



**PENGARUH UKURAN PASIR SILIKA TERHADAP *PRESSURE DROP*
ALIRAN DUA FASE PADAT CAIR**

SKRIPSI

Diajukan Dalam Rangka Penyelesaian Studi Strata 1
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Oleh :

Nama : Wisnu Hermawan

NIM : 5250401022

Prodi : Teknik Mesin S1

Jurusan : Teknik Mesin

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2006**

HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan sidang panitia ujian skripsi Jurusan Teknik Mesin,
Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang :

Hari :
Tanggal :

Panitia Ujian

Ketua

Sekretaris

Drs. Suprpto, M.Pd.

NIP. 131125645

Basyirun, S.Pd.,MT.

NIP. 132094389

Anggota Penguji,

Pembimbing I

Penguji I

Ir. Rini Dharmastiti, MSc.,PhD.

NIP. 132063223

Ir. Rini Dharmastiti, MSc.,PhD.

NIP. 132063223

Pembimbing II

Penguji II

Danang Dwi S, ST,MT

NIP. 132307549

Danang Dwi S,ST,MT

NIP. 132307549

Penguji III

Wirawan Sumbodo, MT.

NIP. 13187623

Mengetahui,

Prof. Dr. Soesanto

NIP. 130875753

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

- Sesungguhnya Allah tidak akan merubah keadaan suatu kaum, sehingga mereka merubah keadaannya sendiri (Q.S ArRo'du:11).
- Sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan (Q.S Alam Nasyroh:6).
- Manusia harus menemukan dunianya sendiri baru bisa berarti.

Persembahan:

Dengan ridhomu ya Allah, kupersembahkan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tuaku yang ku-sayangi dan ku-hormati.
2. Kakak-kakak dan keluargaku yang ku-sayangi dan ku-hormati.
3. Semua teman dan sahabatku yang ku-hormati.

KATA PENGANTAR

Seiring kasih sayang Allah SWT yang telah dilimpahkan kepada kita, marilah kita panjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberi petunjuk kepada kita ke jalan yang lurus, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ Pengaruh Ukuran Pasir Silika Terhadap *Pressure Drop* Aliran Dua Fase Padat Cair “. Adapun skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak skripsi ini tidak akan terselesaikan. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang
3. Basyirun, S.Pd., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin S1 Universitas Negeri Semarang.
4. Ir. Rini Dharmastiti, Msc, PhD., selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing, memberikan arahan dan motifasi dalam penyusunan skripsi.
5. Danang Dwi Saputro, ST, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing, memberikan arahan dan motifasi dalam penyusunan skripsi

6. Keluargaku, **Bapak dan Ibuku** tercinta, terima kasih untuk semua kasih sayang, nasehat dan dorongan yang diberikan selama ini, buat my brother ‘n sister, thanks for all spirit ‘n financial support. Luv U all...
7. *Sahabatku... Kekasihku... Fitri Yuliani untuk setiap suka dan duka yang kita alami, untuk cinta dan kasih, nasehat, semangat dan doronganmu.*
8. ALL cRew MESTAX CUSTOM, jemBLUNK, aRis megapro, Saprol, Bogel, iRoel, PramiN, thanks for hari- hari yang telah kita lalui dengan semangat “LELAKI”.
9. Sahabatku Donny, Priyo prayogo, Anggun Nugroho, aZizul, LiLik, Catur, Eddy, makasih untuk hari-hari yang kita lalui bersama.
10. Teman-teman di Jogja Kentir, Devo dan Vaizz makasih tumpangan tidurnya, Gitaran Lagi besok-besok yach.
11. Teman-teman satu kelas TM S1 angkatan 2001.
12. Si Hitam Manis “GL NEO TECH 96” yang slalu menemaniku kemanapun aku pergi.
13. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini.
Semoga Allah SWT selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan apapun bentuknya. Saran dan kritik yang bersifat membangun sangat peneliti harapkan untuk menambah wawasan pengetahuan penulis. Selanjutnya peneliti berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi peneliti pada khususny dan pembaca pada umumnya.

Semarang, September 2006

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR GRAFIK	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN	xiii
INTISARI.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Alasan Pemilihan Judul	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.4. Sistematika Penulisan Skripsi	3
BAB II. TUJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Landasan Teori	5
2.2.1. Venturimeter	5

2.2.2. Sifat-sifat fluida	6
2.2.2.1. Kerapatan (ρ)	6
2.2.2.2. Berat jenis (γ)	7
2.2.2.3. Volume jenis (v)	7
2.2.2.4. Viskositas	7
2.2.2.5. Tekanan (p)	9
2.2.3. Jenis-jenis aliran	10
2.2.3.1. Aliran laminar dan turbulen	10
2.2.3.2. Aliran mantap (<i>steady flow</i>) dan aliran tak mantap (<i>unsteady flow</i>).....	11
2.2.3.3. Aliran fluida ideal dan riil	12
2.2.4. Persamaan Kontinuitas	12
2.2.5. Persamaan Bernoulli	12
2.2.6. Aliran Padat Cair	15
2.3 Hipotesis	18
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1. Variabel Penelitian	19
3.1.1 Variabel bebas	19
3.1.2. Variabel terikat.....	19
3.2. Pengumpulan Data	19
3.2.1. Metode pengumpulan data	19
3.2.1.1. Studi litelatur.....	19
3.2.1.2. Eksperimental	19

3.2.1.3. Metode Analisis	20
3.2.2. Instrumen penelitian.....	20
3.2.2.1. Alat kerja.....	20
3.2.2.2. Alat ukur	21
3.2.2.3. Parameter yang diukur dan dihitung	22
3.2.3. Proses pengambilan data.....	22
3.2.3.1. Persiapan	22
3.2.3.2. Pelaksanaan.....	22
3.2.4. Kesulitan dan Keterbatasan Penulis	23
3.2.4. Diagram Alir Penelitian	24
3.3. Analisis Data	24
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Hasil penelitian	25
4.1.1. Campuran I	25
4.1.2. Campuran II	26
4.1.3. Campuran III	26
4.1.4. Campuran IV	27
4.2. Gambar pola aliran yang terjadi dalam pipa	28
4.3. Pembahasan Hasil Penelitian	30
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	33
5.1. Kesimpulan	33
5.2. Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data beda ketinggian air raksa pada manometer U untuk campuran I dengan 6 (enam) variasi debit.....	25
Tabel 4.2. Data beda ketinggian air raksa pada manometer U untuk campuran II dengan 6 (enam) variasi debit	26
Tabel 4.3. Data beda ketinggian air raksa pada manometer U untuk campuran III dengan 6 (enam) variasi debit.....	26
Tabel 4.4. Data beda ketinggian air raksa pada manometer U untuk campuran IV dengan 6 (enam) variasi debit.....	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Venturimeter.....	6
Gambar 2.2. Profil kecepatan dan gradien kecepatan.....	8
Gambar 2.3. Manometer Diferensial.....	10
Gambar 2.4. Pola aliran yang dipengaruhi oleh kecepatan.....	16
Gambar 2.5. Pola aliran yang tergantung oleh kecepatan secara skematis.....	16
Gambar 2.6. Pola aliran yang mengalami endapan.....	17
Gambar 3.1. Instalasi penelitian.....	20
Gambar 3.2. Venturimeter.....	22
Gambar 3.3. Diagram alir penelitian.....	24
Gambar 4.1. Pola aliran campuran I-IV.....	28

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Hubungan antara penurunan tekanan (mmHg) dengan debit (LPM).....	30
---	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Pasir Silika.....	36
Lampiran 2. Contoh perhitungan	37
Lampiran 3. Kalibrasi venturimeter	44
Lampiran 4. Tabel hasil perhitungan	45
Lampiran 5. Grafik hasil perhitungan	47
Lampiran 6. Foto-foto penelitian	48

DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN

A	: Luas, m ²
D,d	: Diameter pipa, m
g	: Percepatan gravitasi bumi, m/s ²
h	: Ketinggian, m
m	: Massa, kg
P	: Gaya, N
p	: Tekanan fluida, Pa atau N/m ²
Q	: Laju aliran, m ³ /s
V	: Kecepatan rata-rata, m/s
v	: Volume jenis, m ³ /kg
W	: Berat, N
z	: Ketinggian, m
ρ	: Kerapatan, kg/m ³
γ	: Berat jenis, N/m ³
τ	: Tegangan geser, N/m ²
μ	: Viskositas dinamis, Ns/m ²
ν	: Viskositas kinematis, m ² /s
Δp	: Perbedaan tekanan, kN/m ²
SG	: <i>Specific Gravity</i> atau kerapatan relatif
ρ _{air}	: Kerapatan (<i>density</i>) air, 1000 kg/m ³
$\frac{du}{dy}$: Gradien kecepatan setiap harga y
Re	: Reynold number

INTISARI

Pengaruh Ukuran Pasir Silika Terhadap *Pressure Drop* Aliran Dua Fase Padat Cair. Wisnu Hermawan, Ir. Rini Dharmastiti, MSc,PhD., Danang Dwi Saputro,ST,MT., 2006.

