

**ANALISA PENGARUH DEBIT AIR DAN UDARA SERTA KEMIRINGAN
PIPA PADA ALIRAN DUA FASE DENGAN *INSERT* SPIRAL 60⁰
TERHADAP DISTRIBUSI GELEMBUNG UDARA**



RINA PITALOKA

5315117269

**Skripsi ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana**

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2015

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Analisa Pengaruh Debit air dan Udara Serta Kemiringan Pipa
Pada Aliran Dua Fase dengan *Insert* Spiral 60⁰ Terhadap
Distribusi Gelembung Udara

Nama : Rina Pitaloka

No. Reg : 5315117269

DOSEN PEMBIMBING

NAMA	TANDA TANGAN	TANGGAL
H. Wardoyo, S.T, M.T NIP.19790818200811008 (Dosen Pembimbing I)
I Wayan Sugita, S.T, M.T NIP.197911142012121001 (Dosen Pembimbing II)

DOSEN PENGUJI

Ahmad kholil,ST.,MT. NIP.197908312005011001 (Ketua Penguji)
Ir. Yunita Sari, M.T, M.Si NIP.196806062005012001 (Sekertaris)
Ir. Nugroho Gama Yoga, M.T NIP.197602052006041001 (Dosen Ahli)

Tanggal Lulus : 17 Desember 2015

Mengetahui ,

Ketua Prodi Pendidikan
Teknik Mesin – UNJ

Ahmad Kholil,ST.,MT.
NIP.197908312005011001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa :

Nama : Rina Pitaloka

No. Reg : 5315117269

Adalah benar menulis skripsi ini dengan gagasan sendiri dan melakukan penelitian sesuai dengan arahan dosen pembimbing skripsi. Dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Demikian lembar pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh. Apabila kemudian ditemukan bukti kuat bahwa skripsi ini tidak asli seperti pernyataan diatas, maka penulis bersedia menerima hukuman yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Desember 2015

Rina Pitaloka

ABSTRAK

Rina pitaloka, Analisa Pengaruh Debit Air dan Udara serta Kemiringan Pipa Pada Aliran Dua Fase dengan *Insert* Spiral 60⁰ Terhadap Distribusi Gelembung Udara, Skripsi, Jakarta : Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Desember 2015.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan kemiringan, penambahan debit air dan penambahan debit udara terhadap distribusi dan karakteristik gelembung udara pada aliran dua fasa yaitu fasa cair dan fasa gas. Penambahan debit air sebesar 1,5 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit. Penambahan debit udara sebesar 0,2 liter/menit, 0,4 liter/menit dan 0,6 liter/menit. Perubahan sudut kemiringan sebesar 10⁰.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu menentukan alat dan bahan yang digunakan, mengatur alat dengan posisi kemiringan 0⁰ - 90⁰ dengan perubahan 10⁰. Pengambilan data berupa foto karakteristik dan distribusi gelembung udara, penurunan tekanan, penggabungan antara hasil hitung penurunan tekanan menggunakan empat macam korelasi dengan data eksperimen.

Kata kunci: *aliran dua fase, penurunan tekanan, distribusi gelembung udara, dan korelasi penghitungan pressure drop.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa terpanjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Analisa Pengaruh Debit Air dan Udara serta Kemiringan Pipa pada Aliran Dua Fase dengan *Insert* Spiral 60⁰ Terhadap Distribusi Gelembung Udara”.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis mendapatkan kesulitan-kesulitan, akan tetapi berkat hidayah-Nya serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak maka kesulitan tersebut teratasi dan menyelesaikan skripsi ini. Pihak-pihak yang telah membimbing, mendukung dan membantu. Penulis mengucapkan terima kepada :

1. Bapak Ahmad Kholil, S.T, MT., selaku Ketua Program Studi S-I Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.
2. Bapak Ir. Nugroho Gama Yoga, MT., selaku Sekertaris Program Studi Pendidikan Teknik Mesin.
3. Bapak H. Wardoyo, S.T,M.T, selaku dosen pembimbing I
4. Bapak I Wayan Sugita, S.T,M.T, selaku dosen pembimbing II
5. Bapak Eko Arif Syaefudin, S.T,M.T selaku pembimbing akademik.

6. Kedua orang tua penulis, Bapak Sugeng Santoso dan Ibu Titi Rahmawati yang telah memberi dukungan, nasihat yang selalu menjadi motivasi penulis untuk menyelesaikan skripsi.
7. Seluruh dosen, karyawan dan keluarga besar Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
8. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penulisan skripsi ini dari awal sampai akhir yang tidak disebutkan dalam tulisan ini.
9. Teman-teman Nrb Mesin 2011 dan Gifari Mihsan Fadhil yang telah memberikan motivasi dan solusi dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis sangat menyadari akan keterbatasan dari penulis sehingga skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun sangat penulis harapkan. Harapan penulis adalah skripsi ini dapat menjadi sumbangan pemikiran yang bermanfaat.

Jakarta, Desember 2015

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK	iii
LEMBAR PERNYATAAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
LAMPIRAN	xiv
BAB IPENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI	6
2.1 Aplikasi Aliran Dua Fasa	6
2.2 Pola Aliran dalam Pipa Vertikal	8

2.3	Pola Aliran dalam Pipa Horisontal	10
2.4	Metode Analisa Aliran Dua Fasa	12
2.5	Pendekatan Distribusi Gelembung Udara	13
2.6	Konfigurasi Aliran	17
2.7	Penurunan Tekanan	21
2.8	Korelasi Penurunan Tekanan	23
2.9	Bilangan <i>Reynolds</i>	25
2.10	Klasifikasi <i>Channel</i>	26
2.11	Kerangka Berpikir	27
2.12	Hipotesis	27
BAB III METODE PENELITIAN		28
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.2	Metode Penelitian	29
3.3	Bahan Yang Digunakan	29
3.4	Alat Yang Digunakan	30
3.5	Proses Penelitian	31
3.6	Variabel Penelitian	32
3.7	Analisis Data	33
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISA		34
4.1	Penambahan Debit Udara	35
4.1.1	Pengaruh Penambahan Debit Udara Terhadap Distribusi Gelembung Udara dengan Debit Air Tetap dan Kemiringan Sudut Tetap	35

4.2	Penambahan Debit Air	44
4.2.1	Pengaruh Penambahan Debit Air Terhadap Distribusi Gelembung Udara dengan Debit Udara Tetap dan Kemiringan Sudut Tetap.....	44
4.3	Pengaruh Kemiringan Pipa.....	47
4.3.1	Pengaruh Kemiringan Pipa dengan Perubahan Sudut 10^0 Terhadap Distribusi Gelembung Udara pada Debit Air dan Udara Tetap	47
4.4	Penurunan Tekanan.....	52
4.5	Penghitungan Penurunan Tekanan dengan Korelasi	56
4.6	Data Eksperimen dengan Hasil Penghitungan Korelasi	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran Dua Fasa pada Pipa Vertikal	9
Gambar 2.2 Aliran Dua Fasa pada Pipa Horisontal	11
Gambar 2.3 Visualisasi dari <i>bubbly flow</i> pada pipa uji vertikal dengan ketinggian 0,35 m di atas <i>bubble injector</i> untuk $Re_{SL} = 13497$ ($U_{SL} = 0,3$ m/s) dan $Re_{SL} = 22494$ ($U_{SL} = 0,5$ m/s).....	14
Gambar 2.4 Visualisasi dari <i>bubbly flow</i> pada pipa uji vertikal dengan ketinggian 0,35 m di atas <i>bubble injector</i> untuk $Re_{SL} = 31492$ ($U_{SL} = 0,7$ m/s), $Re_{SL} = 40490$ ($U_{SL} = 0,9$ m/s), dan $Re_{SL} = 49488$ ($U_{SL} = 1,1$ m/s)15	15
Gambar 3.1 Skema Seksi Uji	29
Gambar 4.1 Pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 10^0 , debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit	35
Gambar 4.2 Pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 10^0 , debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,4 liter/menit	36
Gambar 4.3 Pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 10^0 , debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit	37
Gambar 4.4 Pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 50^0 , debit air 3 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit	38
Gambar 4.5 Pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 50^0 , debit air 3 liter/menit dan debit udara 0,4 liter/menit.....	39
Gambar 4.6 Pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 50^0 , debit air 3 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit.....	40

Gambar 4.7	Pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 80° , debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit	41
Gambar 4.8	Pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 80° , debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,4 liter/menit	42
Gambar 4.9	Pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 80° , debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit	43
Gambar 4.10	Pengaruh penambahan debit air pada gelembung udara pada sudut 40° , debit udara 0,2 liter/menit dan debit air 1,5 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit	44
Gambar 4.11	Pengaruh penambahan debit air pada gelembung udara pada sudut 60° , debit udara 0,4 liter/menit dan debit air 1,5 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit.....	45
Gambar 4.12	Pengaruh penambahan debit air pada gelembung udara pada sudut 90° , debit udara 0,6 liter/menit dan debit air 1,5 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit	46
Gambar 4.13	Pengaruh kemiringan pipa dengan perubahan 10° terhadap distribusi gelembung udara dengan debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit.....	47
Gambar 4.14	Pengaruh kemiringan pipa dengan perubahan 10° terhadap distribusi gelembung udara dengan debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi <i>channel</i>	26
Tabel 3.1 Alokasi waktu penelitian	28

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Pengaruh perubahan sudut spesimen uji dengan debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit, 0,4 liter/menit dan 0,6 liter/menit.....	53
Grafik 4.2 Pengaruh perubahan sudut spesimen uji dengan debit air 3 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit, 0,4 liter/menit dan 0,6 liter/menit.....	54
Grafik 4.3 Pengaruh perubahan sudut spesimen uji dengan debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit, 0,4 liter/menit dan 0,6 liter/menit.....	55
Grafik 4.4 Penurunan tekanan hasil korelasi dengan data eksperimen pada sudut 0°	60
Grafik 4.5 Penurunan tekanan hasil korelasi dengan data eksperimen pada sudut 40°	61
Grafik 4.6 Penurunan tekanan hasil korelasi dengan data eksperimen pada sudut 90°	62

LAMPIRAN

Lampiran-1	Foto-foto distribusi gelembung udara	69
Lampiran-2	Tabel <i>properties</i>	97
Lampiran-3	Tabel penghitungan korelasi	99
Lampiran-4	Tabel penurunan tekanan	104

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aliran fluida sering dijumpai pada kehidupan sehari-hari, hal ini dapat dilihat pada aliran saluran pembuangan, aliran semen dan pasir dalam pipa dan lainnya. Aliran fluida dapat dibedakan menjadi aliran satu fase dan aliran *multiphase*. Aliran *multiphase* yang dimaksud ialah aliran dua fase, serta aliran tiga fase. Penelitian ini mengkonsentrasikan pada aliran dua fase.

Aliran dua fase dibedakan menjadi beberapa bagian yang dapat dilihat dari fase yang menyertainya, arah aliran dan kedudukan *channel* nya. Dilhat dari fase yang menyertainya, yaitu aliran dua fase cair-padat, cair-gas dan gas-padat. Berdasarkan arah aliran, aliran dua fase dibedakan menjadi aliran searah dan aliran berlawanan. Aliran dua fase juga dibedakan menurut kedudukan *channelnya*, yaitu tegak, miring dan mendatar.

Penurunan tekanan pada aliran dua fase sangat berbeda dengan aliran satu fase. Pada aliran satu fase penurunan tekanan hanya dipengaruhi oleh *Reynolds number* yang merupakan fungsi dari viskositas, berat jenis fluida dan diameter pipa. Pada aliran dua fase penurunan tekanan dipengaruhi oleh interaksi antarfase, pengaruh deformasi permukaan, pergerakan fluida, pengaruh ketidakseimbangan fase dan perubahan pola aliran.

Aliran dua fase (cair-gas) dan penurunan tekanan pada aliran dua fase memiliki ketertarikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut. Hal ini dilakukan

untuk mengetahui hal apa saja yang mempengaruhi penurunan tekanan, karakteristik-karakteristik pada aliran dua fase dan pengaruhnya terhadap pola distribusi gelembung udara pada aliran dua fase (cair-gas).

Orzya S.H (2014) melakukan penelitian aliran dua fase (cair – gas) berjudul “Studi Eksperimental Penurunan Tekanan Aliran Dua Fase (Cair dan Gas) Dengan Pola Aliran Gelembung Pada Sudut $0^0 - 90^0$ ” yang berkonsentrasi meneliti *pressure drop*, fraksi hampa dan karakteristik gelembung udara. Penelitian tersebut menggunakan kemiringan pipa $0^0 - 90^0$ dengan perubahan sudut 10^0 , tanpa *insert* pegas spiral, debit air 2 liter/menit, 4 liter/menit dan 6 liter/menit serta debit udara 0,2 liter/menit, 0,6 liter/menit dan 0,6 liter/menit. Hasil penelitian adalah gelembung udara tidak menyebar dan hanya berada pada dinding *tube*, kemiringan pipa mempengaruhi jumlah dan bentuk gelembung udara serta fraksi hampa dipengaruhi dari perubahan debit air dan udara.

Ahmad A. (2014) melakukan penelitian aliran dua fase (cair-gas) berjudul “Studi Eksperimental *Pressure Drop* aliran Gelembung (Air-Udara) Pada Berulir Dalam Dengan Kemiringan Sudut $0^0 - 50^0$ ” yang berkonsentrasi meneliti *pressure drop* pada aliran dua fase (cair-gas) dan bentuk aliran gelembung udara. Penelitian tersebut menggunakan kemiringan pipa $0^0 - 50^0$ dengan perubahan sudut 10^0 , *insert* pegas spiral 45^0 , debit air 2 liter/menit, 4 liter/menit dan 6 liter/menit serta debit udara 0,2 liter/menit, 0,4 liter/menit dan 0,6 liter/menit. Hasil penelitian adalah *pressure drop* aliran gelembung dipengaruhi oleh perubahan debit air dan debit udara serta perubahan gelembung udara dipengaruhi oleh debit udara dan air.

Informasi yang diberikan pada penelitian sebelumnya mengenai pola distribusi gelembung udara menjadikan dasar dari penelitian ini untuk menambah ruang lingkup penelitian dengan pengembangan menggunakan *insert* pegas spiral 60^0 , variasi debit air dan udara, dan variasi kemiringan pipa $0^0 - 90^0$ dengan perubahan sudut 10^0 untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pola distribusi gelembung udara dan *pressure drop* pada aliran dua fase (cair-gas).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat teridentifikasi beberapa masalah, diantaranya :

1. Bagaimana pengaruh kemiringan pipa terhadap distribusi gelembung udara pada aliran dua fase?
2. Bagaimana pengaruh kemiringan pipa dengan variasi sudut kemiringan terhadap penurunan tekanan pada aliran dua fase?
3. Bagaimana pengaruh debit udara terhadap pola aliran gelembung udara pada aliran dua fase?
4. Bagaimana pengaruh debit air terhadap pola aliran gelembung udara pada aliran dua fase?

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya cakupan materi dan keterbatasan dari segi waktu, kesempatan dan kemampuan peneliti, maka peneliti membatasi penelitian ini. Sehingga penelitian ini hanya membahas tentang :

1. Bagaimana pengaruh variasi kemiringan pipa terhadap distribusi gelembung udara dan penurunan tekanan pada aliran dua fase?

2. Bagaimana pengaruh debit air dan debit udara terhadap distribusi gelembung udara dan pola aliran gelembung udara pada aliran dua fase?

1.4 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah di atas, maka perumusan masalahnya adalah “Bagaimana Pengaruh variasi kemiringan pipa, debit air dan debit udara terhadap distribusi gelembung udara dengan aplikasi *insert* pegas spiral sudut 60^0 dengan perubahan kemiringan pipa 10^0 pada aliran dua fase?”.

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh debit air dan debit udara terhadap distribusi gelembung udara
2. Mengetahui pengaruh kemiringan pipa terhadap pola distribusi gelembung udara pada aliran dua fase.
3. Mengetahui pola distribusi gelembung udara yang terbentuk pada aliran dua fase dengan *insert* pegas spiral 60^0 .

1.6 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk referensi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pola distribusi gelembung udara dan penurunan tekanan pada aliran dua fase dengan menggunakan variasi kemiringan pipa dalam penelitiannya.

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Aplikasi Aliran Dua Fasa

Aliran dua fase gas-cairan merupakan cabang ilmu dari mekanika fluida yang mempelajari aliran antara dua fasa zat yaitu fasa cairan dan fasa gas. Aplikasi aliran dua fase terdapat pada sistem perpipaan pada pembangkit listrik tenaga panas bumi, pembangkit listrik tenaga uap, reaktor nuklir, dan lain-lain. Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) memanfaatkan tenaga panas bumi selama pengoperasiannya. Fluida kerjanya adalah air dan uap air yang mengalir secara bersamaan pada saluran tertutup yang berfungsi untuk menggerakkan sudu turbin.

Aliran dua fase banyak di jumpai dalam peralatan mekanik yang melibatkan fluida, terutama fluida yang mengalami proses pemanasan atau pendinginan sehingga mengalami perubahan fase. Proses perubahan fasa ini menghasilkan aliran dua fase yang terdiri dari fase zat awal dan fase zat setelah proses pemanasan atau pendinginan.

Aliran dua fase juga memiliki dampak terhadap media yang dilalui. Kavitasasi merupakan salah satu dampak yang sering muncul, kavitasasi merupakan fenomena perubahan fase uap dari zat cair pada fluida yang mengalir. Perubahan tersebut diakibatkan turunnya tekanan maupun naiknya temperatur. Kavitasasi dapat

terjadi di *suction* pompa, sudu pompa maupun di pipa. Indikasi kavitasi adalah timbulnya gelembung-gelembung uap, suara bising maupun vibrasi. Efek kavitasi pada pompa adalah turunnya unjuk kerja dan akibat lanjutan kavitasi pada casing dan sudu menimbulkan lubang-lubang pada dinding *casing* maupun permukaan sudu.¹

Knapp (Karassik dkk, 1976) menemukan bahwa mulai terbentuknya gelembung sampai gelembung pecah memerlukan waktu sekitar 0,003 detik. Gelembung ini akan terbawa aliran fluida sampai akhirnya berada pada daerah yang mempunyai tekanan lebih besar dari pada tekanan uap jenuh cairan. Pada daerah tersebut gelembung tersebut akan pecah dan akan menyebabkan *shock* pada dinding di dekatnya. Cairan akan masuk secara tiba-tiba ke ruangan yang terbentuk akibat pecahnya gelembung uap tadi sehingga mengakibatkan tumbukan. Peristiwa ini akan menyebabkan terjadinya kerusakan mekanis pada pompa sehingga dapat menyebabkan dinding berlubang. Peristiwa ini disebut erosi kavitasi sebagai akibat dari tumbukan gelembung-gelembung uap yang pecah pada dinding secara terus-menerus.

