

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL TENTANG POLA ALIRAN DAN FRAKSI
HAMPA ALIRAN MULTI KOMPONEN DUA-FASE GAS-CAMPURAN
AKUADES 48%, GLISERIN 50%, BUTANOL 2% PADA PIPA MINI
HORIZONTAL**

Ditujukan untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

Ma'ruf Rughofa
20160130101

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

2022/2023

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ma'ruf Rughofa
Nomor Induk Mahasiswa : 20160130101
Program Studi : S-1 Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Tentang Pola Aliran dan Fraksi Hampa Aliran Multi Komponen Dua-Fase Gas-Campuran Akuades 48%, Gliserin 50%, Butanol 2% Pada Pipa Mini Horisontal

Saya menyatakan bahwa skripsi 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, dalam karya tulis ilmiah ini saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku selain referensi yang ditulis dengan menyebut sumbernya di dalam naskah dan daftar pustaka.

Yogyakarta, 5 Juni 2023

Penyusun



Ma'ruf Rughofa
NIM. 20160130101

MOTTO

“*Ikigai* yang berarti apa tujuan hidupmu”

“*Shikita Ga Nai* yang berarti terima saja dan jalani”

“*Oubaitori* yang berarti jangan membandingkan diri kita dengan orang lain”

“*Wabi-sabi* yang berarti menerima kekurangan”

“Tuhan tidak mewajibkan kita menang, sehingga kalahpun tidak berdosa”

“Kenali dirimu, maka kamu akan mengenali sekitarmu”

“Jangan kerja keras, tapi kerja cerdas”

“Tidak ada wanita yang benar benar bisa dipercaya”

“Garis kehidupan anda akan mempengaruhi garis kehidupan orang lain”

HALAMAN PERSEMBAHAN



Dengan mengucapkan Alhamdulillah rabbilalamin, puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat-Nya dan atas dukungan dan doa dari orang-orang tercinta sehingga penyusun bisa tetap tegar untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan pada waktu yang tepat. Oleh karena itu dengan rasa bahagia dan bangga penyusun mengucapkan terimakasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, bapak Samino dan mamah Lasini yang selalu berdoa dan memberikan dukungan untuk kesuksesan penyusun. Penyusun tidak bisa membalas seluruh kebaikan kedua orang tua, akan tetapi penyusun hanya bisa mendoakan semoga segala jerih payah dan dukungan dari kedua orang tua dibalas oleh Allah SWT dan semoga penyusun bisa membahagiakan kedua orang tua di dunia dan di akhirat.
2. Mba Annis, mas Mugi dan adek adek penyusun yang selalu memberikan doa dan dukungan dalam bentuk segalanya, semoga kebaikan kembali kepada mereka dan karirnya semakin sukses.
3. Dosen pembimbing bapak Sudarja, bapak Sukamta yang dengan sabar menyemangati dan membimbing penyusun untuk segera menyelesaikan skripsi.
4. Teman-teman yang sudah mau direpotkan ketika penyusun dalam keadaan susah, teman-teman yang selalu membantu dan mendukung penyusun dengan harapan penyusun dapat menyelesaikan studinya, teman-teman kerja Basa-basi terutama Febriyansah, Danang, Fauzan, Riki, Rizky, Ulul, Faiz, Fajar dan kepala toko Bakpiaku mba Dewi ayupuspitasari yang telah baik mengijinkan penyusun telat bekerja dan meminta waktunya untuk penyusun mengurus persyaratan sidang dan yudisium. Terimakasih sudah

memberikan bantuan, dukungan, pengetahuan, dan hiburan selama penyusun kuliah di Yogyakarta, semoga kalian panjang umur dan sukses.

5. Keluarga dan saudara yang selalu memberikan doa dan dukungan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan kesehatan, serta atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Studi Eksperimental Tentang Pola Aliran dan Fraksi Hampa Aliran Multi Komponen Dua-Fase Gas-Campuran Akuades 48%, Gliserin 50%, Butanol 2% Pada Pipa Mini Horisontal**” yang ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Aliran dua-fase pada pipa mini banyak diaplikasikan pada teknologi mikro dan peralatan yang kompak seperti pada penukar kalor fluks, rangkaian mikroelektrik, dan bioengineering. Penelitian ini dilakukan pada pipa kaca berdiameter 1,6 mm posisi horisontal menggunakan fluida gas dan campuran akuades 48%, gliserin 50%, butanol 2%. Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah karakteristik pola aliran, peta pola aliran, dan fraksi hampa yang nantinya bisa dijadikan sebagai referensi dalam perkembangan ilmu teknologi.