Pengangkutan partikel padat dengan fluida cair melalui pipa merupakan suatu hal yang patut mendapat perhatian, sistem pengangkutan ini merupakan salah satu alternatif dari sistem pengangkutan partikel padat yang ada. Permasalahannya adalah bagaimanakah pengaruh ukuran partikel padatnya terhadap kerugian tekanan dan bentuk pola alirannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel padatnya terhadap kerugian tekanannya dan pola aliran yang terjadi dalam pipa.

Instrumen penelitian ini adalah 4 (empat) buah pasir silika yang mempunyai ukuran mesh yang berbeda dan masing-masing dicampur dengan 10 liter air. Campuran I dengan ukuran mesh 24, campuran II dengan ukuran mesh 22, campuran III dengan ukuran mesh 20, campuran IV dengan ukuran mesh 18 dan dilakukan 6 (enam) kali percobaan pada debit (Q) 45 LPM, 40 LPM, 35 LPM, 30 LPM, 25 LPM dan 20 LPM.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah ukuran pasir silika. Sedangkan variabel terikatnya adalah selisih tinggi air raksa (Δh) dan pola alirannya.

Dari pembahasan diperoleh kesimpulan bahwa pasir silika dengan ukuran mesh yang lebih besar memiliki selisih tinggi air raksa (Δh) lebih tinggi dibanding dengan ukuran mesh yang lebih kecil. Campuran mesh 18 memiliki selisih tinggi air raksa (Δh) yang paling tinggi dan mesh 24 yang paling rendah. Pola aliran yang terjadi dari keempat jenis campuran pada debit (Q) tinggi 40-45 LPM pola alirannya sama karena kecepatan alirannya masih tinggi, namun pada debit (Q) rendah 20-25 LPM laju alirannya rendah sehingga terjadi pengendapan. Pengendapan pasir silika terbanyak pada campuran I kemudian campuran II. Pada campuran III dan campuran VI hanya sedikit pengendapannya.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Alasan Pemilihan Judul

Pengangkutan partikel padat dengan fluida cair melalui pipa merupakan suatu hal yang patut mendapat perhatian, sistem pengangkutan ini merupakan salah satu alternatif dari sistem pengangkutan partikel padat yang ada. Keuntungan dari sistem ini adalah ramah lingkungan, infrastruktur dari peralatan yang diperlukan relatif lebih sederhana, biaya perawatan dan biaya operasional lebih murah. Memperhatikan keuntungan tersebut, sistem pengangkutan suspensi padat-cair ini banyak digunakan untuk sistem pengangkutan batubara, pasir besi, mineral, maupun sistem pengangkutan di industri.

Konsentrasi partikel padat yang besar adalah merupakan tujuan dari penggunaan sistem pengangkutan partikel padat cair, namun permasalahannya konsentrasi partikel padat yang bisa diangkut sistem ini dipengaruhi beberapa faktor antara lain sifat dari partikel padat, sifat dari fluida pembawa, kedudukan dan bentuk pipa yang melalui aliran. Sifat partikel padat meliputi ukuran, bentuk densitas dan sifat permukaan partikel padat.

Untuk mengetahui secara aktual tentang aliran dua fase padat dan cair, maka penulis melakukan penelitian dengan judul ***“Pengaruh Ukuran Pasir Silika Terhadap Pressure Drop Aliran Dua Fase Padat Cair”***.

1.2. Permasalahan

Berdasarkan uraian di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah pengaruh ukuran pasir silika terhadap penurunan tekanan aliran dua fase padat – cair
- b. Bagaimana pengaruh ukuran pasir silika terhadap bentuk pola aliran yang terjadi pada aliran dua fase dengan membedakan ukuran pasir silika.

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

a. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh aliran dua fase padat-cair terhadap kerugian tekanan dan pola aliran yang terjadi dengan menggunakan uji coba ukuran partikel zat padat yang berbeda.

b. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah dapat digunakan sebagai dasar dan pertimbangan bagi dunia industri sebagai bahan acuan dalam perencanaan sistem pompa yang bekerja pada aliran padat-cair.

1.4. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dibuat dengan sistematika sebagai berikut:

Bagian isi terdiri dari lima bab yang meliputi: BAB I. Pendahuluan yang berisi tentang alasan pemilihan judul, permasalahan, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. BAB II. Landasan teori dan hipotesis yang membahas teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan skripsi, yaitu teori tentang venturimeter, sifat-sifat fluida, jenis-jenis aliran, persamaan kontinuitas, persamaan Bernoulli dan hipotesis. BAB III. Metodologi penelitian, yang menjelaskan tentang metode penelitian yaitu variabel penelitian, metode pengumpulan data dan metode analisa data. BAB IV. Hasil penelitian dan pembahasan. BAB V. Kesimpulan dan saran.

Bagian akhir dari tugas akhir ini berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Yohana (2000) mengkaji tentang karakteristik aliran fluida dilatan pasir besi-air. Penelitian dilakukan dengan mengkaji aliran yang melalui pipa horisontal lurus dan *elbow*. Dengan konsentrasi pasir besi yang melalui pipa lurus 4%, 5%, 7%, 10%, untuk pipa *elbow* 4%, 6%, 9%, 13%, diperoleh hasil pada bahwa pipa *elbow* mengalami penurunan tekanan yang lebih besar dengan kenaikan konsentrasi.

Ghanta dan Purohit (1999) yang meneliti tentang pengangkutan batu bara dan biji timah dengan fluida pembawa air yang melalui pipa dengan diameter 0,0254 m dan 0,019 m. Penelitian mengamati pengaruh konsentrasi partikel padat terhadap penurunan tekanan. Hasil penelitian gradien tekanan meningkat dengan kenaikan konsentrasi padatan pada kecepatan suspensi yang sama. Partikel kasar batu bara memiliki penurunan tekanan yang lebih kecil dibandingkan dengan partikel halus batu bara pada berbagai macam variasi kecepatan dan partikel kasar bijih timah-air memiliki perilaku yang berlawanan. Suspensi bijih timah-air memiliki penurunan tekanan yang lebih besar dibanding batu bara-air.

Daron dan Barnea (1994) dalam penelitiannya tentang penurunan tekanan dan batas kecepatan pengendapan untuk aliran padat-

cair dalam pipa. Hasil penelitian terdapat tiga batas aliran yaitu campuran heterogen pada bagian atas pipa, *moving bed* pada bagian tengah dan *stationary* pada bagian bawah pipa.

Suwono (1991) mengkaji tentang pengangkutan batu bara Bukit Asam (Sumatra Selatan) dalam pipa horisontal lurus. Dari batu bara –air (*coal water mixture*) diperoleh hasil penurunan tekanan akan bertambah dengan bertambahnya konsentrasi padatan dalam fluida pembawa, sedangkan viskositas fluida akan dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel dalam fluida dan jumlah konsentrasi padatan.

Fam dkk (1989) melakukan penelitian tentang aliran dalam pipa dengan partikel padat lumpur fosfat yang mempunyai densitas 2650 kg/m^3 . Hasil penelitian menunjukkan variasi gradien tekanan sebagai fungsi kecepatan rata-rata fluida pada berbagai konsentrasi berat. Dari hubungan tersebut pola aliran homogen terjadi pada kecepatan 7 m/s dan dengan kenaikan konsentrasi maka gradien tekanan juga meningkat.

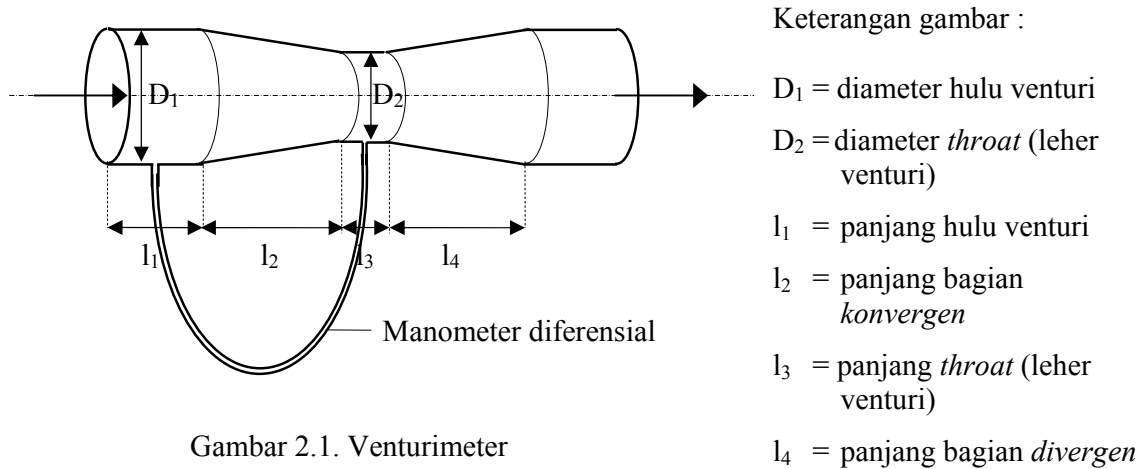
2.2. Landasan Teori

2.2.1. Venturimeter

Venturimeter adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran dalam pipa. Alat ini terdiri dari : (1) bagian hulu, yang berukuran sama dengan pipa. Pada bagian ini dipasang manometer diferensial. (2) bagian kerucut *konvergen*. (3) bagian leher yang berbentuk silinder dengan ukuran diameter lebih kecil dari

diameter hulu. Pada bagian ini juga dipasang manometer diferensial.

