

**KAJIAN KECEPATAN SUPERFISIAL DAN POLA ALIRAN
DALAM TWO PHASE FLOW (AIR DAN UDARA) DI DALAM
PIPA VARIASI DIAMETER BERBEDA PADA ALIRAN
VERTIKAL SKALA LABORATORIUM**

SKRIPSI

BIDANG KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



EDI SANTOSO
NPM. 151210434

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONTIANAK

2020

**KAJIAN KECEPATAN SUPERFISIAL DAN POLA ALIRAN
DALAM TWO PHASE FLOW (AIR DAN UDARA) DI DALAM
PIPA VARIASI DIAMETER BERBEDA PADA ALIRAN
VERTIKAL SKALA LABORATORIUM**

SKRIPSI

BIDANG KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



EDI SANTOSO

NIM. 151210434

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONTIANAK

2020

LEMBAR PENGESAHAN
KAJIAN KECEPATAN SUPERFISIAL DAN POLA ALIRAN DALAM
TWO PHASE FLOW (AIR DAN UDARA) DI DALAM PIPA VARIASI
DIAMETER BERBEDA PADA ALIRAN VERTIKAL SKALA
LABORATORIUM

SKRIPSI

BIDANG KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



EDI SANTOSO
NIM. 151210434

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 29 Juli 2020

Dosen Pembimbing I

Fuazen, ST.,MT
NIDN. 1122087301

Dosen Penguji I

Dr.Doddy Irawan, ST.,M.Eng
NIDN. 1121108001

Dosen Pembimbing II

Gunarto, ST.,M.Eng
NIDN. 0009097301

Dosen Penguji II

Eko Sarwono, ST.,MT
NIDN. 0018106901

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik

Fuazen, ST., MT
NIDN. 1122087301

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

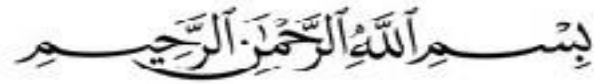
Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Pontianak, 29 Juli 2020

Edi Santoso
NIM. 151210434

HALAMAN PERSEMBAHAN



Alhamdulillah rabbil alamin segala puji hanya untuk Allah SWT tak henti-hentinya aku bersyukur atas nikmat-Mu, serta sholawat dan salam kepada mu rabbi, pemimpin terbaik, yang selalu kita harapkan syafa'atnya Baginda Nabi Muhammad SAW. Kupersembahkan karya ini untuk belahan jiwaku yaitu kedua orang tuaku yang tanpa mereka aku bukanlah siapa-siapa di dunia fana ini (ibuku tersayang Pains, dan Bapakku tercinta Buiman), terima kasih atas kasih sayang yang berlimpah dari mulai lahir, hingga saya sudah sebesar ini. Serta yang selalu mensupport agar selalu bersemangat dalam melakukan segala hal. Terima kasih ya Allah yang telah mengirimkan insan terbaik dalam hidupku.

Semoga sebuah karya kecil ini menjadi amal shaleh bagiku dan menjadi kebanggan bagi keluargaku tercinta. Dalam setiap langkahku, aku berusaha mewujudkan harapan-harapan yang kalian impikan di diriku, meski belum semua itu kuraih, Insyaallah atas dukungan doa dan restu semua mimpi itu kan terjawab di masa penuh kehangatan nanti. Untuk, itu kupersembahkan ungkapan terima kasih kepada:

Terima kasih kepada abangku Agus Wibowo yang sudah mendukungku hingga sampai sekarang dan tidak lupa untuk istri tercinta Yayan Sujana yang selalu mendorong dan memberi semangat agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini

Untuk bapak Fuazen ST.,MT, bapak Gunarto ST.,M.Eng, bapak Eko Sarwono, ST.,MT, dan bapak Dr. Doddy Irawan ST.,M.eng, selaku dosen pembimbing dan penguji tugas akhir, terima kasih banyak telah memberiku banyak nasihat, masukkan, mengajarku dengan penuh kesabaran, dan dukungan selama penulisan tugas akhir ini, yang sudah seperti orang tuaku sendiri.

Dosen-dosen Teknik Mesin yang telah memberiku bekal ilmu yang sangat berharga, inspirasi dan motivasi sehingga menyelesaikan studi.

Teman-teman seperjuanganku, terima kasih telah sudi menjadi teman baikku semasa kuliah, yang selalu ada saat tawa dan sedih, serta telah banyak, membantuku semasa kuliah, semua cerita yang kita lewati bersama tidak akan pernah terlupakan.

Tidak lupa juga ku ucapkan terima kasih kepada staff program studi teknik mesin yang telah banyak membantu dalam proses dalam perkuliahan.

Hanya sebuah karya kecil dan untaian kata-kata ini yang dapat kupersembahkan kepada kalian semua. Beribu terima kasih ku ucapkan atas segala kekhilafan dan kekurangan mohon dimaafkan By Edi Santoso.

RIWAYAT HIDUP

Edi Santoso, lahir di Pontianak Kalimantan Barat pada tanggal 16 September 1996, anak kedua dari pasangan Bapak Buiman dan Ibu Paini. Tahun 2002 penulis studi ke Sekolah Dasar Negeri 21 Pontianak Utara dan lulus pada tahun 2008. Selanjutnya pada tahun 2008 penulis melanjutkan studi ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 18 Pontianak Utara dan lulus pada tahun 2011. Tahun 2011 penulis melanjutkan ke Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 2 Pontianak Utara dan lulus pada tahun 2014. Selanjutnya pada tahun 2015 penulis melanjutkan studi ke Universitas Muhammadiyah Pontianak Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin sampai sekarang.

Melengkapi persyaratan kesarjanaan di Fakultas Teknik pada Universitas Muhammadiyah Pontianak, penulis melakukan penulisan skripsi dengan judul **“Kajian Kecepatan Superfisial Dan Pola Aliran Dalam Two Phase Flow (Air Dan Udara) Di Dalam Pipa Variasi Diameter Berbeda Pada Aliran Vertikal Skala Laboratorium”** di bawah bimbingan Bapak Fuazen, ST.,MT dan Bapak Gunarto, ST.,M.Eng.

LEMBAR IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

KAJIAN KECEPATAN SUPERFISIAL DAN POLA ALIRAN DALAM TWO PHASE FLOW (AIR DAN UDARA) DI DALAM PIPA VARIASI DIAMETER BERBEDA PADA ALIRAN VERTIKAL SKALA LABORATORIUM

Nama Mahasiswa : Edi Santoso
NIM : 151210434
Program Studi : Teknik Mesin

Dosen Pembimbing :
Dosen Pembimbing I : Fuazen, ST., MT
Dosen Pembimbing II : Gunarto, ST., M.Eng

Tim Dosen Penguji :
Dosen Penguji I : Dr.Doddy Irawan, ST., M.Eng
Dosen Penguji II : Eko Sarwono, ST., MT
Tanggal Ujian : 22 Juli 2020

Pontianak, 29 Juli 2020

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik

Fuazen, ST., MT
NIDN. 1122087301

RINGKASAN SKRIPSI

Edi Santoso, “Kajian Kecepatan Superfisial Dan Pola Aliran Dalam Two Phase Flow (Air Dan Udara) Di Dalam Pipa Variasi Diameter Berbeda Pada Aliran Vertikal Skala Laboratorium” di bawah bimbingan bapak Eko Sarwono, ST., MT selaku pembimbing pertama dan bapak Fuazen, ST., MT selaku pembimbing kedua.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dari waktu ke waktu mendorong manusia untuk menciptakan karya yang inovatif. Kebutuhan manusia yang semakin meningkat dan beraneka ragam juga sebagai pemicu berkembangnya teknologi, di antaranya teknologi dalam bidang aliran dua fase , dimana banyak sekali contoh penerapan di dalam aliran dua fase.