Aliran multifasa merupakan fenomena kompleks yang dipengaruhi oleh banyak faktor. Debit cairan dan gas akan berpengaruh pada bentuk atau geometri aliran dua fase sehingga membentuk pola aliran (*flow pattern*). Aliran dua fase merupakan bagaian dari aliran multifasa. Dilihat dari wujud fasanya, dapat dibedakan menjadi 3 bagian, yaitu (a) aliran gas – cair, (b) aliran cair – padat dan

¹Jenny Delly, *Pengaruh Temperatur Terhadap Terjadinya Kavitasi Pada Sudu Pompa Sentrifugal* (Kendari: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Haluoleo), halaman 1.

(c) aliran padat – gas. Secara umum pola aliran dua fase dalam pipa dibagi menjadi dua bagian yaitu aliran vertikal dan horisontal.

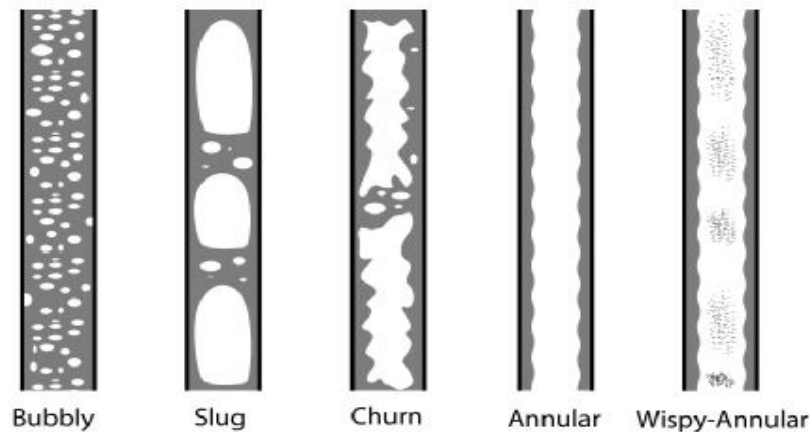
2.2 Pola Aliran dalam Pipa Vertikal

Untuk aliran ke atas gas dan cair dalam pipa vertikal, fase cair dan gas terdistribusi ke dalam beberapa struktur aliran yang dapat diamati. Struktur aliran ini dideskripsikan sebagai berikut :

- a. Aliran gelembung (*bubbly flow*) : beberapa gelembung dapat diamati sebagai gas yang terpecah-pecah dalam bentuk gelembung – gelembung kecil dalam fasa cair kontinu. Gelembung-gelembung ini mempunyai ukuran dan bentuk yang bervariasi tetapi memiliki kekhasan berbentuk seperti bola dan lebih kecil dari diameter pipa itu sendiri.
- b. Aliran sumbat cair (*slug flow*): dengan peningkatan fraksi hampa gas, jarak dari gelembung-gelembung sangat dekat seperti gelembung-gelembung tersebut bertubrukan dan bersatu membentuk gelembung-gelembung yang lebih besar, yang sama dalam dimensi dengan diameter pipa. Gelembung dipisahkan dari satu dengan yang lainnya oleh sumbat cair, yang terdapat gelembung-gelembung kecil.
- c. Aliran acak (*churn flow*): peningkatan kecepatan aliran, struktur aliran menjadi tidak stabil dengan fluida mengalir keatas dan kebawah dalam gerak osilasi tetapi dengan aliran netto keatas. Ketidakstabilan adalah hasil dari keseimbangan relatif dari gaya gravitasi dan gaya geser yang berlaku dalam arah yang berlawanan pada film tipis fluida gelembung. Dalam pipa

berdiameter kecil, aliran acak mungkin tidak berkembang sama sekali dan aliran secara langsung melewati dari aliran sumbat cair ke aliran cincin.

- d. Aliran cincin (*annular flow*): pergeseran permukaan dari gas berkecepatan tinggi pada film cair menjadi dominan melebihi gaya gravitasi, cairan mendorong keluar dari bagian tengah pipa dan mengalir sebagai film tipis pada dinding (berbentuk cincin cair) ketika aliran gas sebagai fasa kontinu naik dari bagian tengah pipa. Permukaan diganggu oleh gelombang berfrekuensi tinggi dan riak-riak. Sehingga, cairan berubah menjadi inti gas sebagai tetesan-tetesan kecil, sangat banyak sehingga fraksi cair menjadi sama ke dalam tetesan-tetesan dalam film.
- e. Aliran cincin kabut tetes cair (*mist flow*): Ketika laju aliran meningkat lebih jauh, perubahan tetesan-tetesan membentuk struktur tidak tetap koheren sebagai awan atau embun dari cair dalam inti uap.



Gambar 2.1 Aliran dua fasa pada pipa vertikal ²

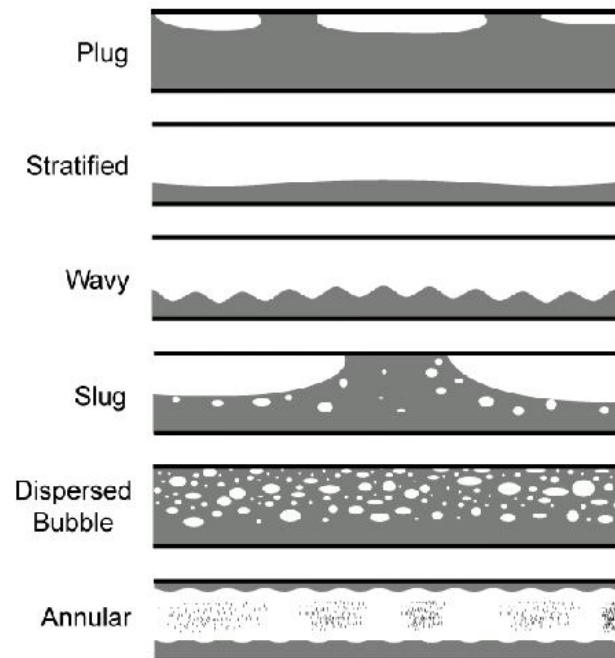
² A.J.Ghajar, *No-Boiling Heat Transfer in Gas-Liquid Flow in Pipes-a Tutorial* (USA : School of Mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State University), halaman 50.

2.3 Pola Aliran dalam Pipa Horisontal

Pada aliran horisontal, campuran antara gas kecepatan yang tinggi dengan cairan debit yang rendah akan menghasilkan pola aliran *annular*. Pola *annular* merupakan salah satu contoh kategori pola aliran gas dan cair dalam pipa horisontal. Pola aliran dua fasa pada pipa horisontal hampir sama dengan aliran pada pipa vertikal, hanya pada aliran horisontal dipengaruhi faktor gravitasi yang cenderung mendorong cairan ke dasar *channel* dan gas ke bagian atas. Pola aliran gas dan cair dalam pipa horisontal dapat dikategorikan sebagai berikut :

- a. Aliran strata licin (*stratified*): ketika kecepatan gas makin tinggi maka kantung gas yang terbentuk akan makin besar dan terjadi separasi antara fasa cair dan gas dengan gas pada bagian atas dan cair pada bagian bawah.
- b. Aliran strata gelombang (*stratified wavy*): ketika pada aliran strata licin kecepatan makin tinggi maka aliran akan terbentuk gelombang pada aliran cair.
- c. Aliran sumbat cair (*slug*): ketika gelombang yang terbentuk makin besar maka bagian cair akan menempel pada dinding bagian atas dan akan terjadi lagi kantung gas yang relatif besar dinamakan aliran sumbat cair.
- d. Aliran cincin (*annular*): pada saat kecepatan gas sudah lebih tinggi bagian cair yang menempel di dinding atas makin banyak dan menjadikan pola alirannya terbentuk cincin. Sama seperti pada aliran vertikal, hanya pada aliran horisontal bagian cair yang menempel pada dinding bagian bawah *channel* lebih banyak.

- e. Aliran gelembung (*bubble*) : formasi gelembung kecil seragam yang terbentuk terjadi pada bagian atas pipa dan cairan tetap terdorong ke bawah karena faktor gravitasi. Ketika gaya geser lebih dominan, gelembung-gelembung cenderung terpecah-pecah secara seragam dalam pipa.
- f. Aliran kantung gas : Gelembung-gelembung akan berdesakan dan membentuk gelembung yang lebih besar/kantung gas pada bagian atas *channel*.
- g. Aliran kabut : Sama seperti pada aliran vertikal. Ketika kecepatan makin tinggi, terbentuk aliran kabut pada aliran dan didominasi fasa gas.



Gambar 2.2 Aliran dua fasa pada pipa horisontal³

³A.J.Ghajar, *No-Boiling Heat Transfer in Gas-Liquid Flow in Pipes-a Tutorial* (USA : School of Mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State University), halaman 50. .

2.4 Metode Analisa Aliran Dua Fasa

Metode yang digunakan untuk menganalisa aliran dua fasa merupakan pengembangan dari metode penelitian satu fasa yang sudah ada. Caranya selalu dengan menurunkan persamaan dasar yang berhubungan dengan konservasi massa, momentum dan energi. Dalam mencari persamaan-persamaan tersebut biasanya dilakukan pendekatan-pendekatan penyerdahaan. Beberapa pendekatan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Metode Aliran *Homogeneous*

Pendekatan dengan metode ini merupakan yang paling sederhana. Pada pendekatan ini aliran di asumsikan sebagai aliran satu fasa saja dengan properti yang didapat dari gabungan dan besaran kontribusi masing-masing fasa. Salah satu asumsi untuk metode *homogeneous* ini adalah kecepatan aliran antara fasa cair dan fasa gas dianggap sama.

b. Metode Aliran *Separated* atau terpisah

Pendekatan dengan metode ini, masing-masing fasa diasumsikan secara terpisah dan memiliki properti sendiri-sendiri. Karakteristik masing-masing fasa harus tersedia. Terutama luas area masing-masing fasa dan interaksi gesekan antar fasa maupun gesekan antar fluida dengan dinding kanal. Kecepatan aliran kedua fasa dianggap konstan tetapi tidak sama.

c. Metode Aliran *Flow Pattern*

Pendekatan ini lebih rumit. Aliran dua fasa di susun dalam 1 dari 3 atau 4 bentuk geometri yang pasti. Geometri ini didasarkan pada berbagai konfigurasi atau pola aliran yang ditemukan ketika fasa gas dan cair mengalir bersama dalam kanal.

2.5 Pendekatan Distribusi Gelembung Udara

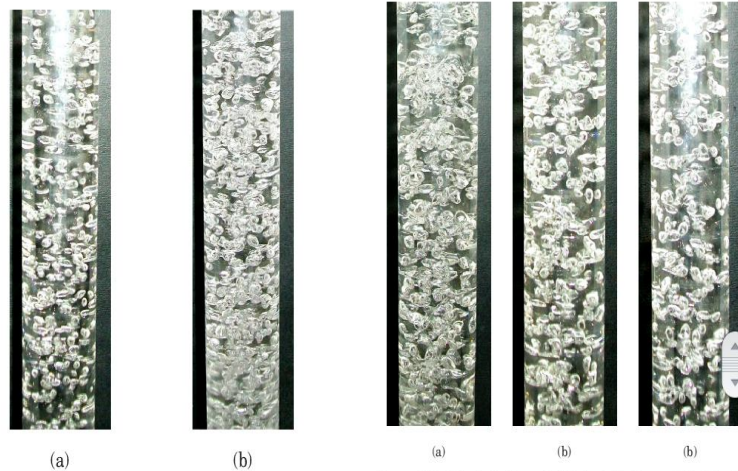
Ekperimen mengenai distribusi gelembung udara sudah banyak dilakukan untuk mengetahui arah aliran gelembung dan distribusi gelembung udara pada penampang pipa. Dalam penelitian aliran dua fase secara eksperimen, aliran *bubbly flow* pada pipa uji vertikal secara umum dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu ⁴:

1. *clustered bubbly flow* pada *volumetric gas quality* (β) rendah
2. *Homogenous bubbly flow* pada *volumetric gas quality* (β) menengah
3. *Dense bubbly flow* pada *volumetric gas quality* (β) tinggi

Priyo H.A (2010) dalam penelitian aliran dua fase secara eksperimen peralatan yang digunakan terdiri dari tangki air, pompa sentrifugal, sistem aliran, *water accumulator*, *test section*, gas-cairan separator dan *gas supply system*. *Test section* terbuat dari pipa akrilik dengan diameter dalam 36 mm dan panjang tiap vertikal adalah 2 mm. Air dan udara akan bercampur dalam *test section*. Udara dari kompresor akan diinjeksikan ke *test section* melalui injektor udara yang berbentuk annular dengan 32 lubang dengan diameter dalam 710 μm . Laju alir cairan akan diukur menggunakan “*Doppler*” *flow meter* dan laju alir gas akan diukur dengan menggunakan rotameter tipe pelampung. Untuk mengetahui temperatur udara menggunakan *termocouple* yang terpasang pada *outlet* dari rotameter. Ekperimen akan dilakukan dengan variasi kecepatan superficial cairan antara 0,3–1,1 m/s dan kualitas volumetrik gas antara 0,05–0,2 diduga akan menghasilkan karakteristik *flow pattern* yang berbeda pada pipa vertikal.

⁴Priyo Heru Adiwibowo, *Karakteristik Flow Pattern Pada Aliran Dua Fase Gas-Cairan Melewati Pipa Vertikal* (Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya), halaman 3.

Pengamatan visual dari *bubbly flow* dengan menggunakan kamera digital pada ketinggian 0,35 m di atas *bubble injector*.



$$Re_{SL} = 13497, \beta = 0,11 \quad Re_{SL} = 13497, \beta = 0,2$$

Gambar 2. Visualisasi dari *bubbly flow* pada pipa uji vertikal dengan ketinggian 0,35 m di atas *bubble injector* untuk $Re_{SL} = 13497$ ($U_{SL} = 0,3$ m/s)

$$Re_{SL} = 22494, \beta = 0,07 \quad Re_{SL} = 22494, \beta = 0,11 \quad Re_{SL} = 22494, \beta = 0,2$$

Gambar 3. Visualisasi dari *bubbly flow* pada pipa uji vertikal dengan ketinggian 0,35 m di atas *bubble injector* untuk $Re_{SL} = 22494$ ($U_{SL} = 0,5$ m/s)

Gambar 2.3 visualisasi dari *bubbly flow* pada pipa uji vertikal dengan ketinggian 0,35 m di atas *bubble injector* untuk $Re_{SL} = 13497$ ($U_{SL} = 0,3$ m/s) dan $Re_{SL} = 22494$ ($U_{SL} = 0,5$ m/s)

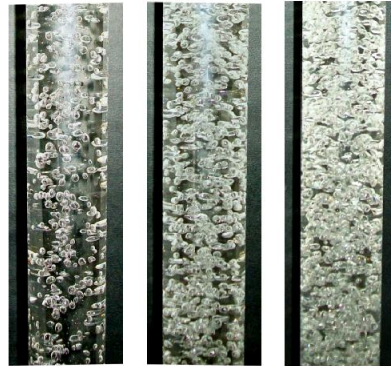


$$Re_{SL} = 31492, \beta = 0,05 \quad Re_{SL} = 31492, \beta = 0,11 \quad Re_{SL} = 31492, \beta = 0,2$$

Gambar 4. Visualisasi dari *bubbly flow* pada pipa uji vertikal dengan ketinggian 0,35 m di atas *bubble injector* untuk $Re_{SL} = 31492$ ($U_{SL} = 0,7$ m/s)

$$Re_{SL} = 40490, \beta = 0,05 \quad Re_{SL} = 40490, \beta = 0,11 \quad Re_{SL} = 40490, \beta = 0,2$$

Gambar 5. Visualisasi dari *bubbly flow* pada pipa uji vertikal dengan ketinggian 0,35 m di atas *bubble injector* untuk $Re_{SL} = 40490$ ($U_{SL} = 0,9$ m/s)



(a) $Re_{SL} = 49488, \beta = 0,05$ (b) $Re_{SL} = 49488, \beta = 0,11$ (c) $Re_{SL} = 49488, \beta = 0,2$
Gambar 6. Visualisasi dari *bubbly flow* pada pipa uji vertikal dengan ketinggian 0,35 m di atas *bubble injector* untuk $Re_{SL} = 49488$ ($U_{SL} = 1,1$ m/s)

Gambar 2.4 visualisasi dari *bubbly flow* pada pipa uji vertikal dengan ketinggian 0,35 m di atas *bubble injector* untuk $Re_{SL} = 31492$ ($U_{SL} = 0,7$ m/s), $Re_{SL} = 40490$ ($U_{SL} = 0,9$ m/s), dan $Re_{SL} = 49488$ ($U_{SL} = 1,1$ m/s).

Dari hasil visualisasi diperoleh karakteristik *flow pattern* yang berupa *bubbly flow* yang dapat diklasifikasikan dalam beberapa grup, yaitu :

1. *Clustered bubbly flow*

Jenis aliran ini terjadi pada kecepatan superficial cairan yang tinggi dengan kualitas volumetrik gas yang rendah seperti yang di tunjukkan pada gambar 5(a) dan 6(a). Fasa gas (*bubble*) yang terbentuk berkelompok cairan yang medium pada beberapa tempat di *radial cross-section* dari pipa. Dengan kata lain distribusi *bubble* tidak simetris pada sumbu vertikal dari pipa pada beberapa ketinggian dan *bubble clusters* terkonsentrasi pada beberapa lokasi.

2. *Dense bubbly flow*

Pada jenis aliran ini terjadi pada setiap kecepatan superficial cairan dengan kualitas volumetrik gas yang tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2(b),

3(c), 4(c), 5(c), 6(c). Seluruh area yang melintang dari pipa dipenuhi *bubbles*, tetapi belum terbentuk koalisi dari *bubble-bubble* yang disebut *elongated bubbles*.