(4) bagian kerucut *divergen* yang secara berangsur-angsur berukuran sama dengan bagian hulu atau sama dengan pipa (Sudarja, 2002).



2.2.2. Sifat-sifat Fluida

2.2.2.1. Kerapatan (ρ)

Kerapatan (*density*) adalah massa per satuan volume. Dapat juga diartikan sebagai ukuran untuk konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan dengan massa per satuan volume (Sudarja, 2002).

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (2.1)$$

Kerapatan relatif atau *Specific Gravity* (SG) adalah perbandingan kerapatan fluida tersebut dengan kerapatan air pada sebuah temperatur tertentu. Biasanya temperatur tersebut adalah 4 °C dengan kerapatan air 1000 kg/m³ (Munson dkk, 2004):

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{air}} \dots\dots\dots (2.2)$$

2.2.2.2. Berat jenis (γ)

Berat jenis atau *specific weight* (γ) suatu zat adalah berat per satuan volume zat tersebut, atau merupakan perkalian dari kerapatan (ρ) dengan percepatan gravitasi bumi (g) (Sudarja, 2002).

$$\gamma = \rho g = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.2.2.3. Volume jenis (v)

Volume jenis atau *specific volume* (v) dari suatu zat adalah volume yang ditempati oleh satu satuan massa zat tersebut atau merupakan kebalikan dari kerapatan.

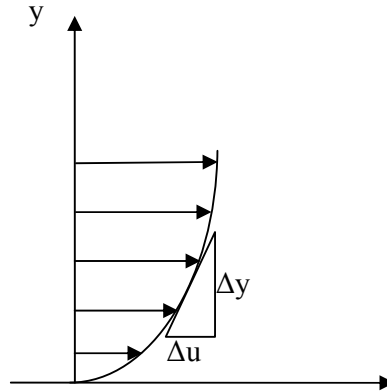
$$v = \frac{V}{m} \dots\dots\dots (2.4)$$

atau

$$v = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.2.2.4. Viskositas

Viskositas dinamis atau viskositas *absolute* (μ) adalah ukuran ketahanan fluida terhadap deformasi (perubahan bentuk) terhadap tegangan geser ataupun deformasi sudut (*angular deformation*). Timbulnya viskositas disebabkan oleh gaya kohesi dan pertukaran momentum dari molekul-molekul fluida.



Gambar 2.2. Profil kecepatan dan gradien kecepatan
(Sudarja, 2002)

Tegangan geser yang timbul :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \text{ atau } \mu = \frac{\tau}{du/dy} \dots\dots\dots (2.6)$$

Perubahan tekanan dan suhu dapat mempengaruhi besarnya viskositas. Dalam perhitungan praktis, perubahan viskositas karena perubahan tekanan bisa diabaikan karena sangat kecil.

Untuk zat cair (*liquid*), viskositas banyak dipengaruhi oleh gaya kohesi antar molekul. Bila suhu naik, gaya kohesi akan berkurang sehingga viskositasnya akan berkurang. Jadi kenaikan suhu pada zat cair akan menurunkan viskositasnya.

Untuk gas, viskositas banyak dipengaruhi oleh pertukaran momentum antar molekul. Bila suhu naik, pertukaran momentum antar molekul akan bertambah. Jadi kenaikan suhu pada gas akan menaikkan viskositasnya.

Viskositas kinematis (ν) adalah perbandingan (*ratio*) antara viskositas dinamis dengan massa jenis.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots(2.7)$$

2.2.2.5. Tekanan (p)

Tekanan fluida dipancarkan dengan kekuatan sama ke semua arah dan bekerja tegak lurus pada suatu bidang. Dalam bidang datar yang sama kekuatan tekan dalam suatu cairan sama (Giles, 1984).

Tekanan dinyatakan sebagai gaya dibagi oleh luas. Untuk keadaan-keadaan dimana gaya (P) terdistribusi merata diatas suatu luas (A), maka:

$$p = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.8)$$

Perbedaan tekanan pada dua titik, pada ketinggian yang berbeda dalam suatu fluida adalah:

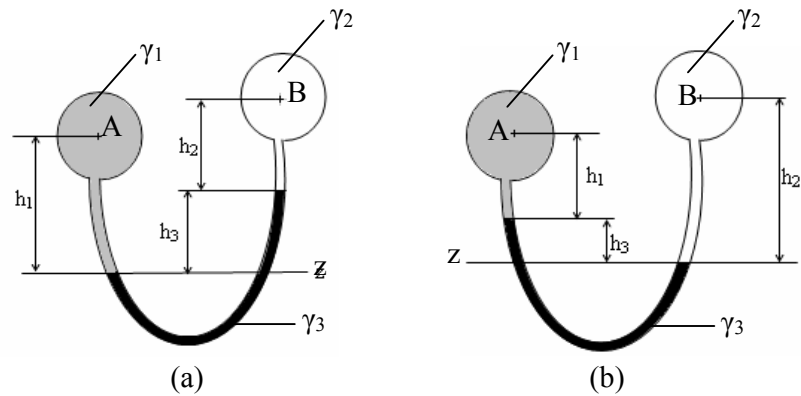
$$p_2 - p_1 = \rho g(h_2 - h_1) \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan :

$$\rho g = \gamma = \text{berat jenis (N/m}^3\text{)}$$

$$h_2 - h_1 = \text{perbedaan ketinggian (m)}$$

Untuk mengetahui perbedaan tekanan antara dua titik menggunakan manometer diferensial



Gambar 2.3. Manometer Diferensial
(Sudarja, 2002)

Dari gambar (a) :

$$p_A + h_1\gamma_1 = p_B + h_2\gamma_2 + h_3\gamma_3$$

$$p_A - p_B = h_2\gamma_2 + h_3\gamma_3 - h_1\gamma_1 \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Dari gambar (b) :

$$p_A + h_1\gamma_1 + h_3\gamma_3 = p_B + h_2\gamma_2$$

$$p_A - p_B = h_2\gamma_2 - h_1\gamma_1 - h_3\gamma_3 \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

2.2.3. Jenis-jenis Aliran

2.2.3.1 Aliran laminar dan turbulen

Pada aliran laminar partikel fluida bergerak pada lintasan yang halus (*smooth*) berbentuk lapisan-lapisan dimana satu lapis fluida bergerak secara *smooth* diatas lapisan yang lain. Dalam aliran laminar pengaruh viskositas akan meredam kecenderungan adanya turbulensi (Sudarja, 2002).

Aliran turbulen merupakan hal yang paling banyak kita jumpai dalam bidang teknik. Pada aliran turbulen partikel fluida bergerak dalam lintasan yang tidak teratur yang menyebabkan terjadinya pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain. Pada aliran turbulen, tegangan geser yang timbul akan relatif lebih besar dari pada aliran laminar, sehingga kerugiannya pun juga lebih besar.

Suatu aliran termasuk aliran laminar atau turbulen, tergantung bilangan Reynold (*Reynold number*)nya.

$$Re = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{V d}{\nu} \dots\dots\dots (2.12)$$

Bilangan Reynold (Re) < 2000 : aliran laminar

$Re = 2000 \frac{s}{d}$ 4000 : transisi, cenderung berubah menjadi turbulen.

$Re > 4000$: aliran turbulen penuh

2.2.3.2 Aliran mantap (*steady flow*) dan aliran tak mantap (*unsteady flow*)

Aliran mantap yaitu apabila jumlah fluida yang mengalir per satuan waktu adalah konstan.

Aliran tak mantap yaitu apabila jumlah fluida yang mengalir per satuan waktu adalah tidak konstan atau berubah.