Penyusunan laporan ini tidak lepas dari peran, dukungan dan doa, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

6. Bapak Ir. Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
7. Bapak Dr. Ir. Sudarja, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing utama tugas akhir atas bimbingan, bantuan, dan saran-saran yang telah diberikan kepada penyusun dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Sukamta, S.T., M.T., IPM., selaku dosen pembimbing pendamping tugas akhir atas bimbingan, bantuan, dan saran-saran yang telah diberikan kepada penyusun dalam menyelesaikan skripsi ini.

9. Bapak Dr. Muhammad Nadjib, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji sidang pendadaran tugas akhir penyusun.
10. Bapak/Ibu dosen dan staff lainnya serta seluruh civitas akademika Program Studi S-1 Teknik Mesin yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman, dan bantuan kepada penyusun selama berada di lingkungan Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Penyusun menyadari bahwa banyak kekurangan dalam menuliskan laporan tugas akhir atau skripsi ini, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat dibutuhkan oleh penyusun sebagai masukan bagi penyusun untuk menyempurnakannya. Akhir kata, penyusun mengharapkan semoga laporan tugas akhir atau skripsi ini bermanfaat bagi pribadi maupun bagi para pembaca.

Yogyakarta, 5 Juni 2023

Penyusun

Ma'ruf Rughofa
NIM. 20160130101

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN.....	ii
MOTTO	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR PERSAMAAN.....	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xvii
INTISARI	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1. Tinjauan Pustaka.....	6
2.2. Landasan Teori	17
2.2.1. Fase dan Aliran Dua Fase.....	17
2.2.2. Tegangan Permukaan	18
2.2.3. Viskositas	19
2.2.4. Gliserin	20
2.2.5. Butanol	21

2.2.6. Kecepatan Superfisial.....	21
2.2.7. Pola Aliran.....	22
2.2.7.1. <i>Bubbly Flow</i>	23
2.2.7.2. <i>Slug Flow</i>	23
2.2.7.3. <i>Slug - Annular Flow</i>	23
2.2.7.4. <i>Annular Flow</i>	24
2.2.7.5. <i>Churn Flow</i>	24
2.2.8. Peta Pola Aliran.....	25
2.2.9. Fraksi Hampa	27
2.2.9.1. Metode <i>Local</i>	27
2.2.9.2. Metode <i>Chordal</i>	28
2.2.9.3. Metode <i>Cross Section</i>	28
2.2.9.4. Metode <i>Volumetric</i>	29
2.2.10. <i>Digital Image Processing</i>	29
2.2.10.1. <i>Image</i>	31
2.2.10.2. <i>Noise</i>	32
2.2.10.3. <i>Filtering</i>	33
2.2.10.4. Metode Analisis Statik.....	34
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1. Tempat Penelitian	36
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	36
3.2.1. Alat Penelitian	36
3.2.2. Bahan Penelitian.....	46
3.3. Skema Alat Uji	47
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	49
3.5. Tahapan Penelitian.....	50
3.6. Pengolahan Data	51
3.6.1. Pola Aliran dan Peta Pola Aliran.....	51
3.6.2. Fraksi Hampa	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1. Pola Aliran	55