3. *Homogeneous bubbly flow*

Jenis aliran ini terjadi pada setiap kecepatan superficial cairan dengan kualitas volumetrik gas yang medium seperti yang ditunjukkan pada gambar 2(a), 3(b), 4(b), 5(b), 6(b). Jumlah dari *bubbles* menjadi lebih banyak dari *bubbles* yang terbentuk uniform sepanjang *radial cross-section* dari pipa pada beberapa ketinggian. Dan juga terlihat ukuran *bubble* menjadi lebih besar.

2.6 Konfigurasi Aliran

Airan gas-cair dapat mengambil berbagai konfigurasi geometris yang dikenal sebagai pola aliran. Pola-pola aliran yang melintasi *Tube Bundle* terdapat 5 macam, yaitu:

a. *Bubbly Flow*

Pola *bubbly flow* pada aliran vertikal kebawah dikarakteristikan secara khusus oleh aliran gelembung gas melalui distribusi media cair yang kontinyu disekitar sumbu / poros pipa dan jauh dari dinding. Jadi penurunan tekanan akibat gesekan pada aliran gelembung pada dasarnya dikarenakan gesekan dari cairan satu fasa yang kontak dengan dinding pipa dan lagi slip yang terjadi pada permukaan gas cair dan turbulen disebabkan oleh gelembung yang terpecah-pecah/buyar pada media cair yang kontinyu. Hal ini nampak bahwa penurunan tekanan dua fasa akibat gesekan mencapai penurunan tekanan yang akan terjadi dengan asumsi hanya cairan fasa tunggal yang mengalir melalui pipa, dengan peningkatan

bilangan cairan superfisial Reynold (Re_{sl}) dan penurunan bilangan gas superfisial Reynold (Re_{sg}) atau dengan kata lain dengan penurunan fraksi hampa.

Analisis data penurunan tekanan akibat gesekan, bentuk non dimensi dari penurunan tekanan akibat gesekan dua fasa didefinisikan sebagai rasio antara penurunan tekanan akibat gesekan dua fasa dengan satu fasanya dibandingkan dengan diplot terhadap peningkatan bilangan gas superfisial Reynolds. Hal ini nampak bahwa rasio ini seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1) mencapai kesatuan untuk semua nilai konstan dari semua bilangan Reynold nilai superfisial cairan dan dengan penurunan gas superfisial bilangan Reynold. Penurunan tekanan dua fase non dimensional akibat gesekan digunakan pada penelitian ini dan didefinisikan sebagai berikut:

$$\Phi = \left(\frac{(\frac{\Delta P}{L})_{f, tp}}{(\frac{\Delta P}{L})_l} \right) \quad (2.1)$$

Dimana:

Φ = Penurunan Tekanan Dua Fase

ΔP = Penurunan Tekanan (Pa)

L = Panjang Pipa (m)

f = Gesekan

l = Cair

m = Campuran

tp = Dua Fase

Sejak adanya pengabaian slip antara nilai rendah dua fasa fraksi hampa, Gelembung kini dapat dikira-kira sebagai aliran yang homogen dan karenanya

potongan permukaan antara dua fasa dapat diabaikan. Namun, ini adalah sebuah perkiraan dan bukan sebuah formulasi yang akurat.

b. *Slug Flow*

Pola *slug flow* dicirikan dengan menyelingi slug gas mengalir melalui pipa menciptakan efek memalu pada kran penekan. Pengukuran eksperimental terhadap penurunan tekanan akibat gesekan pada rezim aliran *slug* sedikit lebih sulit dan pengukuran mengalami fluktuasi data karena getaran alami aliran slug/siput. Penurunan tekanan akibat gesekan pada aliran *slug* diteliti pertama kali untuk meningkatkan kemudian menurunkan dengan peningkatan laju aliran gas. Bilangan Reynolds mencapai 600, penurunan tekanan akibat gesekan meningkat untuk semua bilangan Reynolds cairan superfisial yang konstan dengan pengecualian $Re_{sl} = 5500$, setelah itu menitik kebawah hingga $Re_{sl} = 1000$ dan meningkat lagi. Anomali ini dalam perbandingannya terhadap pola aliran lain dipertimbangkan untuk menjadi akibat atas keseimbangan gravitasi, inersia/kelambanan/gaya semu dan kekuatan daya apung mempengaruhi *slug flow* pada aliran vertikal kebawah dari fenomena ini.

Namun, data kecenderungan penurunan tekanan akibat gesekan pada rezim *slug* ini tidak dapat diverifikasi dengan data dari literatur karena kelangkaan data penurunan tekanan pada aliran rezim slug dan oleh karena itu tidak ada pernyataan pembenaran yang bisa dibuat. Walaupun kecenderungan penurunan akibat tekanan untuk aliran *slug* berbeda dengan pola aliran lainnya, ada sebuah konsistensi dan bentuk sistematis dalam mengukur data penurunan tekanan pada bilangan reynolds superfisial cair yang berbeda. Ini diduga bahwa ketidakyakinan

yang tinggi dilaporkan lebih awal pada pekerjaan ini juga dipengaruhi oleh fenomena aliran slug pada laju aliran yang berbeda. Uji eksperimen yang lebih banyak dibutuhkan untuk penurunan tekanan akibat gesekan pada rezim *slug flow*.

c. *Froth Flow*

Pola aliran buih dicirikan dengan campuran yang keras dan karenanya interaksi permukaan yang lebih keras antara dua fasa dalam perbandingannya terhadap aliran gelembung dan *slug* dan dengan demikian penurunan tekanan akibat gesekan meningkat tajam. Secara keseluruhan, kecenderungan penurunan tekanan akibat gesekan diteliti untuk peningkatan dengan meningkatkan bilangan reynolds ketika mengukur pada bilangan reynolds yang konstan.

d. *Falling Film Flow*

Falling film flow dicirikan dengan selaput cairan meluncur dengan lembut mengelilingi permukaan pipa sementara fasa gas berpindah melalui inti pipa (bagian tengah). Pola aliran ini terjadi pada laju aliran cairan yang rendah dan sedang ke laju aliran gas yang tinggi. Jadi kita bisa mengharapkan penurunan tekanan karena gesekan pada dinding pipa dapat berkurang dibandingkan pola aliran lainnya.

e. *Annular Flow*

Struktur dari aliran *annular* serupa dengan *falling film flow* kecuali fakta mengenai fasa laju aliran relatif besar dan secara kualitatif turbulen di alam. Penurunan tekanan akibat gesekan pada aliran *annular* diteliti dengan sangat sensitif ke kedua laju aliran gas dan cair. Penurunan tekanan akibat gesekan pada

aliran annular meningkat dengan tajam dengan peningkatan ukuran laju aliran gas pada laju aliran cairan yang konstan. Walaupun rentang fraksi hampa ditemui pada kedua rezim *falling film flow* dan *annular* berkisar $0.75 < a < 1$, penurunan tekanan akibat gesekan diteliti pada kedua pola aliran karena dialam, keduanya sangat berbeda. Hal ini juga diteliti bahwa penurunan tekanan akibat gesekan pada rezim aliran ini menyimpang secara signifikan dari fasa tunggalnya. Bandingan dan diperkirakan 30 sampai 100 lipatan yang akan terjadi dengan asumsi hanya fase cair yang mengalir melalui pipa. Dengan bantuan data yang tersedia di literatur hal ini nampak bahwa penurunan tekanan akibat gesekan pada rezim daerah aliran *annular* secara signifikan dipengaruhi oleh diameter pipa.

2.7 Penurunan Tekanan (ΔP)

Proses terjadinya penurunan tekanan ini dikarenakan total penurunan tekanan perunit panjang pipa pada aliran dua fasa terdiri dari komponen hidrostatik, percepatan dan gesekan. Total penurunan tekanan dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{\Delta P}{L}\right)_t = \left(\frac{\Delta P}{L}\right)_h + \left(\frac{\Delta P}{L}\right)_a + \left(\frac{\Delta P}{L}\right)_f \quad (2.2)$$

Dimana:

ΔP = Penurunan Tekanan (Pa)

L = Panjang Pipa (m)

t = Total

h = Hidrostatik

a = Percepatan

f = Gesekan

Pada persamaan diatas total penurunan tekanan ditetapkan dengan cara percobaan dengan mengukur total penurunan tekanan menghadap pipa dengan sebuah transduser tekanan. Menetapkan penurunan tekanan hidrostatis pada persamaan (2), dinyatakan dengan istilah kepadatan / berat jenis campuran (P_m) yang merupakan sebuah fungsi fraksi hampa (α) dan kepadatan / berat jenis cair dan gas (P_l dan p_g) seperti yang ditunjukkan persamaan (3).

$$\left(\frac{\Delta P}{L}\right)_h = \rho_m g \sin \theta (\alpha \rho_g + (1-\alpha) \rho_l) g \sin \theta \quad (2.3)$$

Dimana:

ΔP = Penurunan Tekanan (Pa)

L = Panjang Pipa (m)

h = Hidrostatik

α = Fraksi Hampa

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

ρ = Kerapatan (kg/m³)

θ = sudut

g = gas

l = likuid

m = campuran

Kecepatan penurunan tekanan pada persamaan (2) tak berarti pada penelitian untuk aliran dua fasa isothermal udara-air selama pola aliran tidak berubah sepanjang pipa dan tidak ada fasa yang berubah. Komponen gesek dari penurunan

tekanan dua fasa pada persamaan (2) dikalkulasi berdasarkan perhitungan total penurunan tekanan dan penurunan tekanan hidrostatik seperti pada persamaan (4),

$$\left(\frac{\Delta P}{L}\right)_f = \left(\frac{\Delta P}{L}\right)_t - \rho_m g \sin \theta \quad (2.4)$$

Dimana:

ΔP = Penurunan Tekanan (Pa)

L = Panjang Pipa (m)

h = Hidrostatik

f = Gesekan

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

ρ = Kerapatan (kg/m³)

θ = sudut

m = campuran

2.8 Korelasi Penurunan Tekanan

Penurunan tekanan dalam aliran dua-fase merupakan penurunan tekanan dari tiap fase dengan pengalinya yang ditentukan secara empiris. Persamaan dasarnya adalah beberapa korelasi dari pengali.⁵

Homogenous

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_f = \frac{2f_{tp}G^2}{D\rho_{tp}} \quad (2.5)$$

$$f_{tp} = \frac{16}{Re_{tp}} \text{ untuk } R_{tp} < 2000$$

$$f_{tp} = 0,079 Re^{-0,25} \text{ untuk } R_{tp} > 2000$$

⁵Raldi Artono Koestoer dan Sasanti Proborini, *Aliran Dua fase dan Fluks Kalor Kritis*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1994, halaman 41.

$$\text{Re} = \frac{GD}{\mu_{\text{tp}}}$$

$$\mu_{\text{tp}} = \left(\frac{x}{\mu_g} + \frac{1-x}{\mu_L} \right)^{-1}$$

Lockhart-martinelli

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_f = \left(\frac{dp}{dz} \right)_L \varphi_L^2, \varphi_L^2 = 1 + \frac{C}{X} + \frac{1}{X^2} \quad (2.6)$$

$$X = \left[\frac{\left(\frac{dp}{dz} \right)_L}{\left(\frac{dp}{dz} \right)_g} \right]^{0,5}$$

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_L = f_L \frac{2G^2}{D_{\text{PL}}} (1-x)^2$$

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_g = f_g \frac{2G^2}{D_{\text{pg}}} x^2$$

$$f_L = \frac{16}{\text{Re}_L} \text{ untuk } \text{Re} < 2000$$

$$f_L = 0,079 \text{ Re}^{-0,25} \text{ untuk } \text{Re} > 2000$$

$$f_g = \frac{16}{\text{Re}_g} \text{ untuk } \text{Re} < 2000$$

$$f_g = 0,079 \text{ Re}^{-0,25} \text{ untuk } \text{Re} > 2000$$

$$\text{Re}_L = \frac{G(1-x)D}{\mu_L}$$

$$\text{Re}_g = \frac{Gx D}{\mu_g}$$

Chisholm

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_f = \left(\frac{dp}{dz} \right)_L \varphi_L^2, \varphi_L^2 = 1 + (Y^2 - 1) \left[Bx^{\frac{2-n}{2}} (1-x)^{\frac{2-n}{2}} + x^{2-n} \right] \quad (2.7)$$

$$n = 0,25$$

$$Y = \left(\frac{dp}{dz} \right)_g / \left(\frac{dp}{dz} \right)_L$$

$$B = 55/G^{0,5} \text{ untuk } 0 < Y < 9,5$$

$$B = 520/YG^{0,5} \text{ untuk } 9,5 < Y < 28$$

$$B = 15000/Y^2 G^{0.5} \text{ untuk } Y > 28$$

x = kualitas uap

Friedel

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_f = \left(\frac{dp}{dz}\right)_L \varphi_L^2, \varphi_L^2 = E + \frac{3,24 FH}{Fr^{0,045} We^{0,035}} \quad (2.8)$$

$$E = (1 - x)^2 + x \frac{\rho_l f_g}{\rho_g f_l}$$

$$f_l = \frac{16}{Re_l} \text{ untuk } Re < 2000$$

$$f_l = 0,079 Re_l^{-0,25} \text{ untuk } Re > 2000$$

$$Re_l = \frac{GD}{\mu_l}$$

$$f_g = \frac{16}{Re_g} \text{ untuk } Re < 2000$$

$$f_g = 0,079 Re_g^{-0,25} \text{ untuk } Re > 2000$$

$$Re_g = \frac{GD}{\mu_g}$$

$$F = x^{0,78} (1 - x)^{0,24}$$

$$H = \left(\frac{\rho_l}{\rho_g}\right)^{0,91} \left(\frac{\mu_g}{\mu_l}\right)^{0,19} \left(1 - \frac{\mu_g}{\mu_l}\right)^{0,7}$$

$$Fr = \frac{G^2}{gd\rho_h^2}$$

$$We = \frac{G^2 d}{\sigma\rho_h}$$

2.9 Bilangan Reynolds

Bilangan *Reynolds* merupakan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskositas. Bilangan *Reynolds* digunakan untuk menentukan jenis aliran laminar atau turbulen.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (2.9)$$

Ket : Re = Bilangan *Reynolds*

ρ = densitas/massa jenis fluida (kg/m^3)

v = kecepatan aliran (m/s)

d = diameter pipa (m)

μ = viskositas dinamik (Ns/m^2)

Jika nilai Re kurang dari 2000 maka jenis alirannya adalah laminar. Pada saat nilai Re diatas 2000 masih bisa terjadi aliran laminar tapi kondisinya tidak stabil dan dapat dengan mudah menjadi aliran turbulen. Dalam pipa lurus dan diameter tetap, aliran bisa di asumsikan turbulen jika nilai Re diatas 4000⁶. Nilai Re ini hanya berlaku aliran di dalam pipa.

2.10 Klasifikasi *Channel*

Klasifikasi *channel* berdasarkan diameter hidrolis bertujuan untuk memberikan panduan sederhana berbagai dimensi yang bisa dijadikan pertimbangan. Pengurangan ukuran *channel* memiliki efek yang berbeda pada proses yang berbeda.

Tabel 2.1 Klasifikasi *Channel*⁷

⁶John F. Douglas dll, *Fluid Mechanics Fifth Edition*(Edinburgh Gate: Pearson Education Limited, 2005), p. 102.

⁷Satish G.Kandlikar and Michael R. King,*Heat Transfer and Fluid Flow in Minichannels and Microchannels*(Elsevier Ltd., 2005), p. 3.

Channel	Diameter
Konvensional <i>channels</i>	$D > 3 \text{ mm}$
<i>Minichannels</i>	$3 \text{ mm} \geq D > 200 \text{ }\mu\text{m}$
<i>Microchannels</i>	$200 \text{ }\mu\text{m} \geq D > 10 \text{ }\mu\text{m}$
<i>Transitional Microchannels</i>	$10 \text{ }\mu\text{m} \geq D > 1 \text{ }\mu\text{m}$
<i>Transitional Nanochannels</i>	$1 \text{ }\mu\text{m} \geq D > 0.1 \text{ }\mu\text{m}$
<i>Nanochannels</i>	$0.1 \text{ }\mu\text{m} \geq D$

2.11

Kerangka Berpikir

Dari teori yang telah dipaparkan, maka kerangka berpikir untuk penelitian ini adalah “apakah kemiringan pipa yang dibuat lebih bervariasi ($0^\circ - 90^\circ$ dengan perubahan sudut 10°) akan mempengaruhi distribusi gelembung dua fasa pada pola aliran gelembung”.

2.12 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah penurunan tekanan pada posisi vertikal lebih besar daripada penurunan tekanan pada posisi horisontal dan semakin kecil gelembung maka penurunan tekanan akan semakin besar.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

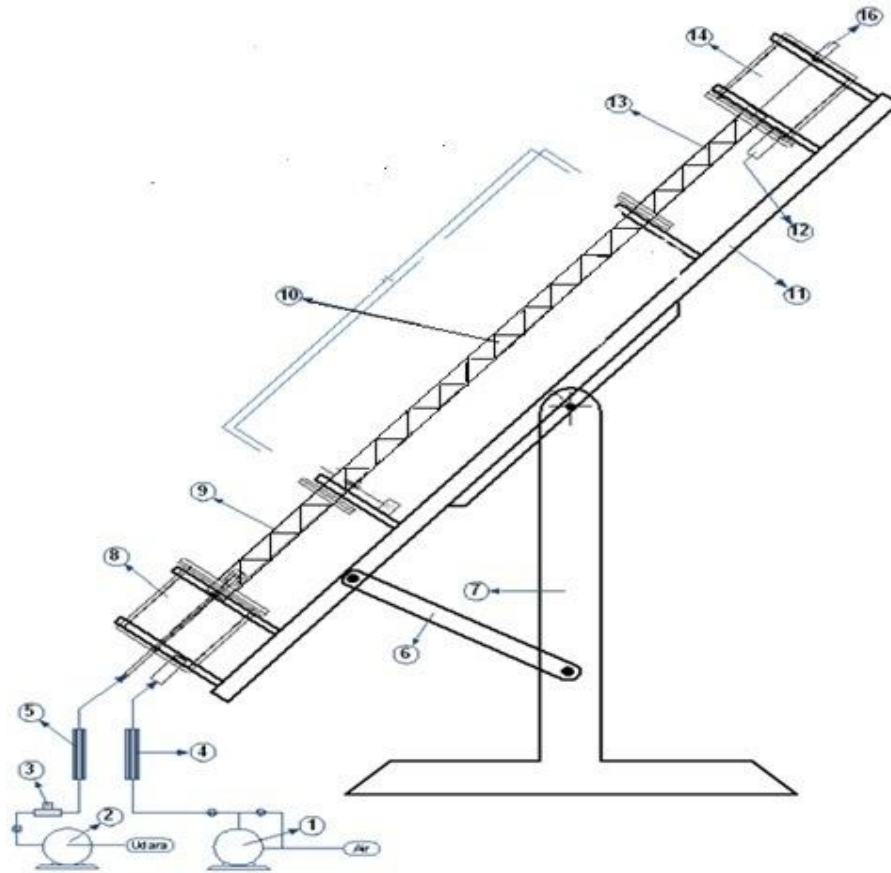
Penelitian ini dilakukan di laboratorium otomotif (konversi energi) Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Waktu penelitian ini dimulai dari bulan Juni hingga September 2015.