2.2.3.3. Aliran fluida ideal dan riil

Fluida ideal adalah fluida tanpa gesekan, sehingga proses alirannya tanpa kerugian. Pengasumsian suatu fluida sebagai fluida ideal dimaksudkan untuk membantu menganalisis kondisi aliran.

Sedangkan fluida riil adalah fluida dengan gesekan, sehingga alirannya mengalami kerugian.

2.2.4. Persamaan Kontinuitas

Untuk aliran mantap, massa fluida yang melalui semua bagian dalam aliran fluida per satuan waktu adalah sama. Persamaannya adalah (Giles, 1984) :

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \dots\dots\dots (2.13)$$

Untuk fluida inkompresibel dan bila $\rho_1 = \rho_2$ maka persamaan tersebut menjadi :

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \text{ atau } Q_1 = Q_2 \dots\dots\dots (2.14)$$

2.2.5. Persamaan Bernoulli

Persamaan ini merupakan salah satu yang tertua dalam mekanika fluida dan asumsi yang digunakan dalam menurunkan persamaan sangat banyak, tetapi persamaan tersebut dapat secara efektif untuk menganalisis suatu aliran (Munson dkk, 2004). Persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 + \gamma z = \text{konstan} \dots\dots\dots (2.15)$$

atau

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{konstan} \dots\dots\dots (2.16)$$

atau

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = \text{konstan} \dots\dots\dots (2.17)$$

Persamaan Bernoulli untuk dua titik :

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \gamma z_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \gamma z_2 \dots\dots\dots (2.18)$$

atau

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \dots\dots\dots (2.19)$$

Untuk menggunakan persamaan Bernoulli, kita harus mengingat asumsi-asumsi (1) fluidanya ideal, (2) alirannya mantap/*steady flow*, (3) alirannya tak mampu mampat. Persamaan Bernoulli dapat diterapkan hanya sepanjang sebuah garis-arus.

Bila alirannya horisontal ($z_1 = z_2$), maka persamaan Bernoulli menjadi :

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 \dots\dots\dots (2.20)$$

Efek ketidakhorizontalan aliran dapat disatukan dengan mudah dengan menyertakan perubahan ketinggian ($z_1 - z_2$) kedalam persamaan.

Kombinasi dari persamaan kontinuitas (2.14) dengan persamaan Bernoulli (2.20) menghasilkan persamaan laju aliran teoritis:

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho[1 - (A_2/A_1)^2]}} \dots\dots\dots (2.21)$$

Catatan: $A_2 < A_1$

Hasil dari laju aliran teoritis ini akan lebih besar daripada laju aliran yang terukur sebenarnya, ini karena berbagai perbedaan antara yang sebenarnya dengan asumsi-asumsi yang digunakan dalam penurunan/penggunaan persamaan Bernoulli. Perbedaan ini dapat mencapai 1 – 40 % (Munson dkk, 2004).

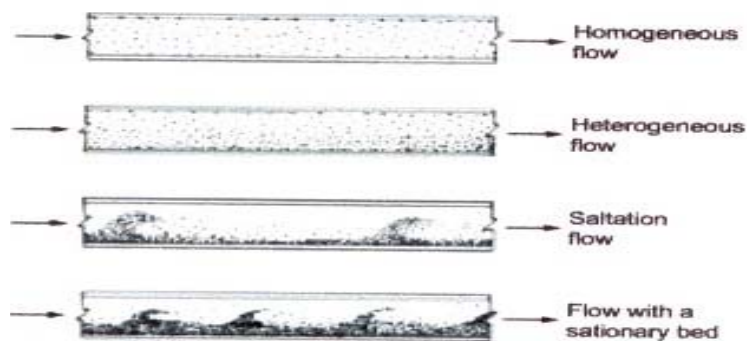
2.2.6. Aliran Padat-Cair

Sistem aliran padat-cair yang perlu diketahui adalah masalah penurunan tekanan dan pola aliran yang terjadi dalam pipa. Aliran benda padat dan cair dalam pipa menentukan pertemuan aliran utama, klasifikasinya tergantung pada total rata-rata aliran pada pintu masuk. Menurut Jacobs (1991), Kazaski (1978) memberikan petunjuk tentang pengelompokan pola aliran yang terjadi dalam pipa. Pengelompokan pola aliran tersebut adalah :

1. Aliran *Homogen* : aliran ini mempunyai perilaku seperti perilaku satu fase, hal tersebut terjadi karena pada pola aliran ini kecepatan alirannya tinggi.
2. Aliran *Homogeneous* : selama mengalir campuran ini bisa dilihat sebagai aliran yang homogen dan saat aliran diam maka partikel tersebut akan mengendap akibat gaya gravitasi.
3. Aliran *Saltasi* : aliran ini terjadi jika gaya gravitasi lebih besar, gerakan material padat secara tidak kontinyu melompat, slides (meluncur), rolling sehingga sering terjadi pengendapan.
4. Aliran *Stationary Bed* : pada aliran ini terjadi pemisahan antara aliran pembawa dengan partikel padatnya. Partikel padat bergerak secara *sliding* pada bagian bawah sedangkan

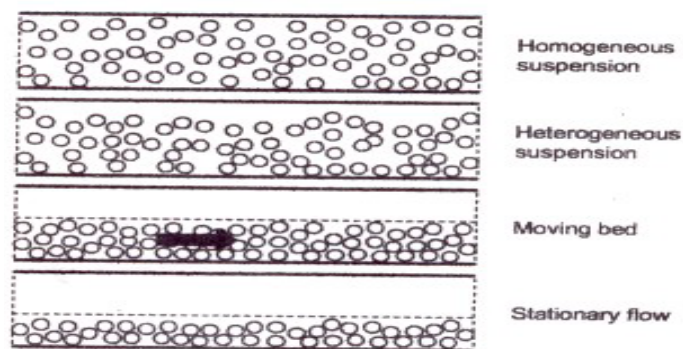
fluida pembawa terdapat batas, hal tersebut terjadi karena pada aliran ini kecepatan alirannya rendah.

Contoh dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.4. Pola aliran yang tergantung oleh kecepatan
(Jacobs,1991)

Klasifikasi ini dilengkapi oleh penulis lain dan aliran tersebut dihasilkan secara skematis yang dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:

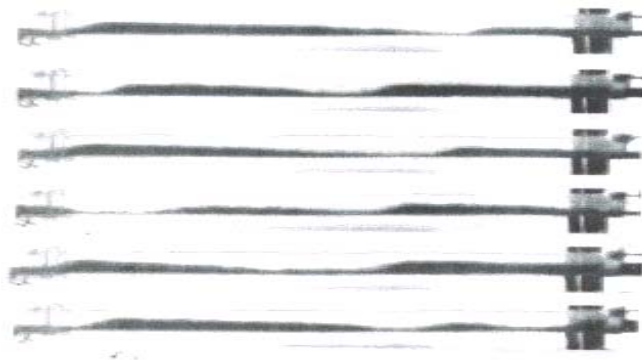


Gambar 2.5. Pola aliran yang tergantung oleh kecepatan secara skematis
(Jacobs,1991)

Pada kecepatan aliran yang besar, pencampuran tekanan cukup tinggi untuk mempertahankan dispersi homogen pada fase cair. Pada

aliran laminar proses difusi atau penyebaran partikel dibawah pemisah. Efek ini dapat membatasi pengendapan dan menghasilkan fenomena resuspensi. Pada keduanya, volume pecahan benda padat pada tabung bisa dianggap konstan pada ruang dan waktu atau untuk skala waktu lebih besar dibandingkan naik turunnya skala waktu pada putaran pencampur. Ketika kecepatan aliran menurun, pencampuran atau mekanisme suspensi bisa menjadi sama besar dengan efek gravitasi dan suspensi non homogen dijalankan. Distribusi benda padat menjadi non simetris pada arah radial pipa. Ketika kecepatan terus menurun, kata penurunan kecepatan dapat tercapai dari dasar atau endapan benda padat terbentuk (Y Peysson, 2004).

Batasan antara ketetapan utama tidaklah sederhana dan ketetapan perantara dapat dapat terjadi ketika endapan partikel mulai mengalir, bukit pasir dan gelombang muncul di permukaan. Peristiwa ini dapat dilihat pada gambar di bawah :



Gambar 2.6. pola aliran yang mengalami endapan
(Jacobs, 1991)

Dua lapisan endapan dapat terbentuk dengan endapan tak bergerak dibagian bawah dan endapan bergerak dibagian atas. Aliran homogen bisa menjadi lebih kompleks karena aliran putaran dari partikel dan kemudian penyaluran aliran putaran kompleks dapat ditemukan.

Ketetapan aliran oleh peta aliran, didasarkan pertamakali pada serangkaian data percobaan dan analisa dimensi. Perkembangan model dua lapisan memberikan prediksi yang lebih memungkinkan untuk mengklasifikasikan. Penentuan peta aliran merupakan alat sederhana untuk memperkirakan distribusi benda padat pada cairan. Hal ini membantu pengelompokan sistem padat atau cair pada pola sistem homogen atau non homogen.