Aliran dua fase seringkali dijumpai dalam beberapa ilmu teknik dan fasilitas industri seperti plant tenaga uap konvensional, evaporator dan kondensor, reaktor nuklir tekanan air, berbagai industri petrol, industri pemrosesan makanan dan bahan kimia. Dalam instalasi saluran pipa sistem tersebut yang kompleks, pipa vertikal akan sering dipakai untuk penghubung pipa. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan pipa vertikal terhadap karakteristik flow pattern pada aliran dua fase gas-cairan. Penelitian yang dilakukan secara eksperimental menggunakan pipa transparan dengan variasi diameter berbeda, antara lain diameter $\frac{1}{4}$ ” , $1\frac{1}{4}$ ”, 2” dan $\frac{3}{4}$ ” pada pipa vertikal, serta air sebagai fluida kerja cairan dan udara sebagai fluida kerja gas.

Variasi yang dilakukan adalah debit air antara 600 – 1500 L/h dan debit air konstan antara 10 – 30 L/m dan dari debit tersebut di dapatlah hasil kecepatan superfisial air dan udara. Visualisasi pola aliran pada pipa vertikal menggunakan kamera. Dari hasil penelitian dapat diperoleh kesimpulan bahwa aliran dua fase gas cairan yang melewati pipa vertikal terjadi perubahan karakteristik pola aliran yang dipengaruhi oleh kecepatan superficial dan variasi diameter pipa. Pada variasi diameter pipa terjadi pola aliran yang berbeda-beda antara lain terjadi aliran cincin, aliran acak, aliran slug, serta aliran bubble.

Kata Kunci: pipa vertikal, aliran dua fase gas-cairan, pola aliran

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*Kajian Kecepatan Superfisial Dan Pola Aliran Dalam Two Phase Flow (Air Dan Udara) Di Dalam Pipa Variasi Diameter Berbeda Pada Aliran Vertikal Skala Laboratorium*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta yang telah banyak memberikan doa dan motivasinya selama penulis menuntut ilmu.
2. Bapak Dr. H. Helman Fachri, SE., MM, Rektor Universitas Muhammadiyah Pontianak atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Muhammadiyah Pontianak.
3. Bapak Fuazen, ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik serta pembimbing I skripsi.
4. Bapak Dr. Doddy Irawan ST., M.Eng, selaku Wakil Dekan.
5. Bapak Waspodo, ST., MT, selaku Ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak.
6. Bapak Eko Sarwono, ST., MT, selaku Wakil Rektor II serta Dosen Pembimbing Akademik yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi dukungan.
7. Bapak Gunarto ST., M.Eng, selaku pembimbing II
8. Staf pengajar beserta karyawan/ti Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak.
9. Teman-teman Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak yang tidak sempat penulis sebutkan secara satu-

persatu yang juga turut serta memberikan dorongan dan semangat serta bantuannya dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa proposal skripsi ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga proposal skripsi ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Pontianak, 29 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
RIWAYAT HIDUP	v
LEMBAR IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI	vi
RINGKASAN SKRIPSI	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GRAFIK	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	4
1.3. Rumusan Masalah	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Tujuan Penelitian.....	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	5
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Kajian Pustaka.....	6
2.2. Dasar Teori.....	12
2.2.1. Pola Aliran Dua Fasa	12
2.2.2. Konsep aliran multifasa	16
2.2.3. Paramater Aliran Dua Fase	18
2.2.4. Pressure Drop pada Aliran Satu Fase	21
2.2.5. Pressure Drop pada Aliran Dua Fase	22

2.2.6.	Aliran Homogen	24
2.2.7.	Aliran Terpisah	24
2.2.8.	Fasa	25
2.2.9.	Viskositas Cairan	25
2.3.	Alat dan bahan penelitian	25
2.3.1.	Pompa air sentrifugal	25
2.3.2.	Tangki air	26
2.3.3.	Ball valve.....	27
2.3.4.	Pressure gauge	27
2.3.5.	Sambungan Tee	28
2.3.6.	Flow Meter Air dan Udara	28
2.3.7.	Kompresor	29
2.3.8.	Termocouple.....	30
2.3.9.	Control valve	30
2.3.10.	Solenoid valve	31
2.3.11.	Actuated Valve	31
2.3.12.	Check Valve.....	32
2.3.13.	Pipa akrilik	32
2.3.14.	Alat Bantu	32
BAB III	METODOLOGI	33
3.1.	Tempat Dan Waktu Penelitan	33
3.2.	Landasan Perencanaan.....	33
3.3.	Alat Dan Bahan	33
3.4.	Skema Alat Penelitian	35
3.5.	Bahan Penelitian.....	36
3.6.	Prosedur Penelitian.....	36
3.7.	Metode Penelitian.....	37
3.8.	Diagram Alir Penelitian.....	38

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Analisa Perhitungan variasi Debit Air 900 L/h dan Debit udara konstan 10 L/m	39
4.1.1. Perhitungan Section 1 (Pipa ¼ “)	39
4.1.2. Perhitungan Section 2 (Pipa 1 ¼ ”).....	44
4.1.3. Perhitungan Section 3 (Pipa 2”)	48
4.1.4. Perhitungan Section 4 (Pipa ¾ ”)	53
4.1.5. Hasil perhitungan seluruh section debit air 900 L/h dan Debit Udara 10 L/m.....	58
4.1.6. Hasil perhitungan seluruh section debit air 1200 L/h dan Debit Udara 10 L/m.....	59
4.1.7. Hasil perhitungan seluruh section debit air 1500 L/h dan Debit U dara 10 L/m.....	60
4.1.8. Hasil perhitungan seluruh section debit air 1800 L/h dan Debit Udara 10 L/m.....	61
4.2. Grafik hasil perhitungan	62
4.2.1. Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air	62
4.2.2. Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap gradient tekanan udara	62
4.2.3. Pengaruh kecepatan superfisial gas terhadap gradient tekanan air	63
4.3. Visualisasi pola aliran pipa vertikal pada variasi debit air dan udara konstan 10 L/m.....	64
4.4. Analisa Perhitungan variasi Debit Air 600 L/h dan Debit udara konstan 15 L/m	71
4.4.1. Perhitungan Section 1 (Pipa ¼ “)	71
4.4.2. Perhitungan Section 2 (Pipa 1 ¼ ”).....	76
4.4.3. Perhitungan Section 3 (Pipa 2”)	80
4.4.4. Perhitungan Section 4 (Pipa ¾ ”)	85