Tabel 3.1 Alokasi Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Bulan			
		Juni	Juli	Agustus	September
I	Tahapan Persiapan				
1	Mempersiapkan Bahan Penelitian				
2	Membuat Instalasi Penelitian				
3	Pengujian Instalasi Penelitian				
II	Tahapan Pelaksanaan Penelitian				
	Korelasi antara beberapa penelitian dengan distribusi gelembung pada aliran dua fasadengan pola aliran gelembung pada sudut 0°-90° dengan perubahan sudut 10° pada pipa miring.				
III	Tahapan Pengolahan Hasil Penelitian				
	Pengolahan Data Hasil Penelitian				
IV	Tahapan Penyusunan Laporan Akhir Hasil Penelitian				
	Penyusunan Laporan Akhir				

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium. Peneliti merancang desain seksi pipa uji yang kemudian dibuat dalam bentuk nyata yang akan digunakan sebagai media penelitian.



Gambar 3.1 Alat Uji Penelitian

3.3 Bahan Yang Digunakan

Bahan yang digunakan meliputi air (H_2O) yang diambil dari kran yang berada di laboratorium jurusan otomotif dan udara dari kompresor.

3.4 Alat Yang Digunakan

Peralatan yang digunakan terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain:

1. Kompresor, yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Puma PK50 – 160 Air Compressor

Tekanan air maksimum = 8 kg/cm²

Debit maksimum = 751 Lpm

Motor Listrik = 5,5 hp (1440 rpm)

V / Hz / PH = 220 / 50 / 3

2. Pompa air yang digunakan untuk memompa air memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Shimizu model PS – 128 bit

Max capacity = 10 – 18 liter/ menit

Total Head = 20 Mtr

Output = 125 Watts

V / Hz / PH = 220 / 50 / 1

RPM = 2900

3. Pengukur volume udara (*air flow meter*) Dwyer Series Rate-Master dengan jenis bola *glass* untuk mengukur debit udara yang mengalir ke dalam seksi uji.
4. Pengukur debit air (*water flow meter*) merk OMEGA model FL -1504A untuk mengukur debit air yang mengalir dalam seksi uji.

5. Tabung *mixer* terbuat dari resin cor, untuk mencampur air dan udara sehingga diperoleh aliran gelembung.
6. Tabung separator yang terbuat dari resin cor, untuk memisahkan air dan keluar dari seksi uji.
7. Pipa akrilik / transparan berdiameter 14 mm untuk mendeteksi pola aliran yang terjadi.
8. *Manometer U* yang di isi air dan di tempelkan pada milimeter blok untuk mengetahui perbedaan hasil tinggi tekanan.
9. Pegas dengan sudut 60^0 untuk mengetahui karakteristik pola aliran gelembung udara.

3.5 Proses Penelitian

Peneliti membuat skema seksi uji yang merupakan rancangan alat yang akan digunakan untuk penelitian. Udara dan air pada penelitian ini dapat tercampur hingga menjadi berbagai pola aliran sepenuhnya dihasilkan oleh pembangkit gelembung airtor akuarium yang dipasang pada *mixer*, diharapkan udara yang tercampur dengan air dapat menyebar merata dalam aliran.

Skema ini dirancang selama penelitian untuk meneliti alirandua fasa, penurunan tekanan dalam kemiringan yang berbeda, kontraksi tiba-tiba, ekspansi mendadak. Dalam penelitian ini, kedudukan pipa dari 0° - 90° dengan perubahan sudut 10° . Pipa yang digunakan dari bahan akrilik transparan dengan penampang lingkaran, dengan total panjang 226 cmdan diameter internall4 mm. Bagian pipa yang di uji dibagi menjadi tiga segmen yang masing-masingtersambung satu sama lainnya:

1. Segmen masuk (*inlet*) dengan panjang 18 cm digunakan untuk stabilisasi aliran setelah ruang pencampuran.
2. Titik pengukur satu dengan panjang 96 cm di gunakan untuk pengukuran *pressure drop* yang di pasang sebuah ujung pipa *U tube* sebagai pembaca tekanan.
3. Titik pengukur dua dengan panjang 96 cm untuk melihat pola liran yang terbentuk.
4. Titik pengukur tiga dengan panjang 96 cm yang digunakan untuk mengukur *pressure drop* di pasang sebuah *U tube* sebagai pembaca tekanan.
5. Segmen keluar (*outlet*) dengan panjang 19 cm untuk pembuangan air dan udara.

Untuk memeriksa bahwa peralatan bekerja dengan benar, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan peralatan dengan percobaan aliran satu fasa dengan menggunakan air untuk memeriksa kebocoran peralatan. Air tersebut dialirkan menggunakan pompa air melalui lubang *inlet* hingga keluar di lubang *outlet*. Jika tidak terjadi kebocoran maka, penelitian dapat dilanjutkan.

Bila telah tercapai kondisi yang stabil secara keseluruhan, selanjutnya mulai dilakukan pencatatan data-data kapasitas aliran air dan udara.

3.6 Variabel Penelitian

Variabel yang diukur dalam penelitian ini antara lain :

1. Debit air diukur menggunakan *flowmeter* air.

2. Debit udara diukur menggunakan *flowmeter* udara
3. Tekanan pada *inlet* menggunakan *U tube*.
4. Tekanan pada *outlet* menggunakan *U tube*.
5. Perubahan penurunan tekanan pada setiap sudut dari $0^{\circ} - 90^{\circ}$ (dengan perubahan sudut 10°).
6. Pola aliran gelembung udara yang terbentuk pada setiap sudut $0^{\circ} - 90^{\circ}$ (dengan perubahan sudut 10°).

3.7 Analisa Data

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Hasil penghitungan secara eksperimen selanjutnya akan dibandingkan dengan penghitungan menggunakan beberapa korelasi. Korelasi yang digunakan pada penelitian ini berupa korelasi *Homogeneous Model*, *Chisholm*, *Friedel* dan *Lockhart-Martinelli*.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

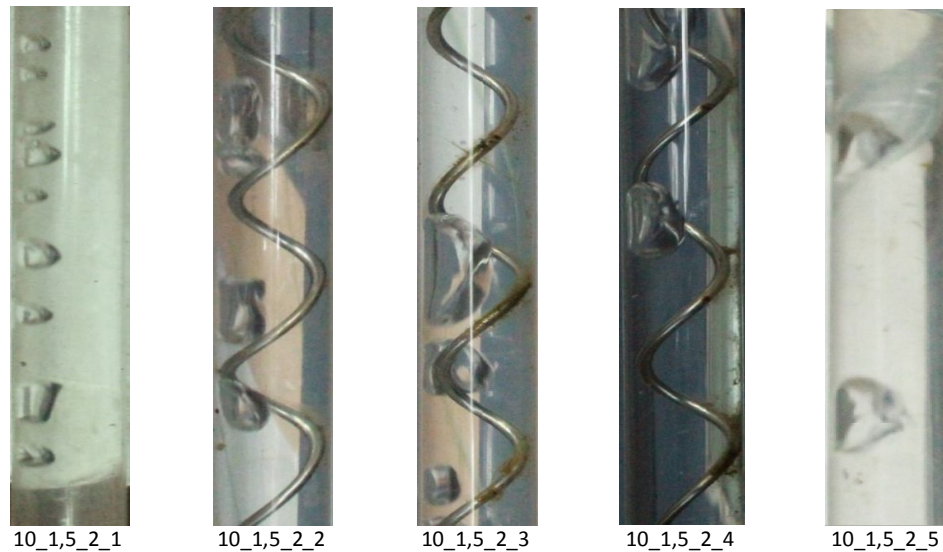
Hasil penelitian mengenai pengaruh variasi kemiringan pipa 0^0 - 90^0 dengan perubahan sudut 10^0 terhadap distribusi gelembung udara dengan menggunakan pegas 60^0 menghasilkan beberapa analisa sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan debit udara terhadap pola distribusi gelembung udara.
2. Pengaruh penambahan debit air terhadap pola distribusi gelembung udara.
3. Pengaruh kemiringan pipa dengan perubahan 10^0 terhadap distribusi gelembung.
4. Pengaruh kemiringan pipa dengan perubahan 10^0 terhadap penurunan tekanan.
5. Penghitungan perubahan tekanan menggunakan 4 korelasi yaitu *Homogenous model, Chisholm, Friedel dan Lockhart-Martinelli*.

Hasil pengamatan dari pengaruh penambahan debit air, penambahan debit udara, kemiringan pipa terhadap distribusi gelembung udara, kemiringan pipa terhadap penurunan tekanan, dan penghitungan perubahan tekanan menggunakan 4 korelasi akan di jelaskan dalam bentuk foto, grafik dan deskripsi penjelasan. Penggabungan hasil data eksperimen dan penghitungan korelasi juga akan di jelaskan dalam bentuk grafik dan deskripsi.

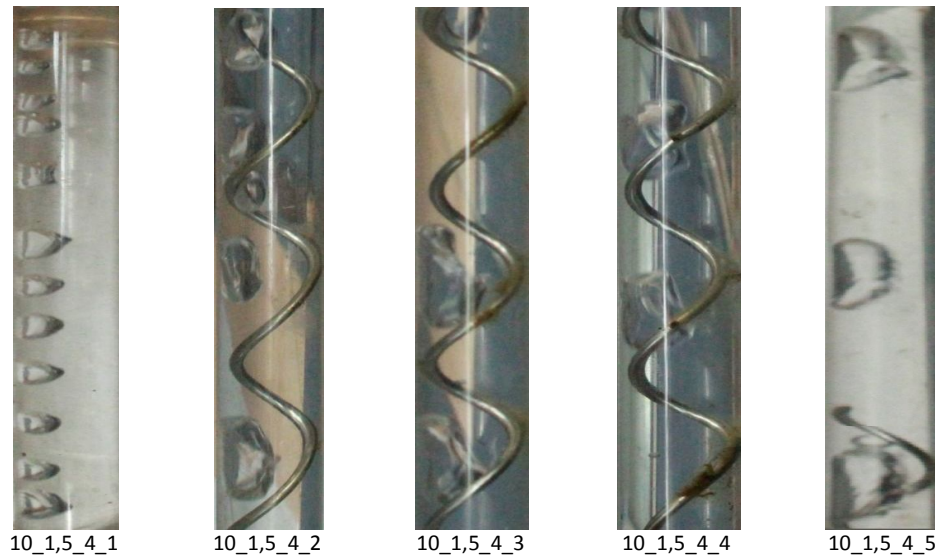
4.1 Penambahan Debit Udara

4.1.1 Pengaruh Penambahan Debit Udara Terhadap Distribusi Gelembung Udara dengan Debit Air Tetap dan Kemiringan Sudut Tetap.



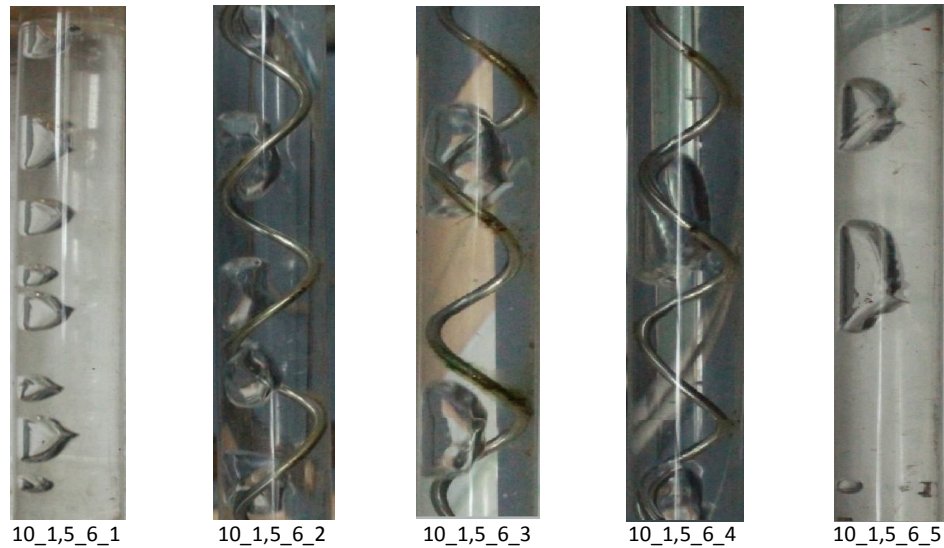
Gambar 4.1 pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 10^0 , debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit.

Pada sudut 10^0 , debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit. Pada bagian *input* gelembung udara berukuran kecil dan bergesekan dengan dinding atas pipa. Memasuki pada bagian spesimen uji 1,2 dan 3 gelembung udara menjadi besar dan terpecah oleh pegas dan menyatu kembali menjadi gelembung besar. Pada bagian *output* gelembung udara yang terbentuk lebih besar di bandingkan dengan bagian *input*. Gelembung udara yang berada pada dinding atas pipa dikarenakan gaya apung yang di miliki gelembung udara. Semakin besar gelembung di pengaruhi oleh pegas yang membuat gelembung terpecah dan menyatu kembali dan juga tabrakan antar gelembung.



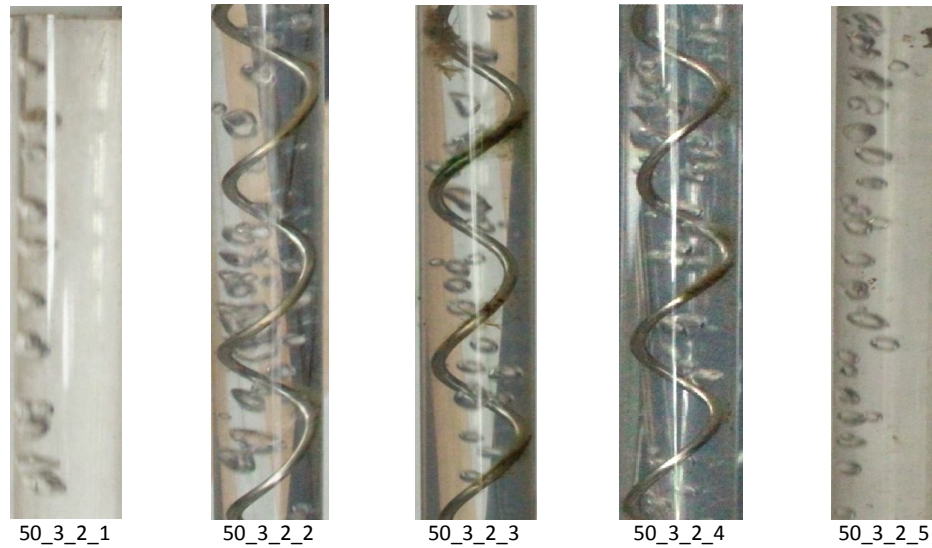
Gambar 4.2 pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 10^0 , debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,4 liter/menit.

Pada sudut 10^0 , debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,4 liter/menit. Pada bagian *input* gelembung udara membentuk seragam dan berada pada dinding atas pipa. Memasuki bagian spesimen uji gelembung udara terpecah kemudian menyatu kembali menjadi gelembung udara yang lebih besar dan berada pada dinding atas pipa. Pada bagian *output* gelembung udara semakin membesar dibandingkan dengan pada bagian *input*. Posisi gelembung udara yang berada pada dinding atas pipa dikarenakan gaya apung yang dimiliki gelembung udara, semakin besarnya gelembung dikarenakan gelembung yang terpecah karena pegas dan menyatu kembali.



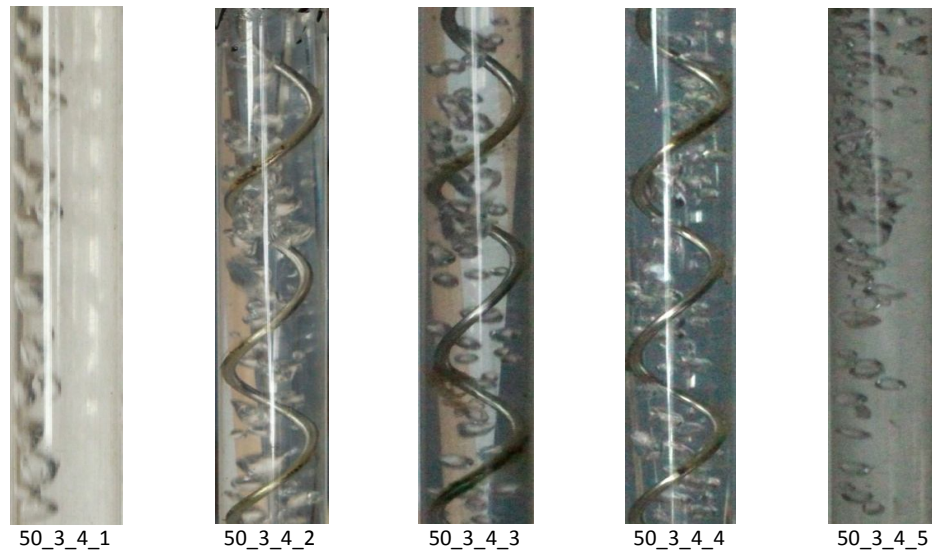
Gambar 4.3 pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 10° , debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit.