2.3. Hipotesa

Dalam aliran dua fase padat dan cair yang melewati pipa lurus, ukuran partikel padat akan mempengaruhi penurunan tekanan, semakin halus atau kecil partikel padatnya penurunan tekanannya semakin kecil.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Variabel Penelitian

3.1.1. Variabel bebas

Adalah variabel yang menjadi sebab berubahnya variabel terikat. Dalam penelitian ini, yang merupakan variabel bebas adalah ukuran partikel zat padatnya.

3.1.2. Variabel terikat

Adalah variabel yang dipengaruhi oleh adanya variabel bebas. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel terikat adalah penurunan tekanan (mmHg) pada manometer differensial dan pola aliran yang terjadi pada pipa.

3.2. Pengumpulan Data

3.2.1. Metode pengumpulan data

3.2.1.1. Studi literatur

Studi literatur yaitu suatu metode yang dilakukan untuk mendapatkan bahan-bahan acuan guna mendukung penyelesaian penelitian dengan cara mempelajari buku-buku referensi yang berhubungan dengan penelitian.

3.2.1.2. Eksperimental

Studi eksperimental untuk mengambil data-data secara langsung dari pengujian yang dilakukan.

3.2.1.3. Metode Analisis

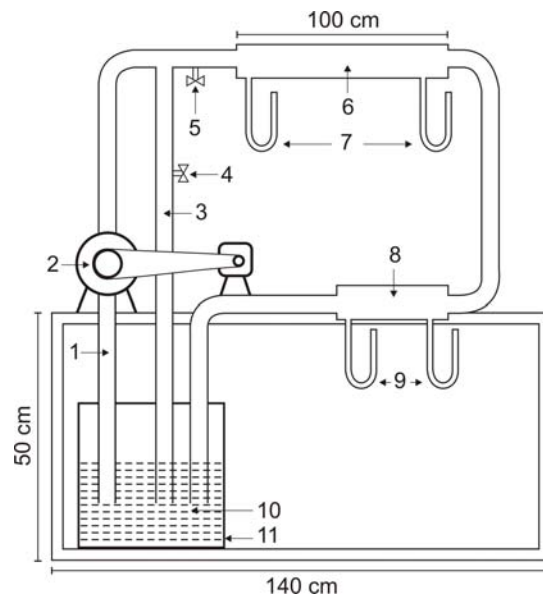
Adalah suatu r¹⁹ yang dilakukan dengan cara menganalisa data-data dan pola aliran dari hasil pengujian dengan menggunakan acuan dari buku referensi yang relevan.

3.2.2. Instrumen penelitian

3.2.2.1. Alat kerja

- Rangkaian pompa

Adapun instalasi alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :



Gambar 3.1. Instalasi Penelitian

Keterangan gambar :

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. Pipa hisap | 7. Manometer |
| 2. Pompa | 8. Venturimeter |
| 3. Pipa bypass | 9. Manometer tertutup |
| 4. Katup pengatur bypass | 10. Fluida kerja |

5. Katup pengatur debit
 6. Seksi uji (pipa transparan / *flexiglas*)
 - Spesifikasi penggerak pompa:

Single Phase AC Motor

Type JYOGA – 4, ¼ HP, 50 Hz

1430 r/min, Cont Class E

110/220 V, 4.7 / 2.35 A, No. 2438

- Kamera digital Samsung 6 megapixel
- Fluida kerja :

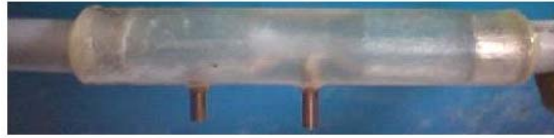
Pada penelitian ini menggunakan pasir silika dengan ukuran yang berbeda, yaitu mesh 24, 22, 20, 18.

- a. Campuran I menggunakan 10 liter air dan 0,5 kg pasir silika dengan ukuran pasir silika 24 mesh.
- b. Campuran II menggunakan 10 liter air dan 0,5 kg pasir silika dengan ukuran maksimal pasir silika 22 mesh.
- c. Campuran III menggunakan 10 liter air dan 0,5 kg pasir silika dengan ukuran maksimal pasir silika 20 mesh.
- d. Campuran IV menggunakan 10 liter air dan 0,5 kg pasir silika dengan ukuran maksimal pasir silika 18 mesh.

3.2.2.2. Alat ukur

- Penggaris
- Manometer diferensial

- Venturimeter



Gambar 3.2. Venturimeter

Spesifikasi venturimeter :

- Diameter hulu : 28 mm ; Diameter leher : 12mm
- Panjang *konvergen* dan *divergen* : 18 mm

3.2.2.3. Parameter yang dihitung dan diukur

- Δh Venturimeter
- Δh seksi uji

3.2.3. Proses pengambilan data

3.2.3.1. Persiapan

Yaitu mempersiapkan peralatan untuk penelitian, baik alat uji maupun alat ukur serta melakukan uji coba peralatan tersebut.

3.2.3.2. Pelaksanaan

- Pasang tabung venturimeter.
- Pompa dihidupkan.
- Kalibrasi venturimeter.
- Atur katup pada debit (Q) 45 LPM, 40 LPM, 35 LPM, 30 LPM, 25 LPM, dan 20 LPM. Dengan cara mengatur selisih tinggi air raksa manometer differensial pada venturimeter.

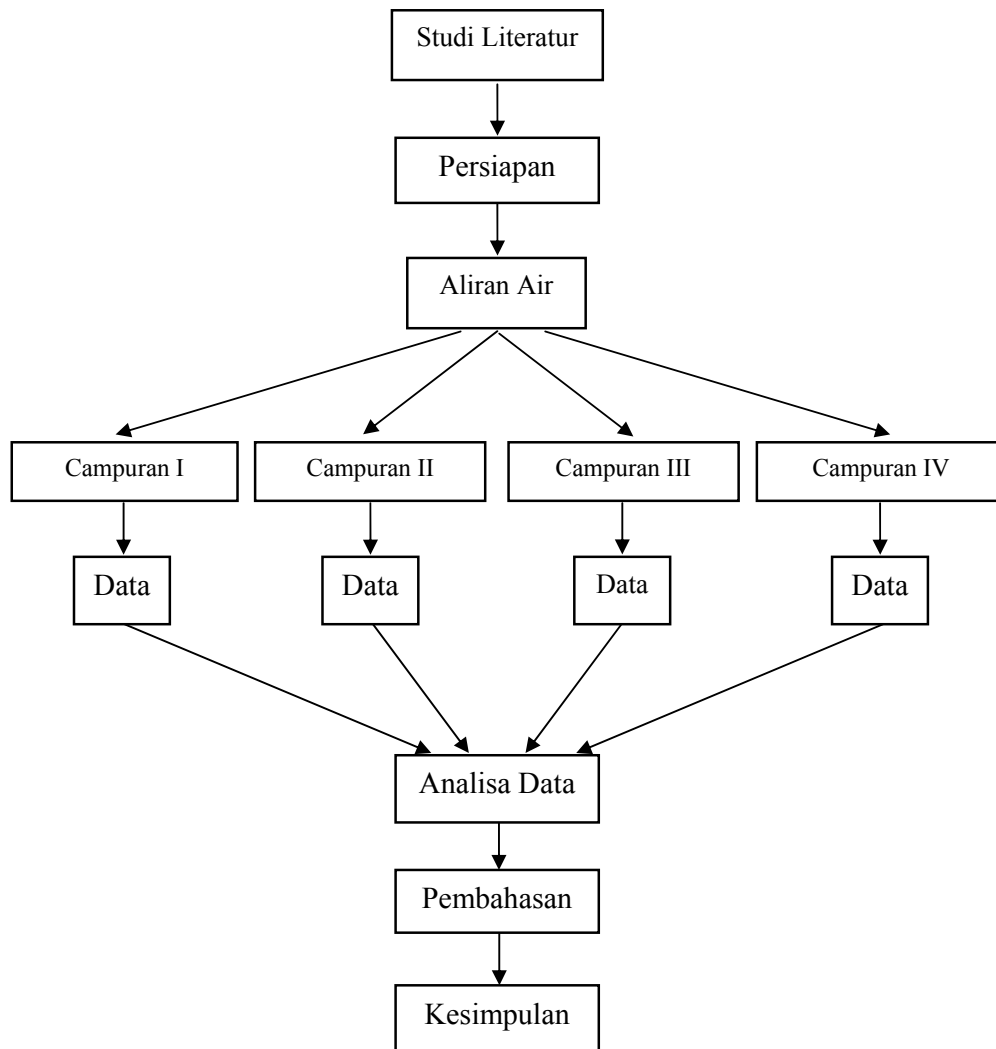
- Pengukuran selisih ketinggian air raksa manometer diferensial pada setiap debit yang ditentukan pada seksi uji (*flexiglas*).
- Pengambilan gambar pola aliran pada tiap debit yang ditentukan.
- Pengukuran dan pengambilan gambar tersebut diulangi pada setiap variasi ukuran partikel.