4.4.5.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 600 L/h dan Debit Udara 15 L/m.....	90
4.4.6.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 900 L/h dan Debit Udara 15 L/m.....	91
4.4.7.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 1500 L/h dan Debit Udara 15 L/m.....	92
4.4.8.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 1800 L/h dan Debit Udara 15 L/m.....	93
4.5.	Grafik hasil perhitungan	94
4.5.1.	Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air	94
4.5.2.	Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air	94
4.5.3.	Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air	95
4.6.	Visualisasi pola aliran pipa vertikal pada variasi debit air dan udara konstan 15 L/m.....	96
4.7.	Analisa Perhitungan variasi Debit Air 600 L/h dan Debit udara konstan 20 L/m.....	104
4.7.1.	Perhitungan Section 1 (Pipa ¼ “)	104
4.7.2.	Perhitungan Section 2 (Pipa 1 ¼ ”).....	109
4.7.3.	Perhitungan Section 3 (Pipa 2”)	113
4.7.4.	Perhitungan Section 4 (Pipa ¾ ”)	118
4.7.5.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 600 L/h dan Debit Udara 20 L/m.....	123
4.7.6.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 900 L/h dan Debit Udara 20 L/m.....	124
4.7.7.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 1500 L/h dan Debit Udara 20 L/m.....	125
4.7.8.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 1800 L/h dan Debit Udara 20 L/m.....	126

4.8.	Grafik hasil perhitungan	127
4.8.1.	Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air	127
4.8.2.	Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air	127
4.8.3.	Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air	128
4.9.	Visualisasi pola aliran pipa vertikal pada variasi debit air dan udara konstan 20 L/m.....	129
4.10.	Analisa Perhitungan variasi Debit Air 600 L/h dan Debit udara konstan 25 L/m.....	137
4.10.1.	Perhitungan Section 1 (Pipa ¼ “)	137
4.10.2.	Perhitungan Section 2 (Pipa 1 ¼ ”).....	142
4.10.3.	Perhitungan Section 3 (Pipa 2”)	146
4.10.4.	Perhitungan Section 4 (Pipa ¾ ”)	151
4.10.5.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 600 L/h dan Debit Udara 25 L/m.....	156
4.10.6.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 900 L/h dan Debit Udara 25 L/m.....	157
4.10.7.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 1200 L/h dan Debit Udara 25 L/m.....	158
4.10.8.	Hasil perhitungan seluruh section debit air 1800 L/h dan Debit Udara 25 L/m.....	159
4.11.	Grafik hasil perhitungan	160
4.11.1.	Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air	160
4.11.2.	Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air	160
4.11.3.	Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air	161

4.12. Visualisasi pola aliran pipa vertikal pada variasi debit air dan udara konstan 25 L/m.....	162
4.13. Analisa Perhitungan variasi Debit Air 600 L/h dan Debit udara konstan 30 L/m.....	169
4.13.1. Perhitungan Section 1 (Pipa ¼ “)	169
4.13.2. Perhitungan Section 2 (Pipa 1 ¼ ”).....	174
4.13.3. Perhitungan Section 3 (Pipa 2”)	178
4.13.4. Perhitungan Section 4 (Pipa ¾ ”)	183
4.13.5. Hasil perhitungan seluruh section debit air 600 L/h dan Debit Udara 30 L/m.....	188
4.13.6. Hasil perhitungan seluruh section debit air 900 L/h dan Debit Udara 30 L/m.....	189
4.13.7. Hasil perhitungan seluruh section debit air 1200 L/h dan Debit Udara 30 L/m.....	190
4.13.8. Hasil perhitungan seluruh section debit air 1500 L/h dan Debit Udara 30 L/m.....	191
4.14. Grafik hasil perhitungan	192
4.14.1. Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air.....	192
4.14.2. Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air.....	192
4.14.3. Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap kecepatan superfisial air.....	193
4.15. Visualisasi pola aliran pipa vertikal pada variasi debit air dan udara konstan 30 L/m.....	194
BAB V PENUTUP	201
5.1. Kesimpulan	201
5.2. Saran.....	202
DAFTAR PUSTAKA.....	203
LAMPIRAN.....	205

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon).....	7
Gambar 2.2. Pola Aliran	7
Gambar 2.3. Perbandingan dengan pemodelan CFD.....	9
Gambar 2.4. Diagram Eksperimen Setup.....	9
Gambar 2.5. Tipe pola aliran slug hasil observasi penelitian.....	10
Gambar 2.6. Visualisasi dari <i>bubbly flow</i> pada pipa uji vertikal.....	11
Gambar 2.7. Skema alat uji	12
Gambar 2.8. Pola Aliran pada Pipa Vertikal	14
Gambar 2.9. Pola Aliran pada Pipa Horisontal	15
Gambar 2.10. Peta Pola Aliran Vertikal	16
Gambar 2.11. Pompa Air Sentrifugal	26
Gambar 2.12. Tangki Air	26
Gambar 2.13. Ball Valve.....	27
Gambar 2.14. Pressure gauge	28
Gambar 2.15. Sambungan Tee	28
Gambar 2.16. Flow Meter Air dan Udara	29
Gambar 2.17. Kompresor.....	29
Gambar 2.18. Termocouple.....	30
Gambar 2.19. Control Valve	30
Gambar 2.20. Solenoid Valve	31
Gambar 2.21. Actuated Valve	31
Gambar 2.22. Check Valve	32
Gambar 2.23. Pipa Akrilik	32
Gambar 3.1. Skema instalasi alat penelitian	35
Gambar 4.1. Visualisasi pola aliran debit air 900 L/h Vs debit udara 10 L/h.....	64
Gambar 4.2. Visualisasi pola aliran debit air 1200 L/h Vs debit udara 10 L/h....	66
Gambar 4.3. Visualisasi pola aliran debit air 1500 L/h Vs debit udara 10 L/h....	67
Gambar 4.4. Visualisasi pola aliran debit air 1800 L/h Vs debit udara 10 L/h....	69
Gambar 4.5. Visualisasi pola aliran debit air 600 L/h Vs debit udara 15 L/h.....	96

Gambar 4.6.	Visualisasi pola aliran debit air 1200 L/h Vs debit udara 15 L/h...	98
Gambar 4.7.	Visualisasi pola aliran debit air 1500 L/h Vs debit udara 15 L/h.	100
Gambar 4.8.	Visualisasi pola aliran debit air 1800 L/h Vs debit udara 15 L/h.	102
Gambar 4.9.	Visualisasi pola aliran debit air 600 L/h Vs debit udara 20 L/h...	129
Gambar 4.10.	Visualisasi pola aliran debit air 900 L/h Vs debit udara 20 L/h...	131
Gambar 4.11.	Visualisasi pola aliran debit air 1500 L/h Vs debit udara 20 L/h.	133
Gambar 4.12.	Visualisasi pola aliran debit air 1800 L/h Vs debit udara 20 L/h.	135
Gambar 4.13.	Visualisasi pola aliran debit air 600 L/h Vs debit udara 25 L/h...	162
Gambar 4.14.	Visualisasi pola aliran debit air 900 L/h Vs debit udara 25 L/h...	164
Gambar 4.15.	Visualisasi pola aliran debit air 1200 L/h Vs debit udara 25 L/h.	165
Gambar 4.16.	Visualisasi pola aliran debit air 1800 L/h Vs debit udara 25 L/h.	167
Gambar 4.17.	Visualisasi pola aliran debit air 600 L/h Vs debit udara 30 L/h...	194
Gambar 4.18.	Visualisasi pola aliran debit air 900 L/h Vs debit udara 30 L/h...	196
Gambar 4.19.	Visualisasi pola aliran debit air 1200 L/h Vs debit udara 30 L/h.	197
Gambar 4.20.	Visualisasi pola aliran debit air 1500 L/h Vs debit udara 30 L/h.	199