Pada sudut 10° , debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit. Pada bagian *input* gelembung udara cenderung berukuran besar dan bergesekan dengan dinding atas pipa. Memasuki pada bagian spesimen uji 1,2 dan 3 gelembung udara semakin membesar. Pada bagian *output* gelembung udara yang terbentuk lebih besar di bandingkan dengan bagian *input*. Gelembung udara yang berada di dinding atas pipa dikarenakan gaya apung yang dimiliki gelembung udara dan gelembung semakin membesar dikarenakan tabrakan antar gelembung setelah terpecah oleh pegas.



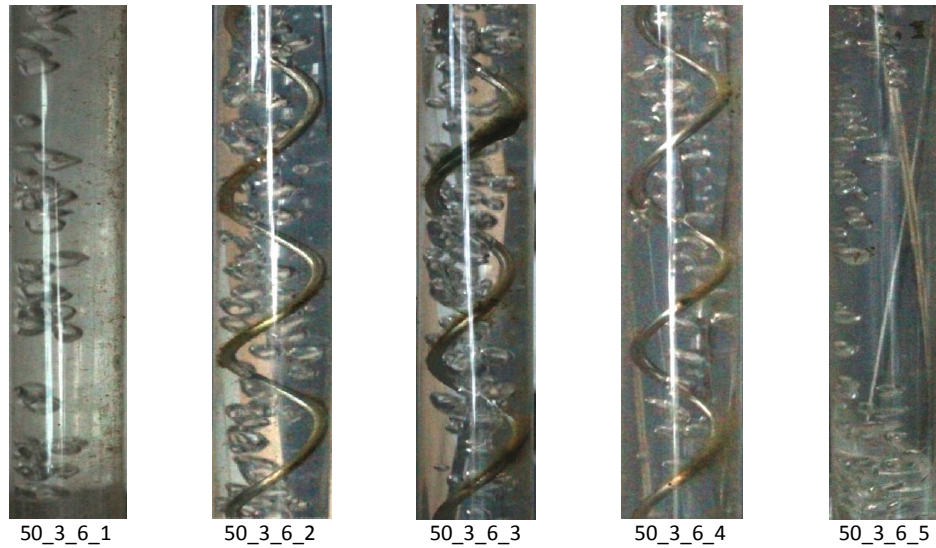
Gambar 4.4 pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 50° , debit air 3 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit.

Pada sudut 50° , debit air 3 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit. Pada bagian *input* gelembung udara cenderung berukuran kecil dan masih berada di dinding atas pipa. Memasuki pada bagian spesimen uji 1,2 dan 3 gelembung udara semakin banyak dan menyebar. Pada bagian *output* gelembung udara semakin banyak dan menyebar di bandingkan dengan pada bagian *input*. Semakin banyak nya gelembung udara dikarenakan gelembung udara yang memasuki spesimen uji terpecah oleh pegas dan penyebaran gelembung udara dikarenakan posisi pipa yang semakin vertikal yang berpengaruh pada gaya apung gelembung udara.



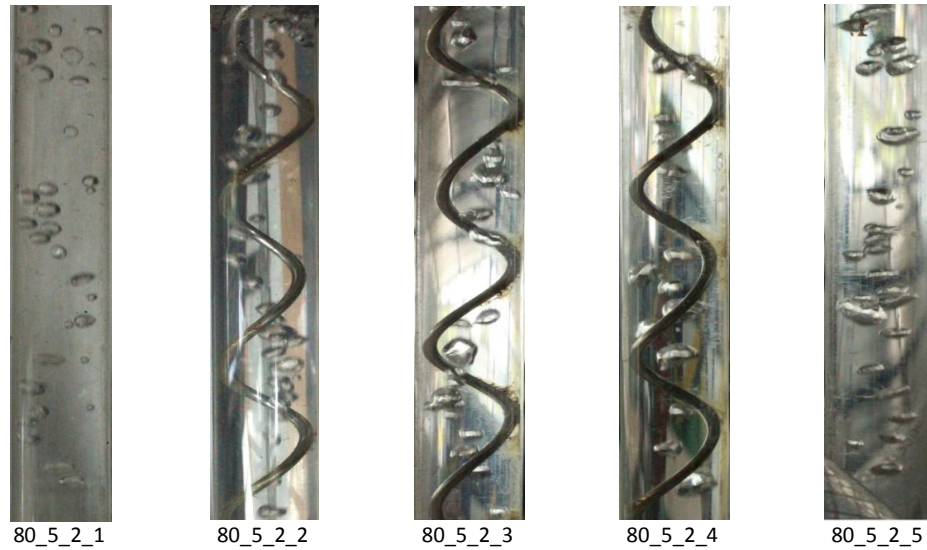
Gambar 4.5 pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 50°, debit air 3 liter/menit dan debit udara 0,4 liter/menit.

Pada sudut 50°, debit air 3 liter/menit dan debit udara 0,4 liter/menit. Pada bagian *input* gelembung udara berada pada dinding atas pipa. Memasuki bagian spesimen uji 1,2 dan 3 gelembung udara berukuran kecil, semakin banyak dan menyebar. Pada bagian *output* gelembung udara lebih banyak dan menyebar dibandingkan dengan bagian *input*. Gelembung udara yang semakin banyak dikarenakan gelembung udara yang memasuki bagian spesimen uji terpecah oleh pegas dan menyebarnya gelembung udara dipengaruhi oleh pegas dan juga posisi pipa yang semakin vertikal.



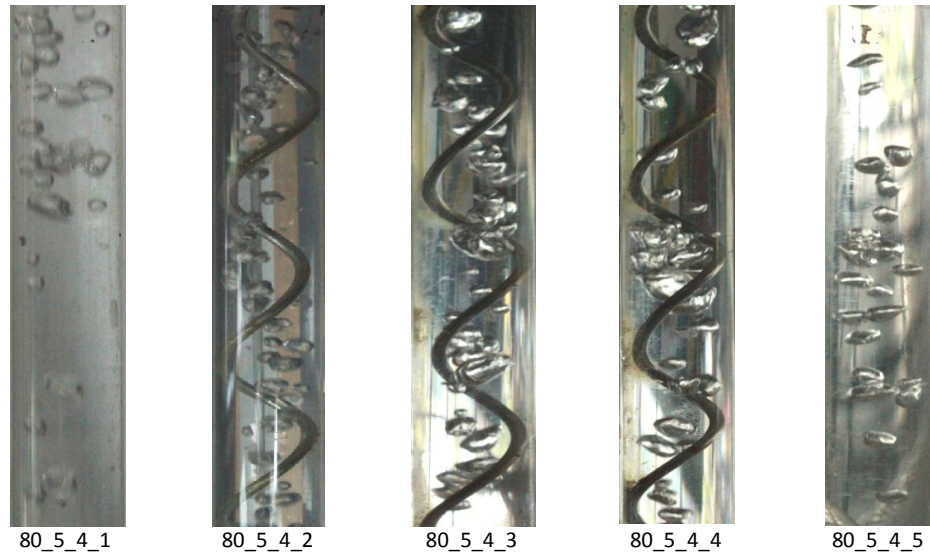
Gambar 4.6 pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 50° , debit air 3 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit.

Pada sudut 50° , debit air 3 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit. Pada bagian *input* gelembung udara dalam jumlah banyak dan belum menyebar secara merata. Memasuki bagian spesimen uji 1,2 dan 3 gelembung udara semakin banyak dan menyebar merata. Pada bagian *output* gelembung udara berukuran lebih kecil dan dalam jumlah banyak di bandingkan dengan bagian *input*. Semakin besar debit udara yang di *supply* semakin banyak gelembung udara dan penyebaran gelembung udara di sebabkan oleh pegas yang memecah gelembung , dan posisi pipa yang cenderung vertikal mempengaruhi gaya apung gelembung udara.



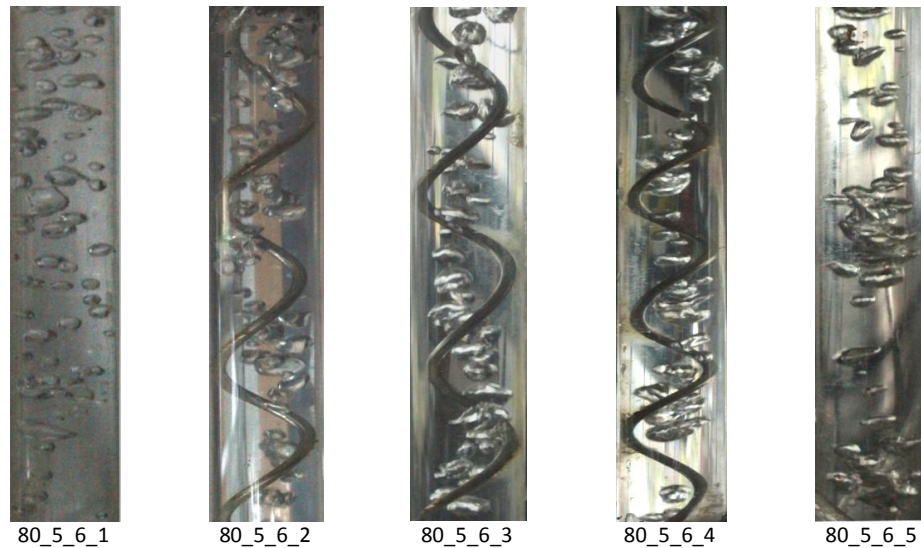
Gambar 4.7 pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 80° , debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit.

Pada sudut 80° , debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit. Pada bagian *input* gelembung udara berukuran kecil dan menyebar. Memasuki pada bagian spesimen uji 1,2 dan 3 gelembung udara gelembung udara semakin besar, penyebaran merata dan semakin banyak. Pada bagian *output* gelembung udara semakin banyak dan berukuran lebih besar di bandingkan dengan pada bagian *input*. Penyebarannya pun merata. Gelembung udara semakin banyak disebabkan oleh pegas yang memecah gelembung udara dan penyebaran yang merata di pengaruhi dari posisi pipa yang cenderung vertikal dan gaya apung yang dimiliki gelembung udara.



Gambar 4.8 pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 80^0 , debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,4 liter/menit.

Pada sudut 80^0 , debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,4 liter/menit. Pada bagian *input* gelembung udara menyebar dan memasuki spesimen uji 1,2 dan 3 gelembung udara semakin banyak dan meyebar secara merata. Pada bagian *output* gelembung udara semakin banyak dan menyebar merata. Semakin banyak nya gelembung udara pada spesimen uji dipengaruhi oleh pegas yang memecah gelembung dan gelembung udara yang menyebar disebabkan oleh gaya apung gelembung udara dan posisi pipa yang cenderung vertikal.

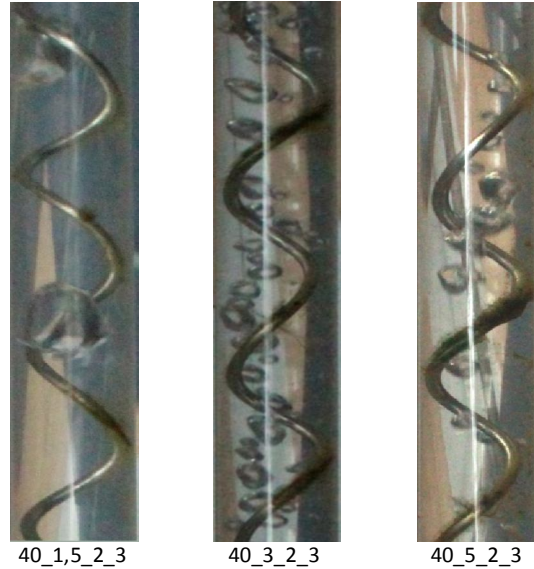


Gambar 4.9 pengaruh penambahan debit udara pada gelembung udara pada 80° , debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit.

Pada sudut 80° , debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit. Pada bagian *input* gelembung udara sudah menyebar dan dalam jumlah sedikit, memasuki pada bagian spesimen uji 1,2 dan 3 gelembung semakin banyak dan menyebar. Pada bagian *output* gelembung udara menyebar dan gelembung menyatu satu sama lain. Gelembung udara semakin banyak disebabkan oleh pecahnya gelembung udara oleh pegas, pegas juga membuat gelembung udara menyebar secara merata. Posisi kemiringan pipa yang cenderung vertikal mempengaruhi daya apung gelembung udara.

4.2 Penambahan Debit Air

4.2.1 Pengaruh Penambahan Debit Udara Terhadap Distribusi Gelembung Udara dengan Debit Air Tetap dan Kemiringan Sudut Tetap.



Gambar 4.10 pengaruh penambahan debit air pada gelembung udara pada sudut 40° , debit udara 0,2 liter/menit dan debit air 1,5 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit.

Pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa penambahan debit air membuat bentuk gelembung udara semakin kecil. Hal ini disebabkan karena kecepatan debit air yang lebih cepat dibandingkan dengan udara. Pada kondisi ini, tabrakan antar gelembung juga sulit terjadi yang mengakibatkan ukuran gelembung sukar membesar. Gelembung udara yang menyebar di karenakan gelembung udara yang mengecil dan di pengaruhi gaya apung yang dimiliki gelembung udara.



Gambar 4.11 pengaruh penambahan debit air pada gelembung udara pada sudut 60° , debit udara 0,4 liter/menit dan debit air 1,5 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit.

Penambahan debit air mempengaruhi bentuk gelembung yang terbentuk yaitu semakin kecil nya gelembung udara pada masing-masing spesimen uji yang ditambahkan debit air nya. Hal ini disebabkan oleh kecepatan debit air lebih tinggi di bandingkan debit udara di dalam spesimen uji, yang dapat mempengaruhi terbawanya gelembung udara oleh debit air, sehingga tabrakan antar gelembung sulit terjadi dan jarak antar gelembung semakin menjauh.



Gambar 4.12 pengaruh penambahan debit air pada gelembung udara pada sudut 90° , debit udara 0,6 liter/menit dan debit air 1,5 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit.

Pada penambahan debit air 1,5 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit. Dapat dilihat bahwa gelembung udara yang terbentuk semakin mengecil di masing-masing spesimen uji. Hal ini dikarenakan gelembung udara yang terbawa kecepatan debit air yang mengakibatkan sukar terjadinya tabrakan antar gelembung yang dapat membuat gelembung menjadi membesar. Kecepatan debit air lebih besar dari debit udara.

4.3 Pengaruh Kemiringan Pipa

4.3.1 Pengaruh Kemiringan Pipa dengan Perubahan Sudut 10^0 Terhadap Distribusi Gelembung Udara Pada Debit Air dan Udara Tetap.



Gambar 4.13 pengaruh kemiringan pipa dengan perubahan 10^0 terhadap distribusi gelembung udara dengan debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit.

Pada gambar di atas pola distribusi gelembung udara dengan berbagai sudut dari 0° – 90° dengan debit air dan debit udara yang sedikit yaitu 1,5 liter/menit dan 0,2 liter/menit. Gelembung udara pada posisi horizontal 0° membentuk gelembung dengan ukuran yang besar. Namun, semakin besar sudut kemiringan gelembung udara yang terbentuk semakin mengecil.

a. Sudut 0°

Gelembung udara pada sudut 0° berukuran besar dengan jumlah yang sedikit dan masih berada di atas permukaan dalam pipa (bergesekan dengan dinding pipa). Hal ini disebabkan gaya gravitasi dan posisi pipa yang masih horisontal.

b. Sudut 10° - 50°

Gelembung udara pada sudut 10° - 50° , gelembung udara mengalami perubahan, bentuk gelembung yang mengecil dan bertambah dalam jumlahnya dibandingkan dengan gelembung udara pada sudut 0° . Namun, pada sudut 10° - 50° gelembung udara cenderung bentuknya sama. Posisi gelembung udara masih bergesekan dengan dinding pipa.

c. Sudut 60° - 80°

Gelembung udara pada sudut 60° - 80° , gelembung udara mengalami perubahan bentuk yang semakin mengecil dan berjumlah banyak dibandingkan dengan gelembung udara pada sudut 10° - 50° . Posisi gelembung udara yang sudah berada di bagian tengah.

d. Sudut 90^0

Gelembung udara pada sudut 90^0 atau vertikal tersebar secara merata diseluruh aliran air. Bentuk gelembung udara mengecil, penyebaran gelembung udara disebabkan oleh gravitasi bumi yang menekan aliran air ke bawah sehingga gelembung akan bergerak secara acak di seluruh aliran. Gaya tekan air yang mengarah ke bawah karena gravitasi bumi mengakibatkan penurunan tekanan menjadi besar. Penurunan tekanan yang besar dikarenakan oleh gesekan antara debit air dengan dinding pipa.



Gambar 4.14 pengaruh kemiringan pipa dengan perubahan 10^0 terhadap distribusi gelembung udara dengan debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit.

Pada gambar di atas menerangkan mengenai pola distribusi gelembung udara pada sudut 0^0-90^0 , dengan perubahan 10^0 . Debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,6 liter/menit. Perubahan yang di alami gelembung udara pada tiap sudut nya semakin mengecil dan jumlah gelembung semakin sedikit di tiap sudut yang berbeda.

a. Sudut 0^0

Gelembung udara pada sudut 0^0 , gelembung cenderung besar dan berjumlah sedikit. Hal ini dikarenakan debit udara dan debit air yang besar. Posisi gelembung udara sudah berada di tengah tidak lagi menempel dikarenakan debit udara dan debit air yang besar membuat aliran air cepat dan udara bergerak di tengah pusaran aliran.

b. Sudut $10^0 - 30^0$

Gelembung udara pada sudut $10^0 - 30^0$, gelembung udara cenderung membesar dan berjumlah banyak. Namun, pada sudut 10^0-30^0 gelembung udara cenderung bentuknya sama.

c. Sudut $40^0 - 80^0$

Gelembung udara pada sudut $40^0 - 80^0$, gelembung udara masih berbentuk sama dengan gelembung udara di sudut $10^0 - 30^0$ namun dalam jumlah yang cenderung lebih sedikit. Hal ini dikarenakan posisi pipa yang semakin mendekati vertikal sehingga dengan debit air dan udara yang besar membuat gelembung udara cepat terbawa aliran air.