3.2.3.3. Kesulitan/Keterbatasan Penulis

Penelitian ini memiliki keterbatasan-keterbatasan antara lain:

- Faktor pengambilan data yang kurang tepat, hal ini berhubungan dengan tegangan listrik yang masuk ke pompa kemungkinan tegangan listrik yang masuk ke pompa berubah.
- Pengambilan data pada manometer yaitu adanya pasir silika yang masuk kedalam manometer sehingga pada pengukurannya kurang tepat.
- Instalasi penelitian, yaitu kehorisontalan seksi uji. Meskipun seksi uji sudah disejajarkan dengan rangka besi mendatar, namun dimungkinkan seksi uji tidak horisontal, walaupun kemungkinannya sangat kecil.

3.2.4. Diagram alir penelitian



Gambar 3.3. Diagram alir penelitian

3.3. Analisa Data

Analisa data dalam penelitian ini adalah dengan teknik stati deskriptif, yaitu suatu teknik yang digunakan untuk mendeskriptifkan atau menyampaikan hasil penelitian dalam bentuk grafik.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan campuran air dan pasir silika.. Berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap 4 (empat) macam campuran air dan pasir silika dengan variasi ukuran pasir silika diperoleh data-data sebagai berikut :

4.1.1. Campuran I

Campuran ini menggunakan 10 liter air dan 0,5 kg pasir silika dengan ukuran pasir silika 24 mesh.

Tabel 4.1. Data beda ketinggian air raksa pada seksi uji dengan manometer U untuk campuran I dengan 6 (enam) variasi debit.

Q (LPM)	Δh (mmHg)			Δh rata-rata (mmHg)
	1	2	3	
45	11	11	10,7	10,9
40	9,1	8,8	8,8	8,9
35	6,5	6,3	6,4	6,4
30	5,2	5,1	5,3	5,2
25	3,8	3,9	3,10	3,9
20	2,2	2,3	2,4	2,3

4.1.2. Campuran II

25

Campuran ini menggunakan 10 liter air dan 0,5 kg pasir silika dengan ukuran maksimal pasir silika 22 mesh.

Tabel 4.2. Data beda ketinggian air raksa pada seksi uji dengan manometer U untuk campuran II dengan 6 (enam) variasi debit.

Q (LPM)	Δh (mmHg)			Δh rata-rata (mmHg)
	1	2	3	
45	11,10	11,8	11,9	11,9
40	9,8	9,9	9,7	9,8
35	8,6	8,5	8,4	8,5
30	6,3	6,1	6,2	6,2
25	4,7	4,6	4,8	4,7
20	2,9	2,9	2,9	2,9

4.1.3. Campuran III

Campuran ini menggunakan 10 liter air dan 0,5 kg pasir silika dengan ukuran maksimal pasir silika 20 mesh.

Tabel 4.3. Data beda ketinggian air raksa pada seksi uji dengan manometer U untuk campuran III dengan 6 (enam) variasi debit.

Q (LPM)	Δh (mmHg)			Δh rata-rata (mmHg)
	1	2	3	
45	12,8	12,6	12,7	12,7
40	10,4	10,6	10,5	10,5
35	9,2	9,3	9,4	9,3

30	7	7	7	7
25	5,5	5,6	5,4	5,5
20	3,4	3,5	3,6	3,5

4.1.4. Campuran IV

Campuran ini menggunakan 10 liter air dan 0,5 kg pasir silika dengan ukuran maksimal pasir silika 18 mesh.

Tabel 4.4. Data beda ketinggian air raksa pada seksi uji dengan manometer U untuk campuran IV dengan 6 (enam) variasi debit.

Q (LPM)	Δh (mmHg)			Δh rata-rata (mmHg)
	1	2	3	
45	13,9	13,7	13,8	13,8
40	11,2	11,3	11,4	11,3
35	10,5	10,2	10,2	10,3
30	7,8	7,9	7,10	7,9
25	6,5	6,4	6,3	6,4
20	3,9	4,1	4	4

4.2. Gambar pola aliran yang terjadi dalam pipa

Mekanisme pola aliran yang terjadi pada keempat campuran dapat diamati secara langsung dan direkam dengan kamera digital seperti gambar dibawah ini.



a. Aliran *Homogen* (40-45 LPM)



b. Aliran *Moving Bed* (30-35 LPM)

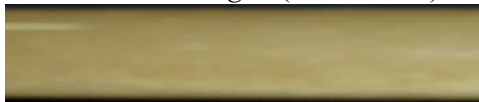


c. Aliran *Stasionary Bed*(20-25LPM)

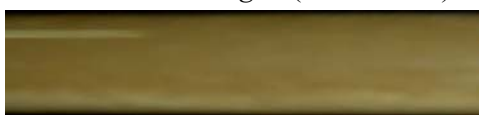
Pola aliran campuran I



a. Aliran *Homogen* (40-45 LPM)



b. Aliran *Heterogen* (30-35 LPM)



c. Aliran *Moving Bed* (20-25 LPM)

Pola aliran campuran II



a. Aliran *Homogen* (40-45 LPM)



b. Aliran *Pseudohomogen* (30-35 LPM)

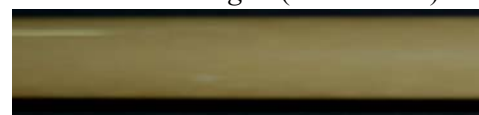


c. Aliran *Heterogen* (20-25 LPM)

Pola aliran campuran III



a. Aliran *Homogen* (40-45 LPM)



b. Aliran *Homogen* (30-35 LPM)



c. Aliran *Homogen* (20-25 LPM)

Pola aliran campuran IV

Gambar 4.1. Pola aliran campuran I-IV

Keterangan gambar :

Gambar pola aliran campuran I dapat dilihat pada aliran dengan debit 40-45 LPM tidak terlihat pengendapan pasir silika. Untuk aliran dengan debit 30-35 LPM terlihat pengendapan pasir silika tetapi masih sedikit. Untuk aliran dengan debit 20-25 LPM terlihat jelas pengendapan pasir silikanya.

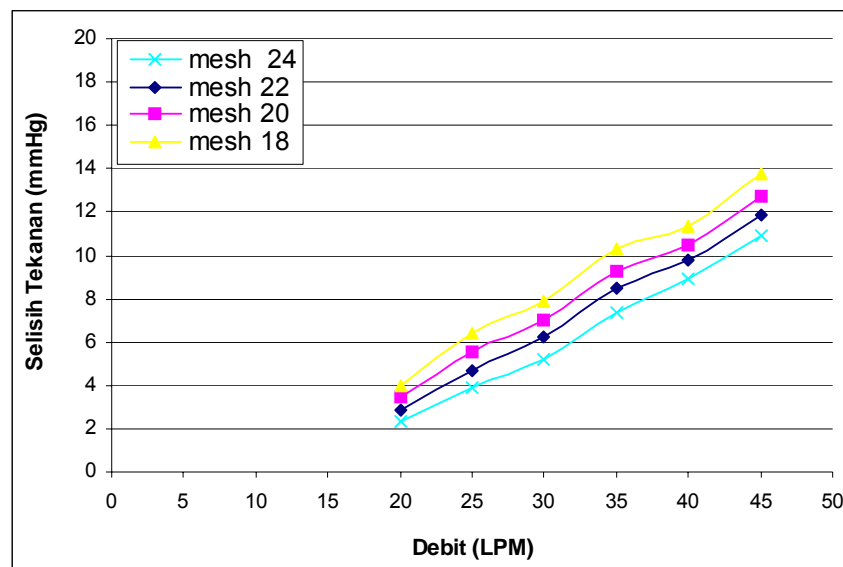
Gambar pola aliran campuran II tidak jauh berbeda dengan gambar pola aliran campuran I dapat dilihat pada aliran dengan debit 40-45 LPM tidak terlihat pengendapan pasir silika. Untuk aliran dengan debit 30-35 LPM terlihat pengendapannya tetapi masih sedikit. Untuk aliran dengan debit 20-25 LPM terjadi pengendapan tetapi tidak terlalu banyak.

Gambar pola aliran campuran III dapat dilihat pada aliran debit 40-45 LPM tidak terlihat pengendapan pasir silikanya. Untuk aliran dengan debit 30-35 LPM tidak terlihat pengendapan pasir silikanya. Untuk aliran dengan debit 20-25 LPM terlihat namun semakin berkurang pengendapan pasir silika pada pipa.