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Alat Dan Bahan	34
Tabel 4.1. Debit Air Variasi 900L/h Dan Debit Udara Konstan 10 L/h.....	39
Tabel 4.2. Perhitungan Variasi Debit Air 900 L/h Dan Debit Udara 10 L/h	58
Tabel 4.3. Perhitungan Variasi Debit Air 1200 L/h Dan Debit Udara 10 L/h	59
Tabel 4.4. Perhitungan Variasi Debit Air 1500 L/h Dan Debit Udara 10 L/h	60
Tabel 4.5. Perhitungan Variasi Debit Air 1800 L/h Dan Debit Udara 10 L/h	61
Tabel 4.6. Debit Air Variasi 600L/h Dan Debit Udara Konstan 15 L/h.....	71
Tabel 4.7. Perhitungan Variasi Debit Air 600 L/h Dan Debit Udara 15 L/h	90
Tabel 4.8. Perhitungan Variasi Debit Air 1200 L/h Dan Debit Udara 15 L/h	91
Tabel 4.9. Perhitungan Variasi Debit Air 1500 L/h Dan Debit Udara 15 L/h	92
Tabel 4.10. Perhitungan Variasi Debit Air 1800 L/h Dan Debit Udara 15 L/h	93
Tabel 4.11. Debit Air Variasi 600L/h Dan Debit Udara Konstan 15 L/h.....	104
Tabel 4.12. Perhitungan Variasi Debit Air 600 L/h Dan Debit Udara 20 L/h	123
Tabel 4.13. Perhitungan Variasi Debit Air 900 L/h Dan Debit Udara 20 L/h	124
Tabel 4.14. Perhitungan Variasi Debit Air 1500 L/h Dan Debit Udara 20 L/h ..	125
Tabel 4.15. Perhitungan Variasi Debit Air 1800 L/h Dan Debit Udara 20 L/h ..	126
Tabel 4.16. Debit Air Variasi 600L/h Dan Debit Udara Konstan 15 L/h.....	137
Tabel 4.17. Perhitungan Variasi Debit Air 600 L/h Dan Debit Udara 25 L/h	156
Tabel 4.18. Perhitungan Variasi Debit Air 900 L/h Dan Debit Udara 25 L/h	157
Tabel 4.19. Perhitungan Variasi Debit Air 1200 L/h Dan Debit Udara 25 L/h ..	158
Tabel 4.20. Perhitungan Variasi Debit Air 1800 L/h Dan Debit Udara 25 L/h ..	159
Tabel 4.21. Debit Air Variasi 600L/h Dan Debit Udara Konstan 15 L/h.....	169
Tabel 4.22. Perhitungan Variasi Debit Air 600 L/h Dan Debit Udara 30 L/h	188
Tabel 4.23. Perhitungan Variasi Debit Air 900 L/h Dan Debit Udara 30 L/h	189
Tabel 4.24. Perhitungan Variasi Debit Air 1200 L/h Dan Debit Udara 30 L/h ...	190
Tabel 4.26. Perhitungan Variasi Debit Air 1500 L/h Dan Debit Udara 30 L/h ..	191

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Perbandingan total J_g terhadap total J_1 seluruh section	62
Grafik 4.2. Perbandingan total dp/dz udara terhadap J_1	62
Grafik 4.3. Perbandingan dp/dz air terhadap J_g	63
Grafik 4.4. Perbandingan total J_g terhadap total J_1 seluruh section	94
Grafik 4.5. Perbandingan total dp/dz udara terhadap J_1	94
Grafik 4.6. Perbandingan dp/dz air terhadap J_g	95
Grafik 4.7. Perbandingan total J_g terhadap total J_1 seluruh section	127
Grafik 4.8. Perbandingan total dp/dz udara terhadap J_1	127
Grafik 4.9. Perbandingan dp/dz air terhadap J_g	128
Grafik 4.10. Perbandingan total J_g terhadap total J_1 seluruh section	160
Grafik 4.11. Perbandingan total dp/dz udara terhadap J_1	160
Grafik 4.12. Perbandingan dp/dz air terhadap J_g	161
Grafik 4.13. Perbandingan total J_g terhadap total J_1 seluruh section	192
Grafik 4.14. Perbandingan total dp/dz udara terhadap J_1	192
Grafik 4.15. Perbandingan dp/dz air terhadap J_g	193

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aliran dua fasa merupakan bagian dari aliran multi-fase. Aliran multi-fase dapat terdiri atas aliran dua fase atau lebih, studi tentang aliran dua fase dapat kita perhatikan atas beberapa bagian, yaitu wujud fase, arah aliran dan kedudukan saluran. Aplikasi aliran dua fase dapat dilihat pada aliran ketel uap, kondensor, alat penukar panas, reaktor nuklir, pencairan gas alam, pipa saluran dan lain-lain. Arah aliran terdiri dari searah ke atas, searah ke bawah, dan berlawanan arah. Kedudukan saluran antara lain mendatar, tegak, atau miring.

Aliran dua fase digunakan secara ekstensif dalam pembangkit nuklir, industri kimia, pembangkit tenaga uap dan industri perminyakan. Permasalahan unik yang terjadi pada aliran dua fase adalah pola aliran dan fluktuasi tekanan yang tinggi. Pola aliran dua fase melibatkan berbagai parameter, yaitu: diameter pipa, konfigurasi pipa, slip antar fase, sifat fluida, dan laju aliran dari tiap-tiap fase. Parameter lainnya adalah batas transisi pola aliran, perubahan temperatur dan kondisi tekanan. Alasan identifikasi pola aliran merupakan hal penting adalah pola aliran tertentu akan diperoleh efisiensi produksi yang lebih dibanding dengan pola aliran lain, pola aliran tertentu dapat berbahaya (pola aliran *slug*), dan dalam perencanaan fasilitas aliran dua fase perlu mempertimbangkan pola aliran sebelum mengkaitkan dengan penurunan tekanan.

Metode untuk memprediksi jarak atau daerah munculnya pola aliran dua fasa yang umum terjadi pun menjadi sangat penting untuk dikembangkan, dan sering dibutuhkan. Salah satunya dengan menggunakan analisa dan permodelan sistem aliran dua fasa. Pola aliran dan jarak terjadinya tiap-tiap pola aliran sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fluida, bentuk atau posisi pipa

(miring, vertikal, atau horisontal), besar sistem, terjadinya perubahan fasa, dan lain-lain (Gh iaasiaan, 2008).

Salah satu aspek yang paling menantang dalam urusan aliran dua fase yang merupakan bagian dari multi fase adalah berbagai bentuk aliran. Dalam hal ini adalah aliran gas-cair, gas dapat muncul sebagai gelembung kecil dalam cairan dalam jumlah kecil. Aliran semacam itu terjadi ketika ada relatif sedikit gas dibandingkan dengan cairan, pada saat yang sama dengan cairan mengalir cukup cepat untuk membuat turbulensi yang cukup untuk mencampur gas ke dalam cairan lebih cepat daripada gas dapat naik ke atas pipa (pipa vertikal). Pola aliran dalam saluran vertikal dapat terdiri dari :

1. Aliran gelembung (*bubble*), dimana fase gas atau uap disebarkan sebagai gelembung yang mempunyai ciri tersendiri dalam fase cairan secara continue dan kadang-kadang gelembung mempunyai ukuran yang sama (*uniform*).
2. Aliran kantong udara (*slug*), gas/uap yang mengalir membentuk gelembung besar (kadang-kadang gelembung kecil terdistribusi cairan).
3. Aliran acak (*churn*), disini terjadi gerakan osilasi sehingga cairan menjadi tidak stabil.
4. Aliran cincin (*annular*), dimana sebagai fase liquid berlaku sebagai film di dinding pipa dan sebagian lagi berupa tetesan yang terdistribusi dalam gas yang mengalir pada bagian tengah pipa.
5. Aliran cincin kabut tetesan cairan (*wisphy annular*), konsentrasi tetesan dalam gas bertambah dan akhirnya bergabung membentuk gumpalan.