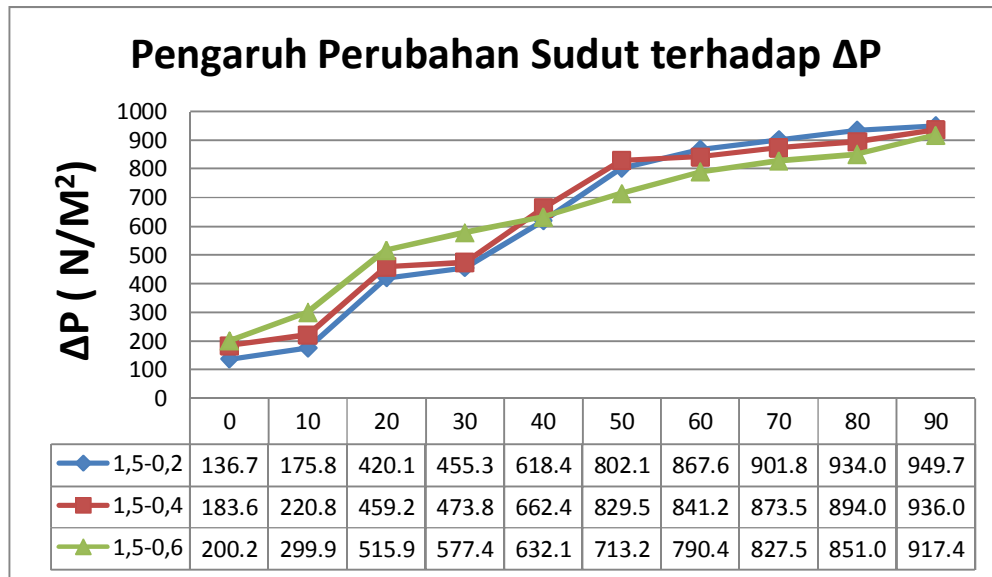
d. Sudut 90^0

Gelembung udara pada sudut 90^0 , gelembung udara semakin sedikit, bentuk gelembung mengecil dan posisi antar gelembung berjauhan. Bentuk gelembung udara mengecil, hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi ini tekanan debit air lebih besar daripada tekanan volume udara di dalam seksi uji. Penyebaran gelembung udara disebabkan oleh gravitasi bumi yang menekan aliran air ke bawah sehingga gelembung akan bergerak secara acak di seluruh aliran. Gaya tekan air yang mengarah ke bawah karena gravitasi bumi mengakibatkan penurunan tekanan menjadi besar. Penyebab lain penurunan tekanan yang besar dikarenakan oleh gesekan antara debit air dengan dinding pipa.

4.4 Penurunan Tekanan

Pengaruh perubahan posisi sudut spesimen uji terhadap perubahan tekanan (Δp) dengan penambahan debit udara dan debit air yang tetap.

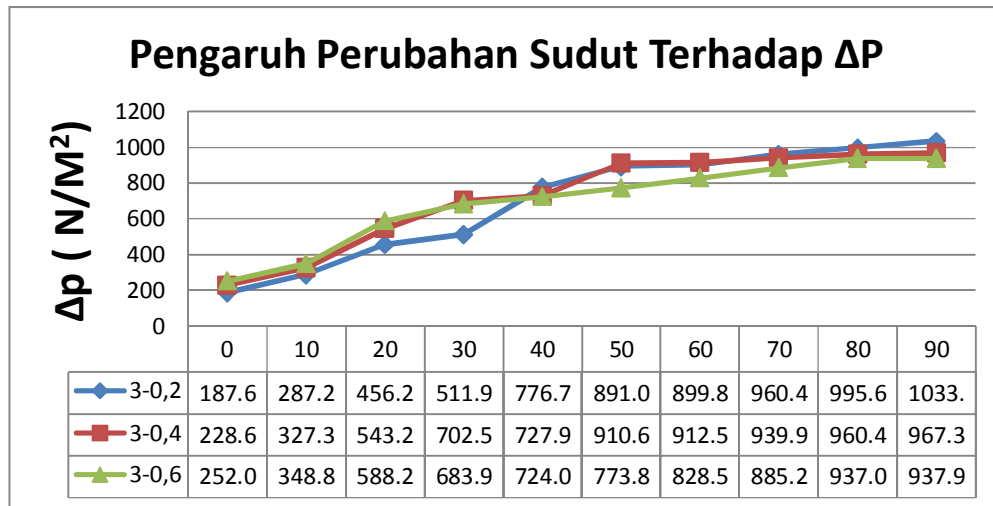
1. Pada kondisi debit air 1,5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit, 0,4 liter/menit, dan 0,6 liter/menit.



Grafik 4.1 Pengaruh perubahan sudut spesimen uji dengan debit air 1,5 LPM dan debit udara 0,2 ,0,4 dan 0,6 liter/menit

Pada grafik di atas menunjukkan kenaikan tekanan di spesimen uji 0° - 90° yang terbaca *U tube*. Pada grafik tersebut menjelaskan semakin besar sudut kemiringan pipa maka penurunan tekanan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh volume udara yang ada di dalam spesimen uji lebih besar daripada tekanan debit air yang ada di dalam spesimen uji sehingga tabrakan antar gelembung udara terjadi dan membesarnya gelembung udara menghalangi aliran debit air dan mengalami penurunan tekanan.

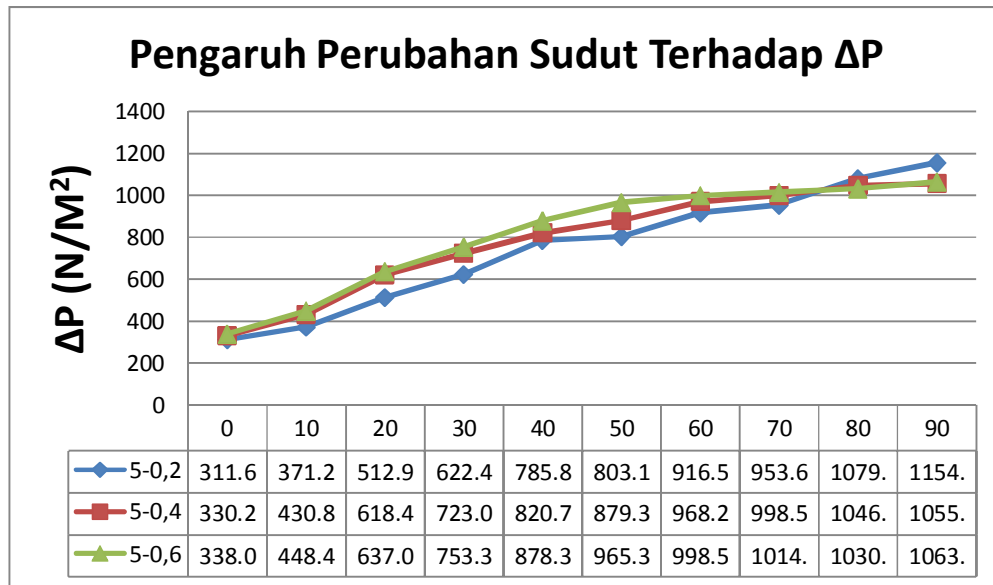
2. Pada kondisi debit air 3 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit, 0,4 liter/menit, dan 0,6 liter/menit.



Grafik 4.2 Pengaruh perubahan sudut spesimen uji dengan debit air 3 LPM dan debit udara 0,2 ,0,4 dan 0,6 liter/menit.

Pada grafik di atas menunjukkan kenaikan tekanan di spesimen uji 0^0-90^0 yang terbaca *U tube*. Pada grafik di atas menjelaskan bahwa semakin besar sudut kemiringan pipa semakin besar pula penurunan tekanan yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh volume udara yang ada di dalam spesimen uji lebih besar daripada tekanan debit air yang ada di dalam spesimen uji sehingga tabrakan antar gelembung udara terjadi dan membesarnya gelembung udara menghalangi aliran debit air dan mengalami penurunan tekanan.

3. Pada kondisi debit air 5 liter/menit dan debit udara 0,2 liter/menit, 0,4 liter/menit, dan 0,6 liter/menit.



Grafik 4.3 Pengaruh perubahan sudut spesimen uji dengan debit air 5 LPM dan debit udara 0,2 ,0,4 dan 0,6 liter/menit.

Pada grafik di atas menunjukkan kenaikan tekanan di spesimen uji 0^0-90^0 yang terbaca *U tube*. Pada grafik di atas menjelaskan bahwa semakin besar sudut kemiringan pipa semakin besar pula penurunan tekanan yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh volume udara yang ada di dalam spesimen uji lebih besar daripada tekanan debit air yang ada di dalam spesimen uji sehingga tabrakan antar gelembung udara terjadi dan membesarnya gelembung udara menghalangi aliran debit air dan mengalami penurunan tekanan. Pada penurunan tekanan yang terjadi pada setiap variasi debit air dan udara kondisi lebih besar.

4.5 Penghitungan Penurunan Tekanan dengan Korelasi

Penurunan tekanan pada aliran dua fase, juga dapat di hitung menggunakan beberapa korelasi. Pada penelitian ini korelasi yang digunakan 4 macam korelasi, yaitu korelasi *Homogen*, *Chisholm*, *Friedel*, dan *Lockhart-Martinelli*.

Homogenous

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_f = \frac{2f_{tp}G^2}{D\rho_{tp}}$$

$$f_{tp} = \frac{16}{Re_{tp}} \text{ untuk } Re_{tp} < 2000$$

$$f_{tp} = 0,079 Re^{-0,25} \text{ untuk } Re_{tp} > 2000$$

$$Re = \frac{GD}{\mu_{tp}}$$

$$\mu_{tp} = \left(\frac{x}{\mu_g} + \frac{1-x}{\mu_L}\right)^{-1}$$

Lockhart-martinelli

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_f = \left(\frac{dp}{dz}\right)_L \varphi_L^2, \varphi_L^2 = 1 + \frac{C}{X} + \frac{1}{X^2}$$

$$X = \left[\frac{\left(\frac{dp}{dz}\right)_L}{\left(\frac{dp}{dz}\right)_g} \right]^{0,5}$$

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_L = f_L \frac{2G^2}{D_{PL}} (1-x)^2$$

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_g = f_g \frac{2G^2}{D_{pg}} x^2$$

$$f_L = \frac{16}{Re_L} \text{ untuk } Re < 2000$$

$$f_L = 0,079 Re^{-0,25} \text{ untuk } Re > 2000$$

$$f_g = \frac{16}{Re_g} \text{ untuk } Re < 2000$$

$$f_g = 0,079 \text{ Re}^{-0,25} \text{ untuk } \text{Re} > 2000$$

$$\text{Re}_L = \frac{G(1-x)D}{\mu_L}$$

$$\text{Re}_g = \frac{G_x D}{\mu_g}$$

Chisholm

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_f = \left(\frac{dp}{dz}\right)_L \varphi_L^2, \varphi_L^2 = 1 + (Y^2 - 1) \left[Bx^{\frac{2-n}{2}}(1-x)^{\frac{2-n}{2}} + x^{2-n} \right]$$

$$n = 0,25$$

$$Y = (dp/dz)_g / (dp/dz)_l$$

$$B = 55/G^{0,5} \text{ untuk } 0 < Y < 9,5$$

$$B = 520/YG^{0,5} \text{ untuk } 9,5 < Y < 28$$

$$B = 15000/Y^2 G^{0,5} \text{ untuk } Y > 28$$

x = kualitas uap

Friedel

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_f = \left(\frac{dp}{dz}\right)_L \varphi_L^2, \varphi_L^2 = E + \frac{3,24 FH}{\text{Fr}^{0,045} \text{We}^{0,035}} E = (1-x)^2 + x \frac{\rho_l f_g}{\rho_g f_l}$$

$$f_l = \frac{16}{\text{Re}_l} \text{ untuk } \text{Re} < 2000$$

$$f_l = 0,079 \text{ Re}_l^{-0,25} \text{ untuk } \text{Re} > 2000$$

$$\text{Re}_l = \frac{GD}{\mu_l}$$

$$f_g = \frac{16}{\text{Re}_g} \text{ untuk } \text{Re} < 2000$$

$$f_g = 0,079 \text{ Re}_g^{-0,25} \text{ untuk } \text{Re} > 2000$$

$$\text{Re}_g = \frac{GD}{\mu_g}$$

$$F = x^{0,78} (1-x)^{0,24}$$

$$H = \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0,91} \left(\frac{\mu_g}{\mu_l} \right)^{0,19} \left(1 - \frac{\mu_g}{\mu_l} \right)^{0,7}$$

$$Fr = \frac{G^2}{gd\rho_h^2}$$

$$We = \frac{G^2 d}{\sigma\rho_h}$$

Dan berikut hasil dari penghitungan penurunan tekanan dengan menggunakan 4 macam korelasi yaitu *Homogenous model*, *Chisholm*, *Friedel* dan *Lockhart-martinelli*.

Diketahui :

Debit air (LPM)

1. 1,5 liter/menit
2. 3 liter/menit
3. 5 liter/menit

Ql

1. $1,5/60000 = 0,000025 \text{ m}^3/\text{s}$
2. $3/60000 = 0,000050 \text{ m}^3/\text{s}$
3. $5/60000 = 0,000083 \text{ m}^3/\text{s}$

Debit udara (LPM)

1. 0,2 liter/menit
2. 0,4 liter/menit
3. 0,6 liter/menit

Qg

1. $0,2/60000 = 0,000003 \text{ m}^3/\text{s}$
2. $0,4/60000 = 0,000007 \text{ m}^3/\text{s}$
3. $0,6/60000 = 0,000010 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\text{Nilai } G = \frac{\dot{m}}{A}$$

$$\dot{m} = m_g + m_l$$

$$m_l = Q_l \times \rho_l ; m_g = Q_g \times \rho_g$$

$$A(\text{m}^2) = A_{\text{pipa}} - A_{\text{pegas}}$$

$$A_{\text{pipa}} = \pi \cdot r^2$$

$$= 3,14 \times 0,007^2$$

$$= 0,000154 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{pegas}} = \pi \cdot r^2$$

$$= 3,14 \times 0,001^2$$

$$= 0,00000314 \text{ m}^2$$

$$\text{Jadi, } A = 0,000154 - 0,00000314 = 0,00015 \text{ m}^2$$

$$\mu_g = 1,872 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \text{s} \text{ (tabel properties)}$$

$$\rho_g = 1,164 \text{ kg/m}^3 \text{ (tabel properties)}$$

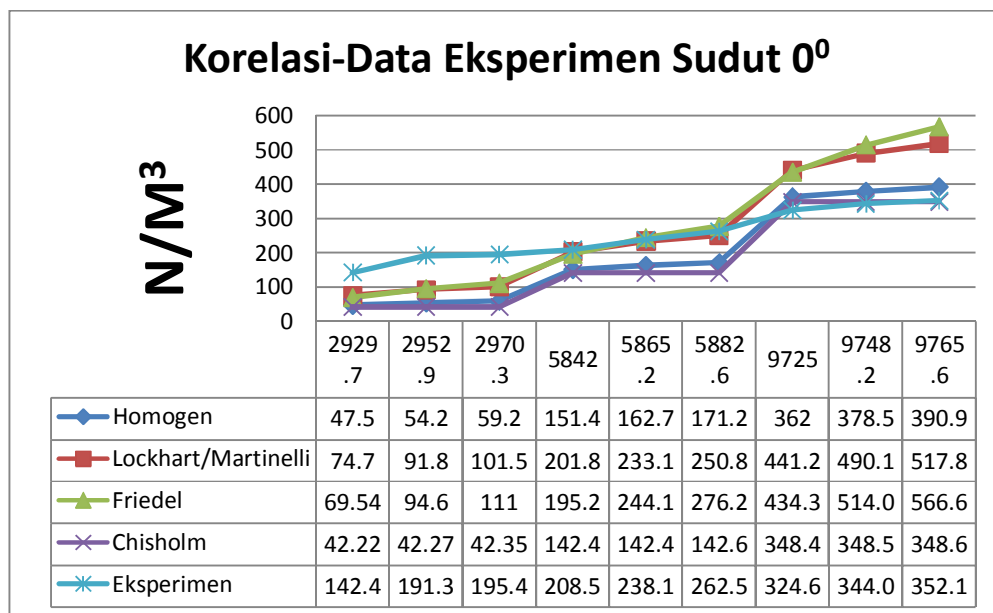
$$\mu_l = 0,798 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \text{s} \text{ (tabel properties)}$$

$$\rho_l = 996 \text{ kg/m}^3 \text{ (tabel properties)}$$

$$x = \frac{m_g}{m_{\text{total}}}$$

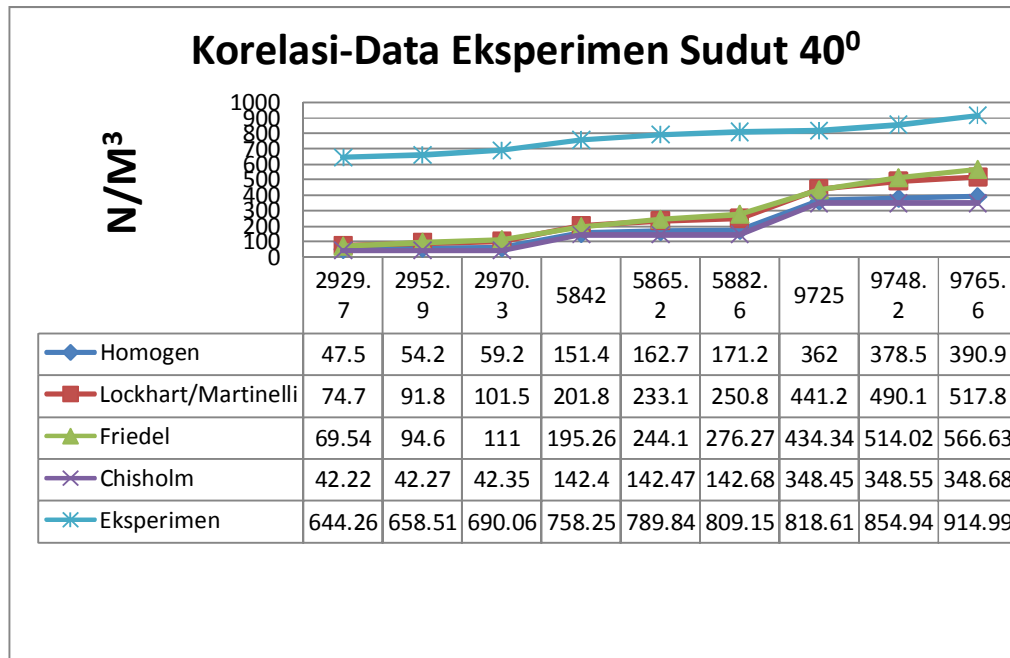
4.6 Data Eksperimen dengan Hasil Penghitungan Korelasi

Setelah dilakukannya penghitungan penurunan tekanan menggunakan 4 korelasi yaitu korelasi *Homogenous Model*, *Chisholm*, *Friedel* dan *Lockhart-Martinelli* selanjutnya hasil penurunan tekanan dari masing-masing korelasi di gabungkan dengan hasil penurunan tekanan melalui data eksperimen. Dan berikut grafik mengenai hasil penggabungan antara data penurunan tekanan menggunakan korelasi dengan data penurunan tekanan eksperimen.