Gambar pola aliran campuran IV dapat dilihat pada aliran dengan debit 40-45 LPM tidak terlihat pengendapan pasir silika. Untuk aliran dengan debit 30-35 LPM tidak terlihat pengendapan pasir silika. Untuk aliran dengan debit 20-25 LPM terlihat tetapi tidak begitu jelas pengendapan pasir silika pada pipa.

4.3. Pembahasan Hasil Penelitian.

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh dari pengujian dan setelah dilakukan perhitungan, maka didapatkan grafik sebagai berikut :



Grafik 4.1. Hubungan antara debit aktual (Q) dengan selisih tekanan (Δh) dari seksi uji.

Berdasarkan grafik keempat venturimeter yang digabungkan dapat diketahui bahwa:

Debit (Q) yang sama pada keempat campuran diperoleh penurunan tekanan (mmHg) yang berbeda. Penurunan tekanan (mmHg) yang terendah adalah pada debit 20 LPM tertinggi pada debit 45 LPM. Berarti dengan

bertambahnya debit yang diberikan maka bertambah juga penurunan tekanan (mmHg) yang dihasilkan.

Keempat jenis campuran diperoleh penurunan tekanan (mmHg) yang berbeda pada tiap campuran dengan perlakuan debit yang sama. Pada debit tertinggi 45 LPM penurunan tekanan (mmHg) tertinggi adalah campuran IV dengan selisih tinggi air raksa 13,8 mm, sedangkan untuk debit yang sama penurunan tekanan (mmHg) terendah adalah campuran I dengan selisih tinggi air raksa 11,9 mm.

Pada debit terendah 20 LPM penurunan tekanan (mmHg) tertinggi adalah campuran IV dengan selisih tinggi air raksa 4 mm, sedangkan penurunan tekanan (mmHg) terendah adalah campuran I dengan selisih tinggi air raksa 2,3 mm.

Dari keempat jenis campuran dapat diketahui dengan bertambah besar ukuran partikel padatnya bertambah pula penurunan tekanan yang terjadi. Campuran IV merupakan campuran yang mengalami penurunan tekanan tertinggi diikuti campuran III dan campuran II sedangkan campuran I merupakan campuran yang mengalami penurunan tekanan terendah. Hal itu dikarenakan dengan ukuran partikel yang berbeda, maka kecepatan aliran yang mengalir melaluinya juga berbeda sehingga penurunan tekanannya juga berbeda. Hal tersebut sejalan dengan hukum kontinuitas atau sesuai persamaan 2.14.

Pada debit 40-45 LPM untuk campuran I, II, III dan IV laju alirannya masih tinggi sehingga belum terlihat pasir silika yang terbawa. Aliran ini termasuk golongan aliran homogen.

Pada debit 30-35 LPM untuk campuran I, II, III, dan IV pola aliran sudah terlihat pasir silika yang terbawa, tetapi belum terjadi pengendapan. Aliran ini termasuk golongan aliran heterogen.

Pada pola aliran debit 20-25 LPM untuk campuran I dan II pola alirannya sangat jelas terlihat pengendapan pasirnya. Aliran ini termasuk golongan aliran *stationery flow* karena aliran yang mengalir dalam pipa rendah. Sedangkan untuk campuran III dan IV pola aliran tidak terlalu terlihat pengendapan pasir silikanya, aliran ini termasuk golongan aliran *moving bed*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang “*Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Penurunan Tekanan Aliran Dua Fase Padat Cair*” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Campuran I memiliki penurunan tekanan (mmHg) paling rendah dibanding campuran II dan III, sedangkan campuran yang memiliki penurunan tekanan (mmHg) paling tinggi adalah campuran IV.
2. Pola aliran yang terjadi dari keempat jenis campuran pada debit (Q) tinggi 40-45 LPM pola alirannya sama karena kecepatan alirannya masih tinggi, namun pada debit (Q) rendah 20-25 LPM laju alirannya rendah sehingga terjadi pengendapan.
3. Pengendapan pasir silika terbanyak pada campuran I kemudian campuran II. Pada campuran III dan campuran VI hanya sedikit terjadi pengendapan.

5.2. Saran

1. Bagi peneliti yang tertarik pada kajian di bidang aliran fluida melalui aliran dua fase, disarankan untuk melakukan kalibrasi alat ukur sebelum melakukan penelitian.
2. Bagi peneliti yang tertari 33 ajian di bidang aliran fluida melalui aliran dua fase, disarankan untuk melakukan penelitian tentang aliran dua fase lebih lanjut dengan menggunakan campuran yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Jacobs, B.E.A., 1991, "Slurry Transport System", pp.38-55, Elsevier APPLIED Science pub.Ltd, London.
- Giles, R. V., 1984, *Mekanika Fluida dan Hidraulika*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Munson dkk., 2004, *Mekanika Fluida*, Jilid I, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Orianto, M dan Pratikno, 1989, *Mekanika Fluida I*, BPFT, Yogyakarta
- Peysson, Y, 2004, *Oil & Gas Science and Technology-Rev*, Vol. 59, No. 1, Institute Francais du Petrole, Perancis
- Sudarja, *Mekanika Fluida Dasar*, Bahan Kuliah, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.

Lampiran 1. Gambar Pasir Silika

Lampiran 2. Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan secara manual untuk mengetahui viskositas dinamis (μ), debit teoritis (Q), penurunan tekanan akibat gesekan (Δp_f), penurunan tekanan akibat gravitasi (Δp_g), penurunan tekanan total (Δp) adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kerapatan campuran ($\rho_{campuran}$)

$$m \text{ campuran I} = 10,5 \text{ kg} \quad \text{vol campuran I} = 10,3 \text{ ltr} = 10,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m \text{ campuran II} = 10,5 \text{ kg} \quad \text{vol campuran I} = 10,3 \text{ ltr} = 10,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m \text{ campuran III} = 10,5 \text{ kg} \quad \text{vol campuran I} = 10,3 \text{ ltr} = 10,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m \text{ campuran IV} = 10,5 \text{ kg} \quad \text{vol campuran I} = 10,3 \text{ ltr} = 10,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Dari persamaan (2.1) : $\rho = \frac{m}{V}$

$$\rho_{campuran \text{ I}} = \frac{10,5}{10,3 \times 10^{-3}} = 1019,42 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{campuran \text{ I}} = \rho_{campuran \text{ II}} = \rho_{campuran \text{ III}} = \rho_{campuran \text{ IV}}$$

2. Menentukan viskositas dinamis (μ)

$$r = 0,0082 \text{ m}$$

$$\rho_b = 2378 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_f = 1019,42 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$s = 0,2 \text{ m}$$

Dari persamaan (2.7) :

$$\mu = \frac{2}{9} \frac{gr^2(\rho_b - \rho_f)t}{s}$$

Untuk campuran I :

$$\mu = 1,4512 \times 10^{-4} \frac{(2382,6088 - 1019,42)t}{0,2}$$

$$= 1,4512 \times 10^{-4} \cdot 6815,944 \text{ t}$$

$$= 0,98913 \cdot \text{t} \quad \text{Ns/m}^2$$

$$\mu \text{ campuran I} = \mu \text{ campuran II} = \mu \text{ campuran III} = \mu \text{ campuran IV}$$

Misalkan menghitung viskositas dinamis (μ) pada data pengujian viskositas, pada campuran I.

$$\text{Diketahui } t \text{ rata-rata} = 0,2575 \text{ detik.}$$

$$\text{Jadi } \mu = 0,98913 \cdot 0,2575 \quad \text{Ns/m}^2$$

$$= \mathbf{0,2547} \quad \text{Ns/m}^2$$

3. Menentukan laju aliran (debit) teoritis.

$$\begin{aligned} D_1 = 28 \text{ mm} = 28 \times 10^{-3} \text{ m} & \longrightarrow A_1 = \frac{1}{4} \pi D_1^2 \\ & = 0,25 \cdot 3,14 (28 \times 10^{-3})^2 \\ & = 6,154 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_2 = 12 \text{ mm} = 12 \times 10^{-3} \text{ m} & \longrightarrow A_2 = \frac{1}{4} \pi D_2^2 \\
 & = 0,25 \cdot 3,14 (12 \times 10^{-3})^2 \\
 & = 1,13 \times 10^{-4} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

D_1 = diameter hulu venturimeter (m)

D_2 = diameter leher venturimeter (m)

Dari persamaan (2.21) :

$$\begin{aligned}
 Q &= A_2 \sqrt{\frac{2(\rho_{Hg} - \rho_{air})g \cdot \Delta h}{\rho_{air} [1 - (A_2/A_1)^2]}} \\
 Q &= 1,13 \times 10^{-4} \sqrt{\frac{2 \cdot (13570 - 1000)9,81 \cdot \Delta h}{1000 \cdot 0,96626}} \\
 Q &= 1,13 \times 10^{-4} \sqrt{\frac{246623,4 \cdot \Delta h}{966,264}} \\
 &= 1,805 \times 10^{-3} \sqrt{\Delta h} \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Misalkan menghitung debit teoritis (Q) pada Δh venturimeter yang ditetapkan 170 mmHg.