Untuk mengetahui perilaku pola aliran *slug*, *bubbly*, *churn*, *annular*, dan *wisphy annular*, maka dapat dilakukan analisis aliran dengan metode visualisasi yaitu dengan kamera. Pada prinsipnya metode ini didasarkan atas analisis gambar secara mendalam dengan beberapa tahapan untuk mendapatkan data-data yang diinginkan misalnya pola aliran vertikal, grafik hubungan ΔP , dan tekanan pola aliran. Salah satu keunggulan dari metode ini memungkinkan untuk menganalisis gas dengan jumlah banyak dengan tingkat akurasi yang baik dan tidak merusak atau mengganggu aliran. Dari uraian di

atas, terbatasnya penelitian tentang pola aliran dua fase searah ke atas. Dengan demikian, maka perlu dilakukan penelitian tentang studi pola aliran untuk udara cair mengalir searah ke atas pada pipa vertikal berdiameter variasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Sunarto (2011) dengan mengalirkan air dari bawah dan udara dari bawah dalam bentuk aliran kantung. Alat uji terdiri atas pipa tembaga dengan 24 mm panjang 1200 mm dililit dengan elemen pemanas listrik sepanjang pipa. Ujung atas dan bawah pipa tembaga disambung dengan pipa transparan untuk mengetahui pola aliran yang terjadi. Untuk mengukur temperatur dinding dipasang termokopel di dinding luar pada tujuh titik sepanjang pipa, sedangkan temperatur fluida diukur dengan memasang termokopel pada sumbu pipa di sembilan titik sepanjang pipa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjelaskan visualisasi aliran campuran udara-air yang mengalir di dalam pipa vertikal yang dipanaskan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan injector yang berlubang lebih besar mudah menghasilkan sehingga terbentuk aliran kantung yang berukuran panjang.

Berdasarkan uraian di atas, pengkajian terhadap pola aliran dua fasa masih sangat luas cakupannya. Banyak ilmu yang masih bisa digali untuk menjelaskan fenomena pola aliran dua fasa yang beragam. Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis akan melakukan *experimental investigation* aliran dua fase (air dan udara) menggunakan pipa acrylic variasi diameter berbeda pada aliran vertikal skala laboratorium, guna untuk mengetahui pola aliran yang terjadi dengan memvariasikan kecepatan dan volume cair-gas. diharapkan penelitian ini bisa membantu mahasiswa Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak dalam pembelajaran praktikum.

1.2 Identifikasi Masalah

Adapun permasalahan yang di dapat dari Tugas Akhir ini adalah mencari kecepatan superfisial aliran dua fase, mencari pola aliran dengan diameter berbeda dalam aliran dua fase pada aliran vertikal, dan karakteristik pola aliran vertikal searah ke atas.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari Tugas Akhir ini adalah :

- a. Berapakah kecepatan superfisial dalam pipa variasi diameter berbeda pada aliran vertikal?
- b. Bagaimanakah pola aliran dengan diameter berbeda dalam aliran dua fase pada aliran vertikal?
- c. Bagaimanakah karakteristik pola aliran vertikal searah ke atas?

1.4 Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan permasalahan di atas, maka dalam penelitian ini perlu diambil batasan masalah sebagai berikut :

- a. Temperatur udara dan air dianggap konstan dengan suhu antara 30°- 33°C.
- b. Saluran terbuat dari akrilik dengan permukaan dinding saluran licin.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui kecepatan superfisial dalam pipa dengan variasi diameter berbeda pada aliran vertikal
2. Mengetahui pola aliran dengan diameter berbeda dalam aliran dua fase pada aliran vertikal.
3. Mengetahui karakteristik pola aliran vertikal searah ke atas.

1.6 Manfaat Penelitian

Diharapkan nantinya penelitian ini dapat bermanfaat sebagai suatu bahan referensi untuk aliran dua fasa tentang pola aliran slug, bubbly, churn, annular, wisphy annular serta memberikan kontribusi untuk perkembangan ilmu pengetahuan khususnya aliran dua fase bagi laboratorium teknik mesin universitas muhammadiyah Pontianak.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. BAB I berisi pendahuluan yang menjelaskan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.
- b. BAB II terdiri dari landasan teori, tinjauan pustaka yang berkaitan dengan teori aliran dua fase, karakteristik pola aliran dua fase pada pipa vertikal, serta penjelasan tentang alat dan bahan yang digunakan.
- c. BAB III berisi metodologi penelitian yang menjelaskan peralatan yang digunakan, tempat dan pelaksanaan penelitian, langkah-langkah percobaan dan pengambilan data.
- d. BAB IV hasil penelitian dan pembahasan, yaitu bab yang menguraikan tentang hasil penelitian dan pembahasan dari data yang telah diperoleh.
- e. BAB V berisi simpulan dan saran, yaitu bab yang berisi simpulan hasil dan saran serta hasil penelitian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil kajian kecepatan superfisial dan pola aliran yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan bahwa semakin kecil diameter pipa, maka semakin besar juga nilai dari kecepatan superfisial. Hal ini dipengaruhi oleh diameter pipa yang berbeda-beda ($\frac{1}{4}$ " , $1\frac{1}{4}$ " , 2" dan $\frac{3}{4}$ "), kecepatan superfisial juga dipengaruhi oleh debit air maupun debit udara yang masuk, hasil dari penelitian menunjukkan dengan debit air 900 L/h dan debit udara 10 L/h akan didapatkan kecepatan superfisial yang berbeda-beda pada setiap pipa uji. Pada pipa $\frac{1}{4}$ " didapatkan kecepatan superfisial air 5 m/s, pipa $1\frac{1}{4}$ " didapatkan kecepatan superfisial 0,311 m/s, pipa 2" sebesar 0,127 m/s, dan pipa $\frac{3}{4}$ " didapatkan kecepatan superfisial air 0,796 m/s. Sedangkan kecepatan superfisial udara pada setiap pipa uji yaitu pada pipa $\frac{1}{4}$ " didapatkan kecepatan superfisial air 3,40 m/s, pipa $1\frac{1}{4}$ " didapatkan kecepatan superfisial 0,21 m/s, pipa 2" sebesar 0,09 m/s, dan pipa $\frac{3}{4}$ " didapatkan kecepatan superfisial air 0,54 m/s.
2. Dengan memvariasikan debit air 900 L/h dan udara 10 L/h, maka akan menghasilkan visualisasi pola aliran yang bervariasi pada setiap diameter pipa uji. Pada penelitian ini didapatkan hasil pola aliran cincin (*annular*) dan pola aliran acak (*churn*). Jika laju aliran udara diperbesar dari laju aliran cairan maka pola aliran yang didapatkan adalah aliran kantung (*slug*), sebaliknya jika laju aliran cairan lebih besar atau kecepatan superfisial udaranya rendah maka pola aliran yang didapatkan adalah aliran gelembung (*bubbly*).
3. Penambahan debit udara akan menghasilkan nilai kecepatan superfisial gas (J_G) bertambah, sehingga akan berpengaruh terhadap pola aliran sedangkan untuk penambahan debit air yang bervariasi akan mengakibatkan pola aliran yang berbeda pula.
4. Bertambahnya nilai kecepatan superfisial udara maka akan menghasilkan gelembung yang jumlahnya banyak sesuai dengan penambahan atau variasi debit air dan udara yang dilakukan. Semakin besar debit udara, maka semakin banyak juga gelembung udara yang terjadi.