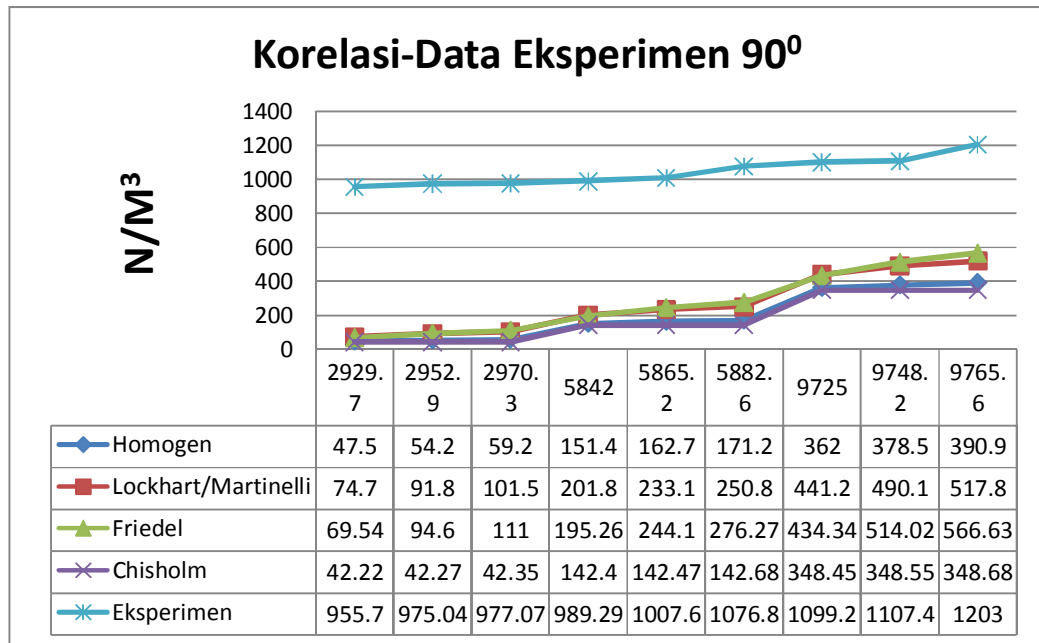
Grafik 4.4 Penurunan tekanan $(dp/dz)_f$ hasil korelasi dengan data eksperimen pada sudut 0°

Pada grafik di atas menjelaskan bahwa tiap korelasi memiliki nilai penurunan tekanan yang berbeda-beda walaupun pada debit air dan debit udara yang sama. Pada nilai penurunan tekanan data eksperimen mengalami perubahan semakin besar pada sudut yang berbeda, hal ini akan dijelaskan pada grafik selanjutnya di sudut 40° dan 90°.



Grafik 4.5 Penurunan tekanan $(dp/dz)_r$ hasil korelasi dengan data eksperimen pada sudut 40°

Pada grafik di atas menjelaskan bahwa tiap korelasi memiliki nilai penurunan tekanan yang berbeda-beda walaupun pada debit air dan debit udara yang sama. Pada nilai penurunan tekanan data eksperimen mengalami perubahan semakin besar dibandingkan dengan nilai penurunan tekanan pada sudut 0°.



Grafik 4.6 Penurunan tekanan $(dp/dz)_r$ hasil korelasi dengan data eksperimen pada sudut 90°

Pada grafik di atas menjelaskan bahwa tiap korelasi memiliki nilai penurunan tekanan yang berbeda-beda walaupun pada debit air dan debit udara yang sama. Pada nilai penurunan tekanan data eksperimen mengalami perubahan semakin besar dibandingkan dengan nilai penurunan tekanan pada sudut 40°

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian studi eksperimental analisa pengaruh debit air dan debit udara serta kemiringan pipa pada aliran dua fase dengan *insert* spiral 60^0 terhadap distribusi gelembung udara menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan debit airdan debit udara berpengaruh terhadap hasil gelembung udara yang terbentuk. Perubahan gelembung udara yang semakin kecil dikarenakan perubahan laju aliran air semakin cepat dan sebaliknya.
2. Perubahan kemiringan pipa sebesar 10^0 menyebabkan gelembung udara semakin kecil. Semakin sedikit gelembung udara dikarenakan posisi pipa yang semakin vertikal sehingga debit udara dan debit air yang konstan membuat gelembung udara cepat terbawa gaya pengapungan.
3. Penggunaan *insert* pegas spiral 60^0 membentuk gelembung udara terpecah dan distribusi gelembung udara menyebar.

5.2 Saran

1. Pada penelitian studi eksperimental ini menggunakan fasa air dan gas, diharapkan adanya perluasan bahan yang digunakan yaitu berupa minyak atau bahan lainnya.

2. Perubahan sudut yang digunakan pada penelitian studi eksperimental sebesar 10^0 , diharapkan adanya pengembangan perubahan sudut yaitu 20^0 .
3. Perubahan debit udara dan debit air yang berbeda diharapkan menjadi ilmu tambahan dalam mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik gelembung udara.
4. Pada penelitian studi eksperimental ini menggunakan empat macam korelasi yaitu *Homogenous Model*, *Chisholm*, *Friedel*, dan *Lockhart-Martinelli* diharapkan adanya penggunaan korelasi yang lain sehingga mendapatkan hasil penurunan tekanan yang bervariasi untuk dapat di bandingkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adiwibowo, Priyo Heru, *Eksperimental Karakteristik Pressure Drop pada Aliran Dua Fase Gas-Cairan Melewati Pipa Vertikal*, *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol.1, pp.65-70, 2011.
2. Delly, Jenny. *Pengaruh Temperatur Terhadap Terjadinya Kavitasi Pada Sudu Pompa Sentrifugal*. Kendari : Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Haluoleo, 2009.
3. Ghajar, A. J., *Non-Boiling Heat Transfer in Gas-Liquid Flow in Pipes- a tutorial*, USA : School of Mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State University, 2005.
4. _____ *Two-Phase Heat Transfer In Gas-Liquid Non Boiling Pipe Flows*, HEFAT 2004, Afrika, 2004.
5. _____, Kim, J. Y., dan Trimble, S. A., "Heat Transfer Measurements and Correlations For Air Water Two-Phase Slug Flow In Horizontal Pipe", 2004 ASME Heat Transfer/Fluids Engineering Summer Conference, USA, 2004.
6. Koestoer, Raldi Artono, *Aliran Dua Fase Dan Fluks Kalor Kritis*. Jakarta : Pradanya Paramita , 1992.
7. Mishima K., Hibiki T., Some characteristics of air-water two-phase flow in small diameter vertical tubes, *International Journal of Multiphase Flow*, 22 (1996), pp.703-71, 1996.
8. Wallis, G.B, *One Dimensional Two-Phase Flow*. New York : McGraw-Hill, 1969.

9. Widayana, Gede dan Triyogi Yuwono, "Studi Eksperimental Dan Numerik Aliran Dua Fase (Air - Udara) Melewati Elbow 30° Dari Pipa Vertikal Menuju Pipa Dengan Sudut Kemiringan 60°", Jakarta, 2010.
10. Woldesemayat A. Melkamu, A. J. Ghajar, "Comparison of Void Fraction Correlations in Horizontal and Upward Inclined Pipes", USA : School of Mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State University, 2006.



00_1,5_2_1



00_1,5_2_2



00_1,5_2_3



00_1,5_2_4



00_1,5_2_5



00_3_2_1



00_3_2_2



00_3_2_3



00_3_2_4



00_3_2_5



00_5_2_1



00_5_2_2



00_5_2_3



00_5_2_4



00_5_2_5



00_1,5_4_1



00_1,5_4_2



00_1,5_4_3



00_1,5_4_4



00_1,5_4_5



00_3_4_1



00_3_4_2



00_3_4_3



00_3_4_4



00_3_4_5



00_5_4_1



00_5_4_2



00_5_4_3



00_5_4_4



00_5_4_5



00_1,5_6_1



00_1,5_6_2



00_1,5_6_3



00_1,5_6_4



00_1,5_6_5



00_3_6_1



00_3_6_2



00_3_6_3



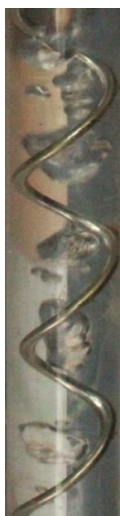
00_3_6_4



00_3_6_5



00_5_6_1



00_5_6_2



00_5_6_3



00_5_6_4



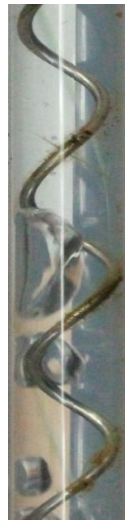
00_5_6_5



10_1,5_2_1



10_1,5_2_2



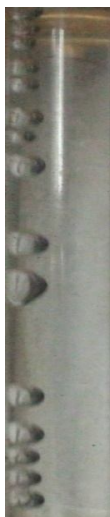
10_1,5_2_3



10_1,5_2_4



10_1,5_2_5



10_3_2_1



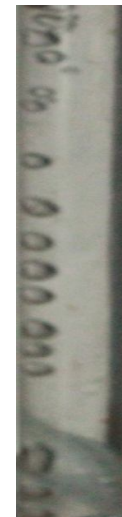
10_3_2_2



10_3_2_3



10_3_2_4



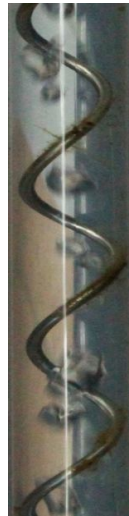
10_3_2_5



10_5_2_1



10_5_2_2



10_5_2_3



10_5_2_4



10_5_2_5



10_1,5_4_1



10_1,5_4_2



10_1,5_4_3



10_1,5_4_4



10_1,5_4_5



10_3_4_1



10_3_4_2



10_3_4_3



10_3_4_4



10_3_4_5



10_5_4_1



10_5_4_2



10_5_4_3



10_5_4_4



10_5_4_5



10_1,5_6_1



10_1,5_6_2



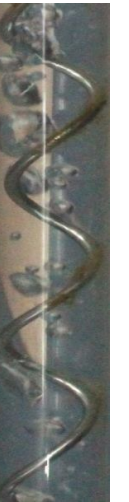
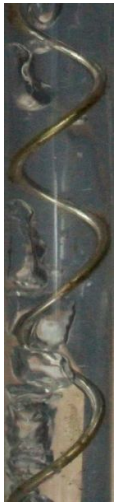
10_1,5_6_3



10_1,5_6_4



10_1,5_6_5



10_3_6_1



10_5_6_1

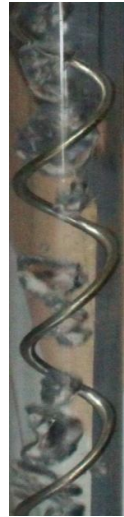


20_1,5_2_1



20_3_2_1

10_3_6_2



10_5_6_2



20_1,5_2_2



20_3_2_2

10_3_6_3



10_5_6_3



20_1,5_2_3



20_3_2_3

10_3_6_4



10_5_6_4



20_1,5_2_4



20_3_2_4

10_3_6_5



10_5_6_5



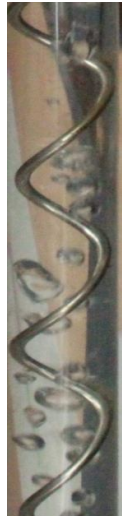
20_1,5_2_5



20_3_2_5



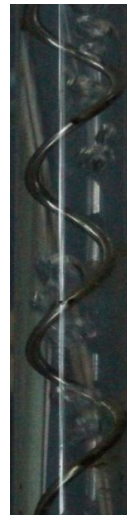
20_5_2_1



20_5_2_2



20_5_2_3



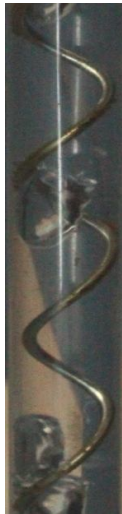
20_5_2_4



20_5_2_5



20_1,5_4_1



20_1,5_4_2



20_1,5_4_3



20_1,5_4_4



20_1,5_4_5



20_3_4_1



20_5_4_1

20_3_4_2



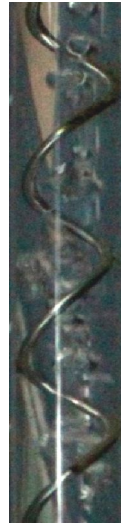
20_5_4_2

20_3_4_3



20_5_4_3

20_3_4_4



20_5_4_4

20_3_4_5



20_5_4_5



20_1,5_6_1



20_1,5_6_2



20_1,5_6_3



20_1,5_6_4



20_1,5_6_5



20_3_6_1



20_3_6_2



20_3_6_3



20_3_6_4



20_3_6_5



20_5_6_1



20_5_6_2



20_5_6_3



20_5_6_4



20_5_6_5



30_1,5_2_1



30_1,5_2_2



30_1,5_2_3



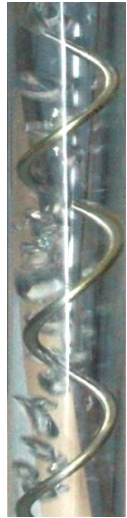
30_1,5_2_4



30_1,5_2_5



30_3_2_1



30_3_2_2



30_3_2_3



30_3_2_4



30_3_2_5



30_5_2_1



30_5_2_2



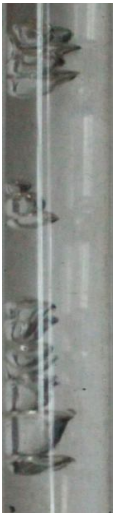
30_5_2_3



30_5_2_4



30_5_2_5



30_1,5_4_1



30_3_4_1

30_1,5_4_2



30_3_4_2

30_1,5_4_3



30_3_4_3

30_1,5_4_4



30_3_4_4

30_1,5_4_5



30_3_4_5



30_5_4_1



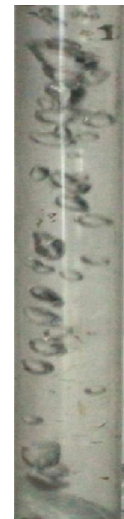
30_5_4_2



30_5_4_3



30_5_4_4



30_5_4_5



30_1,5_6_1



30_1,5_6_2



30_1,5_6_3



30_1,5_6_4



30_1,5_6_5



30_3_6_1



30_3_6_2



30_3_6_3



30_3_6_4



30_3_6_5



30_5_6_1



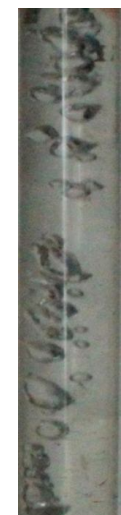
30_5_6_2



30_5_6_3



30_5_6_4



30_5_6_5



40_1,5_2_1



40_1,5_2_2



40_1,5_2_3



40_1,5_2_4



40_1,5_2_5



40_3_2_1



40_3_2_2



40_3_2_3



40_3_2_4



40_3_2_5



40_5_2_1



40_5_2_2



40_5_2_3



40_5_2_4



40_5_2_5



40_1,5_4_1



40_1,5_4_2



40_1,5_4_3



40_1,5_4_4



40_1,5_4_5



40_3_4_1



40_3_4_2



40_3_4_3



40_3_4_4



40_3_4_5



40_5_4_1



40_5_4_2



40_5_4_3



40_5_4_4



40_5_4_5



40_1,5_6_1



40_1,5_6_2



40_1,5_6_3



40_1,5_6_4



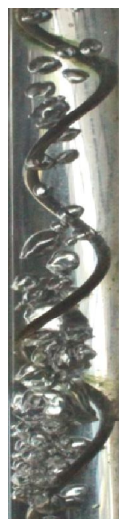
40_1,5_6_5



40_3_6_1



40_3_6_2



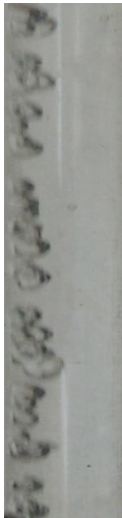
40_3_6_3



40_3_6_4



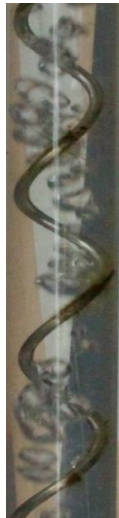
40_3_6_5



40_5_6_1



40_5_6_2



40_5_6_3



40_5_6_4



40_5_6_5



50_1,5_2_1



50_1,5_2_2



50_1,5_2_3



50_1,5_2_4



50_1,5_2_5



50_3_2_1



50_3_2_2



50_3_2_3



50_3_2_4



50_3_2_5



50_5_2_1



50_5_2_2



50_5_2_3



50_5_2_4



50_5_2_5



50_1,5_4_1



50_1,5_4_2



50_1,5_4_3



50_1,5_4_4



50_1,5_4_5



50_3_4_1



50_3_4_2



50_3_4_3



50_3_4_4



50_3_4_5



50_5_4_1



50_5_4_2



50_5_4_3



50_5_4_4



50_5_4_5



50_1,5_6_1



50_1,5_6_2



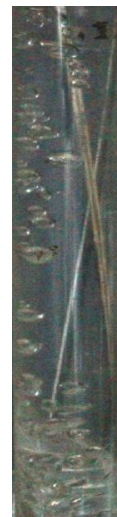
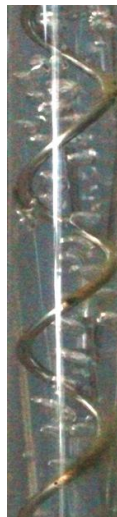
50_1,5_6_3