4.1.1. Pola Aliran <i>Bubbly</i>	55
4.1.2. Pola Aliran <i>Plug</i>	58
4.1.3. Pola Aliran <i>Slug Annular</i>	60
4.1.4. Pola Aliran <i>Churn</i>	62
4.1.5. Pola Aliran <i>Annular</i>	65
4.2. Peta Pola Aliran	68
4.3. Perbandingan Peta Pola Aliran	70
4.4. Fraksi Hampa.....	73
4.4.1. Fraksi Hampa Pola Aliran <i>Bubbly</i>	73
4.4.2. Fraksi Hampa Pola Aliran <i>Plug</i>	75
4.4.3. Fraksi Hampa Pola Aliran <i>Slug Annular</i>	77
4.4.4. Fraksi Hampa Pola Aliran <i>Churn</i>	79
4.4.5. Fraksi Hampa Pola Aliran <i>Annular</i>	80
4.5. Perbandingan Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Fraksi Hampa	83
4.6. Perbandingan Fraksi Hampa Penelitian Terhadap Penelitian Terdahulu	85
BAB V PENUTUP	87
5.1. Kesimpulan	87
5.2. Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pola aliran (a) <i>Bubbly</i> , (b) <i>Slug</i> , (c) <i>Annular</i> , (d) <i>Slug – annular</i> , (e) <i>Churn</i> (Triplet dkk, 1999).....	7
Gambar 2.2. Perbandingan peta pola aliran (Triplet dkk, 1999) dengan peneliti terdahulu	8
Gambar 2.3. Bentuk pola aliran (Serizawa dkk, 2002)	8
Gambar 2.4. Peta pola aliran (Serizawa dkk, 2002)	9
Gambar 2.5. Pola aliran utama (Kawahara dkk, 2002)	9
Gambar 2.6. Grafik hubungan fraksi hampa antara pengukuran dengan homogen (Kawahara dkk, 2002).....	10
Gambar 2.7. Peta pola aliran, (a) 530 μm dan (b) 250 μm (Chung & Kawaji, 2004).....	11
Gambar 2.8. Hubungan antara fraksi hampa dan <i>volumetric quality</i> (Chung & Kawaji, 2004)	12
Gambar 2.9. Pola aliran terbentuk (a) <i>bubbly</i> , (b) <i>slug</i> , (c) <i>slug – annular</i> , (d) <i>churn</i> , (e) <i>annular</i> (Sudarja dkk, 2015)	14
Gambar 2.10. Pengaruh J _G dan J _L terhadap fraksi hampa (Sudarja dkk, 2015).....	15
Gambar 2.11. Pengaruh β terhadap ϵ . ($\epsilon = \alpha$) (Sudarja dkk, 2015)	15
Gambar 2.12. Peta pola aliran udara – air dan gliserin 40 – 70 % (Sukamta & Sudarja, 2019)	16
Gambar 2.13. Perbandingan peta pola aliran udara – air dan gliserin 40 – 70 % terhadap Anutup (Sukamta & Sudarja, 2019).....	16
Gambar 2.14. Perbandingan peta pola aliran udara – air dan gliserin 40 – 70 % terhadap Sudarja (Sukamta & Sudarja, 2019).....	17
Gambar 2.15. Kohesi pada molekul air (College Loan Consolidation, 2015)	18
Gambar 2.16. Pola aliran <i>bubbly</i> (Triplet dkk, 1999).....	23
Gambar 2.17. Pola aliran <i>slug</i> (Triplet dkk, 1999).....	23
Gambar 2.18. Pola aliran <i>slug - annular</i> (Triplet dkk, 1999).....	24