5.2. Saran

1. Penulis mengharapkan adanya penelitian-penelitian serupa dengan variasi yang lebih banyak ataupun dengan metode lain yang dapat menghasilkan visualisasi pola aliran yang lebih beragam.
2. Perlunya ruangan khusus untuk melakukan percobaan ini, dikarenakan percobaan ini menggunakan kompresor udara untuk mengalirkan udara kedalam pipa akrilik, yang mana suara kompresor tersebut dapat mengganggu proses belajar mengajar yang ada diruangan sekitarnya.
3. Kamera harus mempunyai kecepatan tinggi untuk mengambil gambar pola aliran di dalam pipa akrilik, sehingga pola aliran yang di dapat mempunyai bentuk yang sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Kusumaningsih, Haslinda., Wijayanti,Widya., Widhiyanuriyawan, Denny, & Fauzi, Muhammad. 2018. *Analisis Pressure Drop Dan Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) Pada Pipa Horisontal Melalui Orifice*. Malang: Universitas Brawijaya Malang.
- Aradea, Nizzar Bagas. 2017. *Karakteristik Pola Aliran Dua Fase (udara - air) Pada Pipa Vertikal Udara Air Searah Ke Atas*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Widodo, E., Akbar, A, & Supriyanto. 2015. *Pengaruh Konsentrasi Garam Terhadap Karakteristik Aliran Dua Fase Gas Dan Air*. Sidoarjo: Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Kampus II.
- Wiryanta, I Kadek Ervan Hadi. 2015. *Void Fraction Dan Pemetaan Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) Melewati Elbow 75° Dari Pipa Vertikal Menuju Pipa Miring 15°*. Bali: Politeknik Negeri Bali.
- Robbi, N., Wahyudi, S, & Widyanuriyawan, D. 2013. *Pengaruh Hambatan Cincin Terhadap Fenomena Flooding Dalam Aliran Dua Fase Berlawanan Arah Pipa Vertikal*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Santoso, Budi., Indarto, & Deendarlianto. 2012. *Fluktuasi Beda Tekanan Dari Pola Aliran Slug Air-Udara Pada Aliran Dua Fase Searah Pipa Horizontal*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Putro, S., Sarjito, & Jatmiko. 2011. *Studi Eksperimental Koefisien Perpindahan Kalor Aliran Gelembung Melalui Pipa Anulus Dengan Pemanasan Dinding Pipa Dalam*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Noverdi . Raditia 2010. *Studi visualisasi pola aliran dua fas air-udara pada pipa mini horizontal* . Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Adiwibowo, Priyo Heru. 2010. *Karakteristik Flow Patern Pada Aliran Dua Fasa Gas-Cairan Melewati Pipa Vertikal*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Sukamta., Indarto., Purnomo, & Rohmat, Tri Agus. 2010. *Identifikasi Pola Aliran Dua Fasa Uap-Kondensat Berdasarkan Pengukuran Beda Tekanan pada Pipa Horisontal*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Sudarja dkk, 2008 “ *Studi experimental mengenai pola aliran dan fraksi hampa pada aliran gas – cairan dalam pipa berukuran mini* ”, Yogyakarta , Universitas gajah mada

Thome, J.R. 2004. Engineering Data Book III. Huntsville, AL: Wolverine Tube, Inc.

KawaharaA., ChungP.M., KawajiM., 2002, *Investigation of two-phase flow pattern, void fraction and pressure drop in a microchannel*, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 28, pp.1411-1435

Wallis, G. B., 1969, One Dimensional Two-Phase Flow, Mc Graw-Hill, New York.

<http://journal.um.ac.id/index.php/teknologi-kejuruan/article/view/3186>

<http://ejournal.umm.ac.id/index.php/industri/article/download/571/591>

<http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jwl/article/download/3626/2831>