50_1,5_6_4



50_1,5_6_5



50_3_6_1



50_5_6_1

50_3_6_2



50_5_6_2

50_3_6_3



50_5_6_3

50_3_6_4



50_5_6_4

50_3_6_5



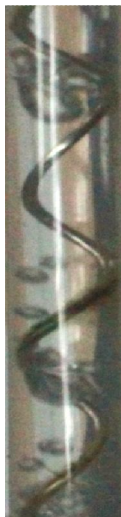
50_5_6_5



60_1,5_2_1



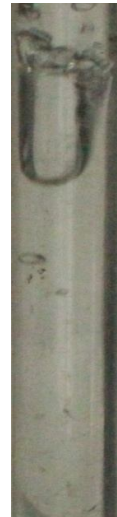
60_1,5_2_2



60_1,5_2_3



60_1,5_2_4



60_1,5_2_5



60_3_2_1



60_3_2_2



60_3_2_3



60_3_2_4



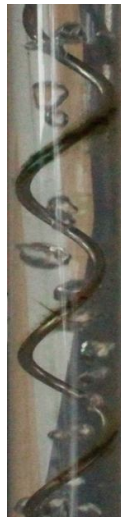
60_3_2_5



60_5_2_1



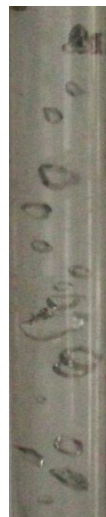
60_5_2_2



60_5_2_3



60_5_2_4



60_5_2_5



60_1,5_4_1



60_1,5_4_2



60_1,5_4_3



60_1,5_4_4



60_1,5_4_5



60_3_4_1



60_3_4_2



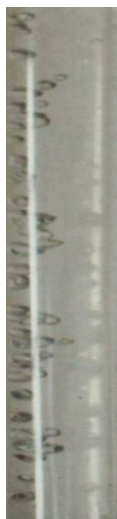
60_3_4_3



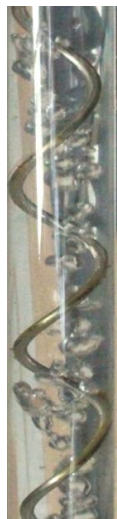
60_3_4_4



60_3_4_5



60_5_4_1



60_5_4_2



60_5_4_3



60_5_4_4



60_5_4_5



60_1,5_6_1



60_1,5_6_2



60_1,5_6_3



60_1,5_6_4



60_1,5_6_5



60_3_6_1



60_3_6_2



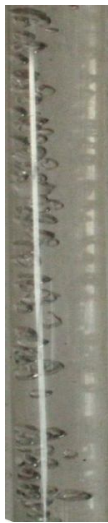
60_3_6_3



60_3_6_4



60_3_6_5



60_5_6_1



60_5_6_2



60_5_6_3



60_5_6_4



60_5_6_5



70_1,5_2_1



70_1,5_2_2



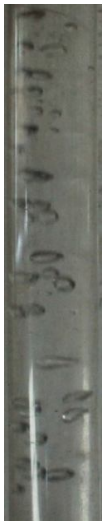
70_1,5_2_3



70_1,5_2_4



70_1,5_2_5



70_3_2_1



70_3_2_2



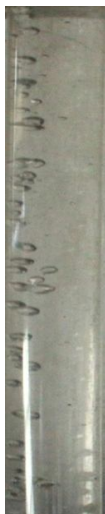
70_3_2_3



70_3_2_4



70_3_2_5



70_5_2_1



70_5_2_2



70_5_2_3



70_5_2_4



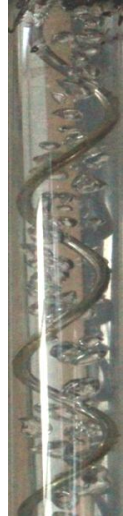
70_5_2_5

70_5_4_1



70_1,5_6_1

70_5_4_2



70_1,5_6_2

70_5_4_3



70_1,5_6_3

70_5_4_4



70_1,5_6_4

70_5_4_5



70_1,5_6_5



70_3_6_1



70_3_6_2



70_3_6_3



70_3_6_4



70_3_6_5



70_5_6_1



70_5_6_2



70_5_6_3



70_5_6_4



70_5_6_5



80_1,5_2_1



80_1,5_2_2



80_1,5_2_3



80_1,5_2_4



80_1,5_2_5



80_3_2_1



80_3_2_2



80_3_2_3



80_3_2_4



80_3_2_5



80_5_2_1



80_5_2_2



80_5_2_3



80_5_2_4



80_5_2_5



80_1,5_4_1



80_1,5_4_2



80_1,5_4_3



80_1,5_4_4



80_1,5_4_5



80_3_4_1



80_3_4_2



80_3_4_3



80_3_4_4



80_3_4_5



80_5_4_1



80_5_4_2



80_5_4_3



80_5_4_4



80_5_4_5



80_1,5_6_1



80_1,5_6_2



80_1,5_6_3



80_1,5_6_4



80_1,5_6_5



80_3_6_1



80_3_6_2



80_3_6_3



80_3_6_4



80_3_6_5



80_5_6_1



80_5_6_2



80_5_6_3



80_5_6_4



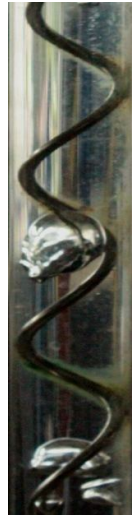
80_5_6_5



90_1,5_2_1



90_1,5_2_2



90_1,5_2_3



90_1,5_2_4



90_1,5_2_5



90_3_2_1



90_3_2_2



90_3_2_3



90_3_2_4



90_3_2_5



90_5_2_1



90_5_2_2



90_5_2_3



90_5_2_4



90_5_2_5



90_1,5_4_1



90_1,5_4_2



90_1,5_4_3



90_1,5_4_4



90_1,5_4_5



90_3_4_1



90_3_4_2



90_3_4_3



90_3_4_4



90_3_4_5



90_5_4_1



90_5_4_2



90_5_4_3



90_5_4_4



90_5_4_5



90_1,5_6_1



90_1,5_6_2



90_1,5_6_3



90_1,5_6_4



90_1,5_6_5



90_3_6_1



90_3_6_2



90_3_6_3



90_3_6_4



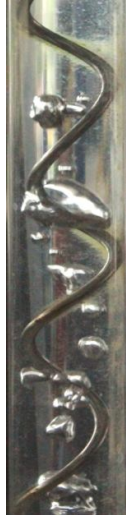
90_3_6_5



90_5_6_1



90_5_6_2



90_5_6_3



90_5_6_4



90_5_6_5

Korelasi *Homogenous Model*

debit udara (LPM)	debit air (LPM)	$Q_g(m^3/s)$	$mg(kg/s)$	$\mu_g(kg/m.s) \times 10^{-5}$	$\rho_g(kg/m^3)$	$Q_l(m^3/s)$	$m_l(kg/s)$	$\mu_l(kg/m.s) \times 10^{-3}$	$\rho_l(kg/m^3)$	M_{total}
0,2	1,5	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
0,2	3	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
0,2	5	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830
0,4	1,5	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
0,4	3	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
0,4	5	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830
0,6	1,5	0,00001	0,00001164	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
0,6	3	0,00001	0,00001164	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
0,6	5	0,00001	0,00001164	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830

A (m ²)	G (kg/m ² s)	d (m)	X	μ_h	α_h	ρ_h	Re	F_{tp}	$(dp/dz)_f$
0,00015	166	0,014	0,00014	0,00079	0,107	889,4	2929,7	0,0107	47,5
0,00015	332	0,014	0,00007	0,00080	0,057	939,7	5842,0	0,0090	151,4
0,00015	553	0,014	0,00004	0,00080	0,035	961,4	9725,0	0,0080	362,0
0,00015	166	0,014	0,00033	0,00079	0,219	778,4	2952,9	0,0107	54,2
0,00015	332	0,014	0,00016	0,00079	0,123	873,8	5865,2	0,0090	162,7
0,00015	553	0,014	0,00010	0,00079	0,077	918,9	9748,2	0,0080	378,5
0,00015	166	0,014	0,00047	0,00078	0,286	711,8	2970,3	0,0107	59,2
0,00015	332	0,014	0,00023	0,00079	0,167	830,2	5882,6	0,0090	171,2
0,00015	553	0,014	0,00014	0,00079	0,107	889,4	9765,6	0,0079	390,9

Korelasi Chisholm

debit udara (LPM)	debit air (LPM)	$Q_g(m^3/s)$	$m_g(kg/s)$	$\mu_g(kg/m.s) \times 10^{-5}$	$\rho_g(kg/m^3)$	$Q_l(m^3/s)$	$m_l(kg/s)$	$\mu_l(kg/m.s) \times 10^{-3}$	$\rho_l(kg/m^3)$	M_{total}
0,2	1,5	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
0,2	3	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
0,2	5	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830
0,4	1,5	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
0,4	3	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
0,4	5	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830
0,6	1,5	0,00001	0,00001164	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
0,6	3	0,00001	0,00001164	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
0,6	5	0,00001	0,00001164	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830

A (m ²)	G (kg/m ² s)	d (m)	x	Re(l)	Re(g)	F _l	F _g	(dp/dz) _g	(dp/dz) _l	Y	B	(2-n)/2	ϕ^2 _l	dp/dz _f
0,00015	166	0,014	0,00014	2912,28	17,41	0,01075	0,919	0,0611	42,43	0,0014	4,3	0,875	0,9981	42,35
0,00015	332	0,014	0,00007	5824,56	17,38	0,00904	0,921	0,0612	142,70	0,0004	3,0	0,875	0,9992	142,58
0,00015	553	0,014	0,00004	9707,60	16,54	0,00796	0,967	0,0643	348,85	0,0002	2,3	0,875	0,9995	348,68
0,00015	166	0,014	0,00033	2912,28	40,96	0,01075	0,391	0,1415	42,45	0,0033	4,3	0,875	0,9959	42,27
0,00015	332	0,014	0,00016	5824,56	39,72	0,00904	0,403	0,1459	142,73	0,0010	3,0	0,875	0,9982	142,47
0,00015	553	0,014	0,00010	9707,60	41,35	0,00796	0,387	0,1401	348,88	0,0004	2,3	0,875	0,9990	348,55
0,00015	166	0,014	0,00047	2912,28	58,34	0,01075	0,274	0,2027	42,46	0,0048	4,3	0,875	0,9944	42,22
0,00015	332	0,014	0,00023	5824,56	57,10	0,00904	0,280	0,2071	142,75	0,0015	3,0	0,875	0,9976	142,40
0,00015	553	0,014	0,00014	9707,60	57,89	0,00796	0,276	0,2043	348,91	0,0006	2,3	0,875	0,9987	348,45

Korelasi *Lockhart-Martinelli*

debit air (LPM)	debit udara (LPM)	$Q_g(m^3/s)$	$mg(kg/s)$	$\mu_g(kg/m.s) \times 10^{-5}$	$\rho_g(kg/m^3)$	$Q_l(m^3/s)$	$m_l(kg/s)$	$\mu_l(kg/m.s) \times 10^{-3}$	$\rho_l(kg/m^3)$	M_{total}
1,5	0,2	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
3	0,2	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
5	0,2	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830
1,5	0,4	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
3	0,4	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
5	0,4	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830
1,5	0,6	0,000010	0,00001164	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
3	0,6	0,000010	0,00001164	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
5	0,6	0,000010	0,00001164	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830

A (m ²)	G (kg/m ² s)	d (m)	χ	$dp/dz (l) N/m^3$	$dp/dz (g) N/m^3$	χ^2	χ	ϕ^2/l	$(dp/dz)f (N/m^3)$
0,00015	166	0,014	0,00014	42,43	0,0611	694,4	26,4	1,76	74,7
0,00015	332	0,014	0,00007	142,70	0,0611	2335,5	48,3	1,41	201,8
0,00015	553	0,014	0,00004	348,85	0,0611	5709,5	75,6	1,26	441,2
0,00015	166	0,014	0,00033	42,45	0,1426	297,7	17,3	2,16	91,8
0,00015	332	0,014	0,00016	142,73	0,1426	1000,9	31,6	1,63	233,1
0,00015	553	0,014	0,00010	348,88	0,1426	2446,6	49,5	1,40	490,1
0,00015	166	0,014	0,00047	42,46	0,2038	208,3	14,4	2,39	101,5
0,00015	332	0,014	0,00023	142,75	0,2038	700,4	26,5	1,76	250,8
0,00015	553	0,014	0,00014	348,91	0,2038	1712,0	41,4	1,48	517,8

Korelasi Friedel

debit udara (LPM)	debit air (LPM)	$Q_g(m^3/s)$	$mg(kg/s)$	$\mu_g(kg/m.s) \times 10^{-5}$	$\rho_g(kg/m^3)$	$Q_l(m^3/s)$	$m_l(kg/s)$	$\mu_l(kg/m.s) \times 10^{-3}$	$\rho_l(kg/m^3)$	M_{total}
0,2	1,5	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
0,2	3	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
0,2	5	0,000003	0,000003492	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830
0,4	1,5	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
0,4	3	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
0,4	5	0,000007	0,000008148	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830
0,6	1,5	0,000010	0,00001164	1,872	1,164	0,000025	0,0249	0,798	996	0,0249
0,6	3	0,000010	0,00001164	1,872	1,164	0,000050	0,0498	0,798	996	0,0498
0,6	5	0,000010	0,00001164	1,872	1,164	0,000083	0,0830	0,798	996	0,0830

$A (m^2)$	$G (kg/m^2.s)$	G^2	$d (m)$	x	x^2	Re_l	Re_g	ρ_l/ρ_g	ρ_g/ρ_l
0,00015	166	27564	0,014	0,00014	0,000000020	2912,7	124162,7	855,67	0,0012
0,00015	332	110239	0,014	0,00007	0,000000005	5825,0	248308,0	855,67	0,0012
0,00015	553	306204	0,014	0,00004	0,000000002	9708,0	413835,1	855,67	0,0012
0,00015	166	27574	0,014	0,00033	0,000000107	2913,2	124185,9	855,67	0,0012
0,00015	332	110260	0,014	0,00016	0,000000027	5825,5	248331,2	855,67	0,0012
0,00015	553	306238	0,014	0,00010	0,000000010	9708,6	413858,3	855,67	0,0012
0,00015	166	27582	0,014	0,00047	0,000000218	2913,6	124203,3	855,67	0,0012
0,00015	332	110276	0,014	0,00023	0,000000055	5825,9	248348,6	855,67	0,0012
0,00015	553	306264	0,014	0,00014	0,000000020	9709,0	413875,7	855,67	0,0012

$\mu\text{g}/\mu\text{l}$	pH	ρ^2h	$\text{Re}(g)$	$F(g)$	$\text{Re}(l)$	$F(l)$	E	F	H	Fr	We	ϕ^2l	$\text{dp}/\text{dz}l$	$\text{dp}/\text{dz}f$
0,0235	884,4	782163,36	124162,71	0,0042	2912,69	0,0108	0,9997	0,000987	224,67	0,26	0,006	1,64	42,43	69,54
0,0235	939,7	883036,09	248308,01	0,0035	5824,97	0,0090	0,9999	0,000575	224,67	0,91	0,023	1,37	142,70	195,26
0,0235	961,4	924289,96	413835,07	0,0031	9708,01	0,0080	0,9999	0,000386	224,67	2,41	0,063	1,25	348,85	434,34
0,0235	778,4	605906,56	124185,92	0,0042	2913,23	0,0108	0,9993	0,001912	224,67	0,33	0,007	2,23	42,45	94,60
0,0235	873,8	763526,44	248331,22	0,0035	5825,51	0,0090	0,9997	0,001114	224,67	1,05	0,025	1,71	142,73	244,10
0,0235	918,9	844377,21	413858,29	0,0031	9708,56	0,0080	0,9998	0,000748	224,67	2,64	0,066	1,47	348,88	514,02
0,0235	711,8	506659,24	124203,33	0,0042	2913,64	0,0108	0,9991	0,002525	224,67	0,40	0,008	2,61	42,46	111,00
0,0235	830,2	689232,04	248348,63	0,0035	5825,92	0,0090	0,9995	0,001471	224,67	1,17	0,026	1,94	142,75	276,27
0,0235	889,4	791032,36	413875,70	0,0031	9708,96	0,0080	0,9997	0,000987	224,67	2,82	0,068	1,62	348,91	566,63

Tabel penurunan tekanan sudut 0° - 90°

Debit air = 1,5 liter/menit

Debit angin = 0,2 liter/menit , 0,4 liter/menit dan 0,6 liter/menit

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1,5-0,2	14	18	43	46,6	63,3	82,1	88,8	92,3	95,6	97,2
1,5-0,4	18,8	22,6	47	48,5	67,8	84,9	86,1	89,4	91,5	95,8
1,5-0,6	20,8	30,7	52,8	59,1	64,7	73	80,9	84,7	87,1	93,9

Tabel penurunan tekanan sudut 0° - 90°

Debit air = 3 liter/menit

Debit angin = 0,2 liter/menit , 0,4 liter/menit dan 0,6 liter/menit

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
3-0,2	19,2	29,4	46,7	52,4	79,5	91,2	92,1	98,3	101,9	105,8
3-0,4	23,4	33,5	55,6	71,9	74,5	93,2	93,4	96,2	98,3	99
3-0,6	25,8	35,7	60,2	70	74,1	79,2	84,8	90,6	95,9	96

Tabel penurunan tekanan sudut 0° - 90°

Debit air = 5 liter/menit

Debit angin = 0,2 liter/menit , 0,4 liter/menit dan 0,6 liter/menit

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
5-0,2	31,9	38	52,5	63,7	80,4	82,2	93,8	97,6	110,5	118,2
5-0,4	33,8	44,1	63,3	74	84	90	99,1	102,2	107,1	108
5-0,6	34,6	45,9	65,2	77,1	89,9	98,8	102,2	103,8	105,5	108,8

RIWAYAT HIDUP



Rina pitaloka dilahirkan di Bekasi , pada tanggal 9 Agustus 1993. Putri bungsu dari 3 bersaudara pasangan Bapak Sugeng Santoso dan Ibu Titi Rahmawati. Bertempat tinggal di Jl. Melon Raya CC 13 No 8 RT 01 RW 019, Bekasi Utara. Menempuh pendidikan dasar hingga Perguruan Tinggi diselesaikan di Jakarta yaitu SD Mutiara 17 Agustus, SMP Mutiara 17 Agustus, SMA Mutiara 17 Agustus, dan Universitas Negeri Jakarta (UNJ) pada Program

Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (FT)

