> pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s .....	44
Gambar 4.14. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s.....	44
Gambar 4.15. PDF aliran <i>plug</i> pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s .....	45
Gambar 4.16. Pola aliran <i>plug</i> pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s .....	44
Gambar 4.17. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s.....	45
Gambar 4.18. PDF aliran <i>plug</i> pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s .....	46
Gambar 4.19. Pola aliran <i>plug</i> pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s .....	46
Gambar 4.20. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s.....	47
Gambar 4.21. PDF aliran <i>plug</i> pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s .....	47
Gambar 4.22 Pola aliran <i>plug</i> pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s .....	48
Gambar 4.23. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s.....	49

Gambar 4.24. PDF aliran <i>plug</i> gliserin 30% pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s .....	49
Gambar 4.25. Pola Aliran <i>slug-annular</i> pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.....	50
Gambar 4.26. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s .....	50
Gambar 4.27. PDF aliran <i>slug-annular</i> gliserin 0% pada (a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.....	51
Gambar 4.28. Pola Aliran <i>slug-annular</i> pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.....	51
Gambar 4.29. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s .....	52
Gambar 4.30. PDF aliran <i>slug-annular</i> pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.....	53
Gambar 4.31. Pola Aliran <i>slug-annular</i> pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.....	53
Gambar 4.32. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s .....	53
Gambar 4.33. PDF aliran <i>slug-annular</i> pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.....	54
Gambar 4.34. Pola Aliran <i>slug-annular</i> pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.....	54
Gambar 4.35. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s .....	55
Gambar 4.36. PDF aliran <i>slug-annular</i> pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.....	55
Gambar 4.37. Pola Aliran <i>annular</i> pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s .....	56
Gambar 4.38. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s .....	57

Gambar 4.39. PDF aliran <i>annular</i> pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ , dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ .....	57
Gambar 4.40. Pola Aliran <i>annular</i> pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ .....	58
Gambar 4.41. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ , dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ .....	58
Gambar 4.42. PDF aliran <i>annular</i> pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ , dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ .....	59
Gambar 4.43. Pola Aliran <i>annular</i> pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ .....	59
Gambar 4.44. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ , dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ .....	60
Gambar 4.45. PDF aliran <i>annular</i> pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ , dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ .....	60
Gambar 4.46. Pola Aliran <i>annular</i> pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ .....	61
Gambar 4.47. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ , dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,232 \text{ m/s}$ .....	61
Gambar 4.48. PDF aliran <i>annular</i> pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ , dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ .....	62
Gambar 4.49. Pola Aliran <i>churn</i> pada (a) $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ , $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ .....	62
Gambar 4.50. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ , $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ , dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ .....	63
Gambar 4.51. PDF aliran <i>churn</i> pada (a) $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ , $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ , dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ .....	63
Gambar 4.52. Pola Aliran <i>churn</i> pada (a) $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ , $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ .....	64
Gambar 4.53. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ , $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ , dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ , $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ .....	64

Gambar 4.54. PDF aliran <i>churn</i> pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s.....	65
Gambar 4.55. Pola Aliran <i>churn</i> pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s.....	65
Gambar 4.56. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s .....	66
Gambar 4.57. PDF aliran <i>churn</i> pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s.....	66
Gambar 4.58. Pola Aliran <i>churn</i> pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s.....	67
Gambar 4.59. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s .....	67
Gambar 4.60. PDF aliran <i>churn</i> pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s.....	68
Gambar 4.61. <i>Cross-correlation bubbly</i> pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.....	69
Gambar 4.62. <i>Cross-correlation plug</i> .....	70
Gambar 4.63. Kecepatan <i>bubbly</i> dan <i>plug</i> .....	71
Gambar 4.64. Panjang <i>bubbly</i> dan <i>plug</i> .....	72
Gambar 4.65. Frekuensi <i>bubbly</i> dan <i>plug</i> .....	72

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Sifat Fisik Cairan .....	17
------------------------------------	----

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Matriks Perhitungan Kecepatan <i>bubbly</i> dan <i>Plug</i> .....	75
Lampiran 2. Matriks Perhitungan Panjang <i>bubbly</i> dan <i>Plug</i> .....	75
Lampiran 3. Matriks Perhitungan Frekuensi <i>bubbly</i> dan <i>Plug</i> .....	75
Lampiran 4. Hasil Pengujian Tegangan Permukaan .....	76
Lampiran 5. Tabel Kecepatan <i>bubbly</i> dan <i>Plug</i> .....	76
Lampiran 6. Hasil Kalibrasi <i>Flowmeter</i> Air 1 .....	77
Lampiran 7. Hasil Kalibrasi <i>Flowmeter</i> Air 2 .....	77
Lampiran 8. Hasil Kalibrasi <i>Flowmeter</i> Air 3 .....	77

## DAFTAR NOTASI

$A$	= Luas penampang ( $m^2$ )	$\alpha$	= Fraksi hampa penelitian
$A_G$	= Luasan gas ( $m^2$ )	$\beta$	= Fraksi Hampa homogen
$A_L$	= Luasan cairan ( $m^2$ )	$\varepsilon$	= Fraksi hampa
$C_s$	= Kecepatan konstanta	$\rho$	= Massa jenis ( $kg/m^3$ )
$D$	= Diameter pipa ( $\mu m$ )	$\rho_G$	= Densitas udara ( $kg/m^3$ )
$D_H$	= Diameter pipa (mm)	$\rho_L$	= Densitas air ( $kg/m^3$ )
$J_G$	= Kecepatan superfisial udara (m/s)	$\mu$	= Viskositas dinamik (kg/m.s)
$J_L$	= Kecepatan superfisial air (m/s)	$\Delta t$	= Jeda waktu (s)
$L_G$	= Panjang garis dilewati udara (m)		
$L_L$	= Panjang garis dilewati air (m)		
$L_s$	= Jarak aksial (m)		
$S$	= Rasio kecepatan		
$t$	= waktu (s)		
$U_G$	= Kecepatan udara (m/s)		
$U_L$	= Kecepatan air (m/s)		
$U_s$	= Kecepatan <i>bubbly</i> (m/s)		
$\nu$	= Viskositas kinematik ( $m^2/s$ )		
$x$	= Kualitas gas		