LAMPIRAN

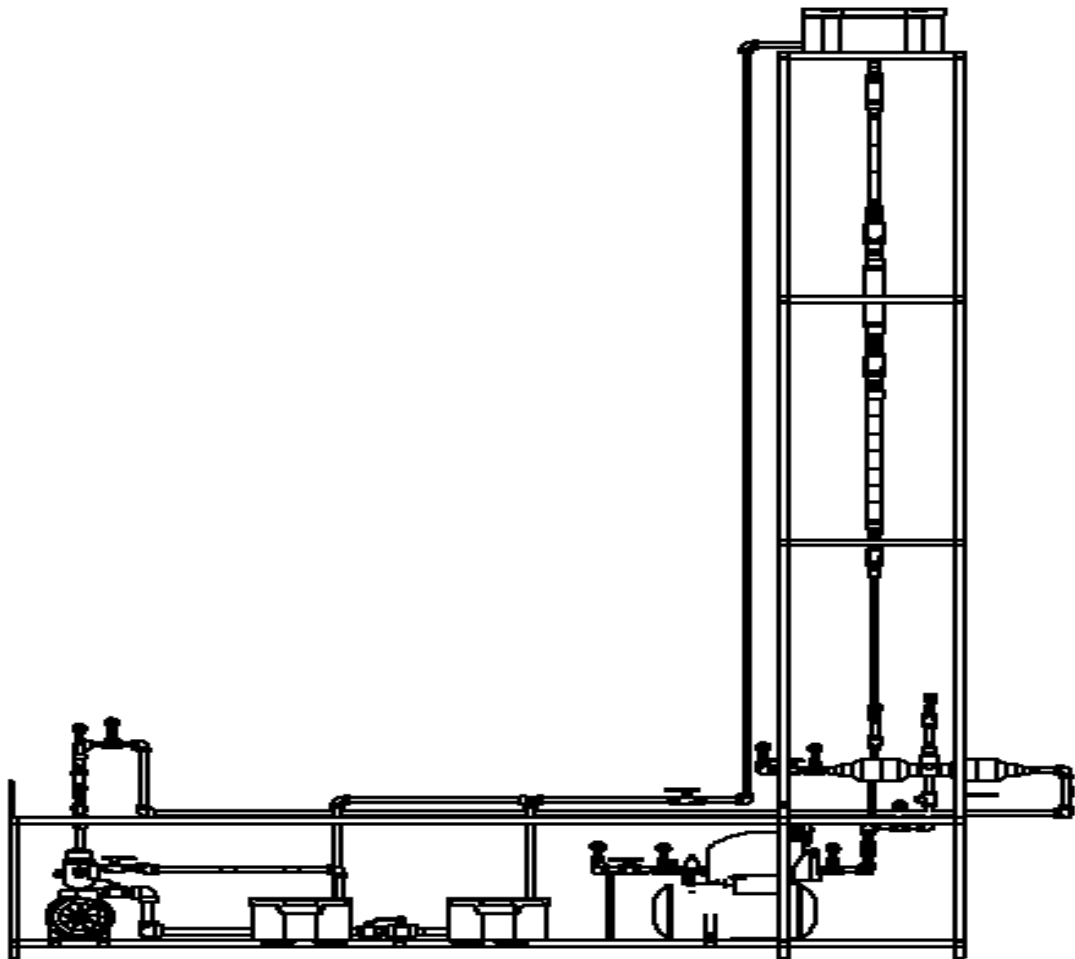
Lampiran 1. Proses pengerjaan alat

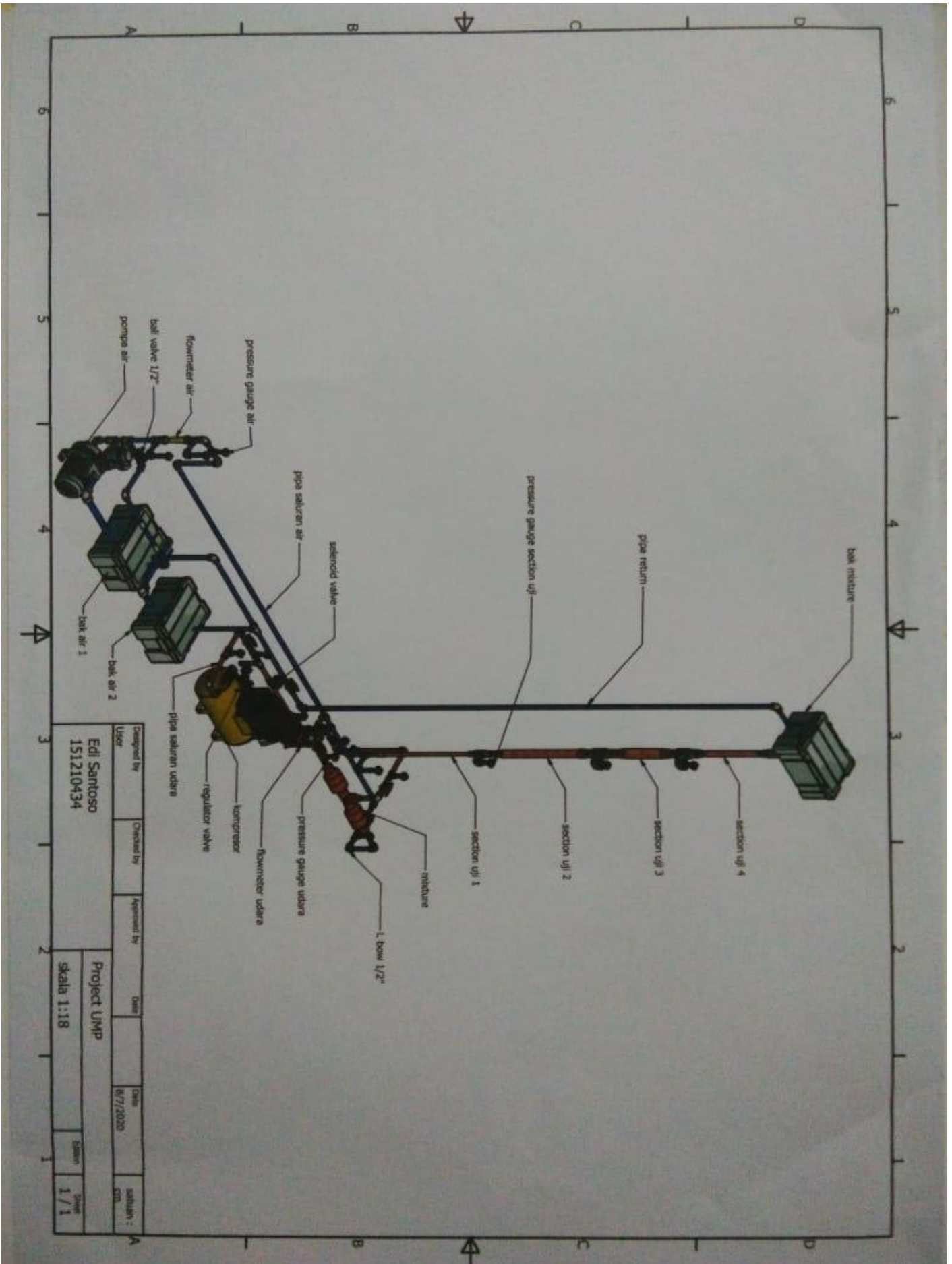






Lampiran 2. Gambar alat



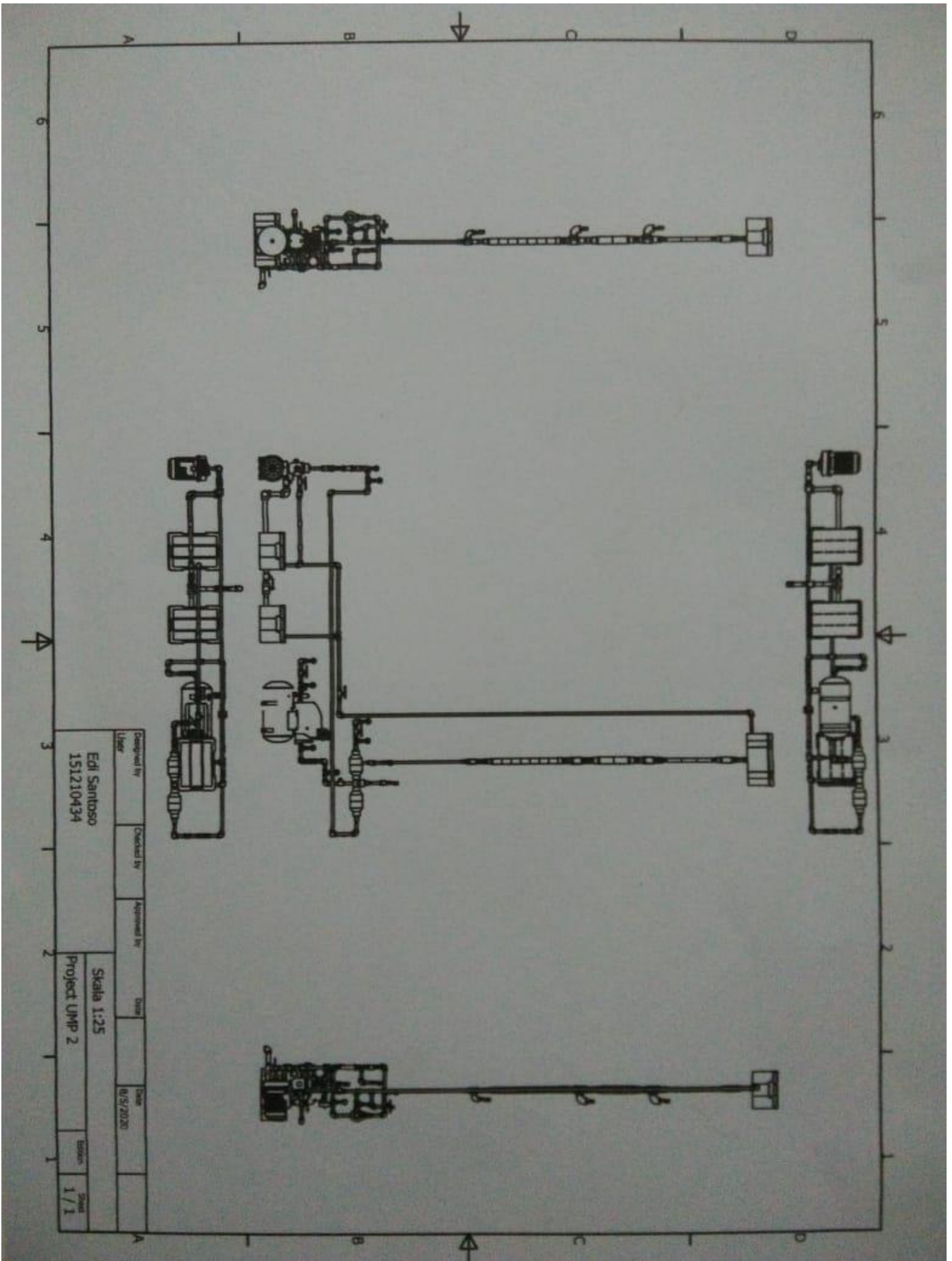


Designed by User	Checked by	Approved by	Date	Date	Scale
Edi Santoso 151210434				11/7/2020	1 / 1