Gambar 2.19. Pola aliran <i>annular</i> (Triplet dkk, 1999).....	24
Gambar 2.20. Pola aliran <i>churn</i> (Triplet dkk, 1999)	24
Gambar 2.21. Peta pola aliran pada pipa horizontal berdiameter 100, 180 dan 324 μm (Sur & Liu, 2012)	26
Gambar 2.22. Perbandingan peta pola aliran Sudarja dkk (2014) dengan peta pola aliran Triplet dkk (1999).....	26
Gambar 2.23. Skema fraksi hampa metode <i>local</i> (Thome, 2004).....	27
Gambar 2.24. Skema fraksi hampa metode <i>chordal</i> (Thome, 2004)	28
Gambar 2.25. Skema fraksi hampa metode <i>cross section</i> (Thome, 2004)	29
Gambar 2.26. Skema fraksi hampa metode <i>volumetric</i> (Thome, 2004).....	29
Gambar 2.27. Langkah-langkah dalam <i>image processing</i> (Mayor dkk, 2007).....	30
Gambar 2.28. Contoh gambar RGB dengan aliran <i>plug</i>	31
Gambar 2.29. Contoh gambar <i>grayscale</i> dengan aliran <i>plug</i>	32
Gambar 2.30. Contoh gambar biner dengan aliran <i>plug</i>	32
Gambar 2.31. Contoh grafik <i>time average</i>	34
Gambar 2.32. Contoh <i>Probability Distribution Function</i>	35
Gambar 3.1. Kompresor	36
Gambar 3.2. Bak penampung cairan	37
Gambar 3.3. Pompa air	38
Gambar 3.4. Bejana bertekanan.....	38
Gambar 3.5. Selang	39
Gambar 3.6. <i>Mixer</i>	40
Gambar 3.7. (a) Pipa kaca, (b) <i>Test section</i>	40
Gambar 3.8. <i>Optical correction box</i>	41
Gambar 3.9. <i>Flens</i>	41
Gambar 3.10. <i>Flowmeter</i> udara A, B, dan C	42
Gambar 3.11. <i>Flowmeter</i> air A dan B	42
Gambar 3.12. <i>Gate valve</i>	44
Gambar 3.13. Lampu penerangan.....	44
Gambar 3.14. Kamera Nikon J4	45

Gambar 3.15. Cairan (a) gliserin, (b) butanol, (c) akuades	46
Gambar 3.16. Skema alat uji	47
Gambar 3.17. Diagram alir penelitian	49
Gambar 3.18. Sampel gambar RGB	52
Gambar 3.19. Sampel gambar <i>grayscale</i>	52
Gambar 3.20. Sampel gambar <i>crop</i>	52
Gambar 3.21. Sampel gambar <i>imcomplement</i>	53
Gambar 3.22. Sampel gambar <i>filtering</i>	53
Gambar 3.23. Sampel gambar <i>binarization</i>	54
Gambar 4.1. Peta pola aliran akuades 68%, gliserin 30%, butanol 2%	68
Gambar 4.2. Perbandingan peta pola penelitian ini dengan peta Triplet dkk (1999)	70
Gambar 4.3. Perbandingan peta pola penelitian ini dengan peta Sukamta & Sudarja (2019)	72
Gambar 4.4. Pengaruh kenaikan JL terhadap fraksi hampa	83
Gambar 4.5. Pengaruh kenaikan JG terhadap fraksi hampa	84
Gambar 4.6. Hubungan antara fraksi hampa hasil penelitian dengan korelasi model homogen dan penelitian terdahulu	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat fisik gliserin	20
Tabel 2.2. Sifat fisik butanol	21
Tabel 3.1. Spesifikasi kompresor	37
Tabel 3.2. Spesifikasi bak penampung cairan	37
Tabel 3.3. Spesifikasi pompa air	38
Tabel 3.4. Spesifikasi bejana bertekanan	39
Tabel 3.5. Spesifikasi <i>flowmeter</i> udara.....	43
Tabel 3.6. Spesifikasi <i>flowmeter</i> air	43
Tabel 3.7. Spesifikasi kamera Nikon J4	45
Tabel 3.8. Sifat fisik campuran fluida	46
Tabel 3.9. Sifat fisik udara	47
Tabel 4.1. Perbandingan pola aliran <i>bubbly</i> dengan nilai J_G tetap yaitu $J_G =$ 0,025 m/s dan nilai J_L bervariasi	56
Tabel 4.2. Perbandingan pola aliran <i>bubbly</i> dengan nilai J_L tetap yaitu $J_L =$ 2,297 m/s dan nilai J_G bervariasi	57
Tabel 4.3. Perbandingan pola aliran <i>plug</i> dengan nilai J_G tetap yaitu $J_G =$ 0,025 m/s dan nilai J_L bervariasi	58
Tabel 4.4. Perbandingan pola aliran <i>plug</i> dengan nilai J_L tetap yaitu $J_L =$ 0,149 m/s dan nilai J_G bervariasi	59
Tabel 4.5. Perbandingan pola aliran <i>slug annular</i> dengan nilai J_G tetap yaitu $J_G = 7$ m/s dan nilai J_L bervariasi	60
Tabel 4.6. Perbandingan pola aliran <i>slug annular</i> dengan nilai J_L tetap yaitu $J_L = 0,033$ m/s dan nilai J_G bervariasi	62
Tabel 4.7. Perbandingan pola aliran <i>churn</i> dengan nilai J_G tetap yaitu $J_G =$ 1,941 m/s dan nilai J_L bervariasi	63
Tabel 4.8. Perbandingan pola aliran <i>churn</i> dengan nilai J_L tetap yaitu $J_L =$ 0,879 m/s dan nilai J_G bervariasi	64