Diketahui $\Delta h = 170 \text{ mmHg}$.

Dikonversikan ke mHg : $\Delta h = 170/1000 \text{ mHg}$
 $= 0,17 \text{ mHg}$

Jadi $Q = 1,8053 \times 10^{-3} \sqrt{0,17} \text{ m}^3/\text{s}$
 $= 7,4434 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

Dikonversikan ke LPM : $Q = 7,4434 \times 10^{-4} \cdot 60000 \text{ LPM}$

$$= 44,66 \text{ LPM}$$

4. Menentukan penurunan tekanan akibat gesekan (Δp_f).

Dari persamaan (2.14) :

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \text{ atau } Q_1 = Q_2$$

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} \quad \text{dan} \quad V_1 = \frac{Q}{A_1}$$

$$V_1 = \frac{Q}{6,154 \times 10^{-4}} = \frac{1,8053 \times 10^{-3} \sqrt{\Delta h}}{6,154 \times 10^{-4}} \text{ m/s}$$

Misalkan menghitung kecepatan aliran (V) pada Δh venturimeter yang ditetapkan 170 mmHg.

$$\text{Diketahui } Q = 7,4434 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Maka } V_1 = \frac{7,4434 \times 10^{-4}}{6,154 \times 10^{-4}} \text{ m/s}$$

$$= 1,2095 \text{ m/s}$$

Dari persamaan (2.19) :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu} = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

$$Re = \frac{1019,42 \cdot V \cdot 0,028}{\mu}$$

Misalkan menghitung Re pada Δh venturimeter yang ditetapkan 170 mmHg.

Diketahui $V = 1,2095 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} \text{Maka } Re &= \frac{1019,42 \cdot 1,2095 \cdot 0,028}{0,2547} \\ &= \mathbf{135,546} \end{aligned}$$

$Re < 2000$ berarti merupakan aliran Laminer.

Dari persamaan (2.19) :

$$f = \frac{64}{Re} \quad : \text{ Untuk aliran Laminer}$$

Misalkan menghitung f pada Δh venturimeter yang ditetapkan 170 mmHg.

Diketahui $Re = 135,546$

$$\begin{aligned} \text{Maka } f &= \frac{64}{135,546} \\ &= \mathbf{0,47216} \end{aligned}$$

Dari persamaan (2.17) :

$$h_f = f \frac{LV^2}{2 \cdot d \cdot g}$$

Misalkan menghitung h_f pada Δh venturimeter yang ditetapkan 170 mmHg.

Diketahui : $f = 0,47216$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$V = 1,2095 \text{ m/s}$$

$$d = 28 \text{ mm} = 0.028 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka } h_f &= 0,47216 \frac{1 \cdot (1,2095)^2}{2 \cdot 0,028 \cdot 9,81} \\
 &= 0,47216 \frac{1,4629}{0,54936} \\
 &= \mathbf{1,2573}
 \end{aligned}$$

Dari persamaan (2.17) :

$$\begin{aligned}
 \Delta p_f &= \rho \cdot g \cdot h_f \\
 &= 1019,42 \cdot 9,81 \cdot h_f \\
 &= 10000,51 \cdot h_f
 \end{aligned}$$

Misalkan menghitung h_f pada Δh venturimeter yang ditetapkan 170 mmHg.

$$\text{Diketahui : } h_f = 1,2573$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka } \Delta p_f &= 10000,51 \cdot 1,2573 \\
 &= \mathbf{12573,64} \quad \frac{N}{m^2}
 \end{aligned}$$

5. Menentukan penurunan tekanan akibat gravitasi (Δp_g).

Dari persamaan (2.17) :

$$\begin{aligned}
 \Delta p_g &= \rho g h \\
 \Delta p_g &= (\rho_{Hg} - \rho_{campuran}) g \cdot \Delta h \\
 &= (13750 - 1019,42) 9,81 \cdot \Delta h \\
 &= 123121,49 \cdot \Delta h
 \end{aligned}$$

Misalkan menghitung penurunan tekanan akibat gravitasi (Δp_g) pada Δh venturimeter yang ditetapkan 170 mmHg.

Diketahui $\Delta h = 14$ mmHg.

$$\begin{aligned}\text{Dikonversikan ke mHg : } \Delta h &= 14/1000 \text{ mHg} \\ &= 0,014 \text{ mHg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka } \Delta p_g &= 123121,49 \cdot 0,014 \\ &= \mathbf{1723,7} \quad \frac{N}{m^2}\end{aligned}$$

Lampiran 3. Kalibrasi Venturimeter

DEBIT AKTUAL

Δh (mmHg)	Waktu (detik) / 10 liter			Rata-rata	t (detik)/ 1 liter	Q aktual (LPS)	Cv
	1	2	3				
190	12.87	12.75	12.58	12.73333	1.273333	0.78534	0.998007
130	16.51	16.71	16.59	16.60333	1.660333	0.602289	0.925306
70	22.46	22.65	22.42	22.51	2.251	0.444247	0.930096
50	26.78	26.31	26.52	26.53667	2.653667	0.376837	0.933514

DEBIT TEORITIS

Δh (mmHg)	Δh (mHg)	Δp (N/m ²)	$2*\Delta p$	$2*\Delta p/966,264$	$\sqrt{2*\Delta p/966,264}$	Q teori (m ³ /s)	Cv
190	0.19	23429.22	46858.45	48.49445	6.963796	0.000787	0.998007
130	0.13	16030.52	32061.04	33.18042	5.760244	0.000651	0.925306
70	0.07	8631.819	17263.64	17.86638	4.226864	0.000478	0.930096
50	0.05	6165.585	12331.17	12.7617	3.572352	0.000404	0.933514

KOEFISIEN VENTURI

Δh (mmHg)	Q aktual (LPM)	Q teori (LPM)	Cv	Cv rata-rata
190	47.12042	47.21454	0.998007	0.946731
130	36.13732	39.05446	0.925306	
70	26.65482	28.65814	0.930096	
50	22.61022	24.22055	0.933514	

Lampiran 4. Tabel hasil penelitian

Kerapatan (ρ)

	m (kg)	m camp (kg)	vol camp (m ³)	ρ Camp (kg/m ³)
Campuran I	0.5	10.5	0.0103	1019.42
Campuran II	0.5	10.5	0.0103	1019.42
Campuran III	0.5	10.5	0.0103	1019.42
Campuran IV	0.5	10.5	0.0103	1019.42

Selisih tekanan (Δh)

Air murni

Q LPM	Δh pipa (mmHg)			Δh rata-rata
	1	2	3	
45	9	9.2	9.1	9.1
40	7.7	7.9	7.5	7.7
35	6.3	6.1	6.2	6.2
30	3.9	4	4.1	4
25	3.3	3.5	3.1	3.3
20	1.5	1.8	1.8	1.7

Campuran I

Q LPM	Δh pipa (mmHg)			Δh rata-rata
	1	2	3	
45	11	11	10.7	10.9
40	9.1	8.8	8.8	8.9
35	6.5	6.3	6.4	6.4
30	5.2	5.1	5.3	5.2
25	3.8	3.9	3.10	3.9
20	2.2	2.3	2.4	2.3

Campuran II

Q LPM	Δh pipa (mmHg)			Δh rata-rata
	1	2	3	
45	11,10	11,8	11,9	11,9
40	9,8	9,9	9,7	9,8
35	8,6	8,5	8,4	8,5
30	6,3	6,1	6,2	6,2
25	4,7	4,6	4,8	4,7
20	2,9	2,9	2,9	2,9

Campuran III

Q LPM	Δh pipa (mmHg)			Δh rata-rata
	1	2	3	
45	12,8	12,6	12,7	12,7
40	10,4	10,6	10,5	10,5
35	9,2	9,3	9,4	9,3
30	7	7	7	7
25	5,5	5,6	5,4	5,5
20	3,4	3,5	3,6	3,5

Campuran IV

Q LPM	Δh pipa (mmHg)			Δh rata-rata
	1	2	3	
45	13,9	13,7	13,8	13,8
40	11,2	11,3	11,4	11,3
35	10,5	10,2	10,2	10,3
30	7,8	7,9	7,10	7,9
25	6,5	6,4	6,3	6,4
20	3,9	4,1	4	4

Lampiran 5. Grafik Hasil Perhitungan