Tabel 4.9. Perbandingan pola aliran <i>annular</i> dengan nilai J_G tetap yaitu $J_G = 50$ m/s dan nilai J_L bervariasi	66
Tabel 4.10. Perbandingan pola aliran <i>annular</i> dengan nilai J_L tetap yaitu $J_L = 0,879$ m/s dan nilai J_G bervariasi.....	67
Tabel 4.11. Perbandingan <i>time average</i> dan PDF pola aliran <i>bubbly</i> dengan $J_L = 2,297$ m/s pada $J_G = 0,025$ dan $0,423$ m/s.....	74
Tabel 4.12. Perbandingan <i>time average</i> dan PDF pola aliran <i>plug</i> dengan $J_L = 0,149$ m/s pada $J_G = 0,116$ dan $0,423$ m/s	75
Tabel 4.13. Perbandingan <i>time average</i> dan PDF pola aliran <i>slug annular</i> dengan $J_L = 0,033$ m/s pada $J_G = 1,941$ dan $22,6$ m/s	77
Tabel 4.14. Perbandingan <i>time average</i> dan PDF pola aliran <i>churn</i> dengan $J_L = 0,879$ m/s pada $J_G = 7$ dan $9,62$ m/s.....	79
Tabel 4.15. Perbandingan <i>time average</i> dan PDF pola aliran <i>annular</i> dengan $J_L = 0,879$ m/s pada $J_G = 50$ dan $66,3$ m/s	80

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel kecepatan superfisial terbentuknya pola aliran.....	94
Lampiran 2. Hasil uji laboratorium tegangan permukaan campuran akuades, gliserin, dan butanol.....	96
Lampiran 3. Hasil uji laboratorium viskositas campuran akuades, gliserin, dan butanol.....	97
Lampiran 4. Hasil perhitungan fraksi hampa homogen dan data fraksi hampa penelitian	98
Lampiran 5. Matriks pengambilan data pola aliran.....	99

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1. Tegangan Permukaan.....	19
Persamaan 2.2. Kecepatan superfisial gas (JG).....	22
Persamaan 2.3. Kecepatan superfisial cairan (JL)	22
Persamaan 2.4. Metode <i>Local</i>	27
Persamaan 2.5. Metode <i>Chordal</i>	28
Persamaan 2.6. Metode <i>Cross Section</i>	28
Persamaan 2.7. Metode <i>Volumetric</i>	29
Persamaan 4.1. Model homogen	85
Persamaan 4.2. Korelasi Ali dkk (1993)	85
Persamaan 4.3. Korelasi Kawahara dkk (2002)	85

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

J_G	: Kecepatan superfisial gas (m/s)
J_L	: Kecepatan superfisial cairan (m/s)
Q_G	: Laju aliran gas dalam pipa (m^3/s)
Q_L	: Laju aliran cairan dalam pipa (m^3/s)
A	: Luas penampang pipa (m^2)
D	: Diameter pipa (mm)
ρ	: Massa jenis (kg/m^3)
μ	: Viskositas dinamis (mPa.s)
ν	: Viskositas kinematis (mm^2/s)
ε	: Fraksi hampa (-)
β	: Fraksi hampa homogen (-)
γ	: Tegangan permukaan (N/m)
F	: Gaya (N)
d	: Panjang permukaan (m)
L_G	: Panjang fase gas (m)
L_L	: Panjang fase cair (m)
A_G	: Luas penampang fase gas (m^2)
A_L	: Luas penampang fase cair (m^2)
V_G	: Volume fase gas (cc)
V_L	: Volume fase cair (cc)
S	: Slip rasio (-)