Project UMP

skala 1:18

sheet :
1 / 1



Lampiran 3. Tabel hasil tekanan pressure gauge

VARIASI DEBIT UDARA (AIR KONSTAN)

No	Debit Flowmeter Air			Debit Flow Meter Udara			T _{Air} (°C)	T _{Udara} (°C)	T _{Mixture} (°C)
	LPH	LPM	LPD	LPH	LPM	LPD			
1	600	10	0,167	600	10	0,167	32	32	32
2	600	10	0,167	900	15	0,25	32	32	32
3	600	10	0,167	1200	20	0,33	32	32	32
4	600	10	0,167	1500	25	0,417	32	32	32
5	600	10	0,167	1800	30	0,5	32	32	32

No	TEKANAN MASING-MASING ALAT UJI (2 FASE)														
	P _{Air} (1)	P _{Air} (2)	P _{Air} (3)	P _{Air} (4)	P _{Udara} (1)	P _{Udara} (2)	P _{Udara} (3)	P _{Udara} (4)	P _{Udara} (5)	P _{Mix} (1)	P _{Mix} (2)	P _{Mix} (3)	P _{Mix} (4)	P _{Mix} (5)	P _{Mix} (6)
1	0,35	0,39	0,35	0,3	0,35	0,3	0,35	0,3	0,3	0,32	0,28	0,3	0,15	0,1	0
2	0,35	0,38	0,32	0,3	0,4	0,75	0,4	0,3	0,3	0,3	0,28	0,3	0,15	0,1	0,02
3	0,32	0,39	0,33	0,32	0,49	0,43	0,51	0,3	0,32	0,37	0,28	0,32	0,12	0,1	0,05
4	0,32	0,38	0,32	0,31	0,55	0,5	0,51	0,3	0,3	0,31	0,28	0,31	0,12	0,1	0,01
5	0,35	0,39	0,35	0,31	0,68	0,62	0,68	0,3	0,32	0,32	0,29	0,31	0,13	0,1	0,1

No	Debit Flowmeter Air			Debit Flow Meter Udara			T _{Air} (°C)	T _{Udara} (°C)	T _{Mixture} (°C)
	LPH	LPM	LPD	LPH	LPM	LPD			
1	900	15	0,25	600	10	0,167	32	32	32
2	900	15	0,25	900	15	0,25	32	32	32
3	900	15	0,25	1200	20	0,33	32	32	32
4	900	15	0,25	1500	25	0,417	32	32	32
5	900	15	0,25	1800	30	0,5	32	32	32

No	TEKANAN MASING-MASING ALAT UJI (2 FASE)														
	P _{Air} (1)	P _{Air} (2)	P _{Air} (3)	P _{Air} (4)	P _{Udara} (1)	P _{Udara} (2)	P _{Udara} (3)	P _{Udara} (4)	P _{Udara} (5)	P _{Mix} (1)	P _{Mix} (2)	P _{Mix} (3)	P _{Mix} (4)	P _{Mix} (5)	P _{Mix} (6)
1	0,43	0,45	0,4	0,38	0,45	0,38	0,45	0,35	0,35	0,38	0,33	0,35	0,15	0,1	0,05
2	0,42	0,45	0,41	0,38	0,49	0,4	0,47	0,38	0,38	0,39	0,32	0,38	0,15	0,1	0,05
3	0,42	0,48	0,41	0,39	0,5	0,45	0,48	0,39	0,39	0,39	0,33	0,35	0,15	0,1	0,05
4	0,48	0,49	0,42	0,4	0,68	0,61	0,68	0,4	0,4	0,41	0,37	0,41	0,12	0,1	0,05
5	0,49	0,5	0,45	0,41	0,69	0,65	0,69	0,44	0,41	0,4	0,39	0,4	0,12	0,11	0,05

No	Debit Flowmeter Air			Debit Flow Meter Udara			T _{Air} (°C)	T _{Udara} (°C)	T _{Mixture} (°C)
	LPH	LPM	LPD	LPH	LPM	LPD			
1	1200	20	0,33	600	10	0,167	32	32	32
2	1200	20	0,33	900	15	0,25	32	32	32
3	1200	20	0,33	1200	20	0,33	32	32	32
4	1200	20	0,33	1500	25	0,417	32	32	32
5	1200	20	0,33	1800	30	0,5	32	32	32

No	TEKANAN MASING-MASING ALAT UJI (2 FASE)														
	P _{Air} (1)	P _{Air} (2)	P _{Air} (3)	P _{Air} (4)	P _{Udara} (1)	P _{Udara} (2)	P _{Udara} (3)	P _{Udara} (4)	P _{Udara} (5)	P _{Mix} (1)	P _{Mix} (2)	P _{Mix} (3)	P _{Mix} (4)	P _{Mix} (5)	P _{Mix} (6)
1	0,53	0,55	0,5	0,45	0,51	0,43	0,51	0,45	0,48	0,45	0,4	0,42	0,15	0,1	0,05
2	0,55	0,55	0,52	0,49	0,59	0,5	0,5	0,48	0,48	0,49	0,4	0,42	0,15	0,11	0,05
3	0,6	0,61	0,55	0,5	0,65	0,6	0,63	0,5	0,49	0,5	0,45	0,48	0,15	0,1	0,1
4	0,61	0,62	0,58	0,53	0,71	0,68	0,69	0,5	0,52	0,5	0,45	0,48	0,12	0,1	0,05
5	0,65	0,68	0,6	0,52	0,83	0,8	0,81	0,55	0,53	0,53	0,5	0,5	0,13	0,12	0,03

No	Debit Flowmeter Air			Debit Flow Meter Udara			T _{Air} (°C)	T _{Udara} (°C)	T _{Mixture} (°C)
	LPH	LPM	LPD	LPH	LPM	LPD			
1	1500	25	0,417	600	10	0,167	32	32	32
2	1500	25	0,417	900	15	0,25	32	32	32
3	1500	25	0,417	1200	20	0,33	32	32	32
4	1500	25	0,417	1500	25	0,417	32	32	32
5	1500	25	0,417	1800	30	0,5	32	32	32

No	TEKANAN MASING-MASING ALAT UJI (2 FASE)														
	P _{Air} (1)	P _{Air} (2)	P _{Air} (3)	P _{Air} (4)	P _{Udara} (1)	P _{Udara} (2)	P _{Udara} (3)	P _{Udara} (4)	P _{Udara} (5)	P _{Mix} (1)	P _{Mix} (2)	P _{Mix} (3)	P _{Mix} (4)	P _{Mix} (5)	P _{Mix} (6)
1	0,71	0,7	0,65	0,59	0,61	0,58	0,6	0,55	0,58	0,55	0,5	0,49	0,15	0,1	0,05
2	0,78	0,72	0,69	0,6	0,7	0,61	0,7	0,59	0,6	0,59	0,53	0,53	0,12	0,12	0,05
3	0,8	0,79	0,71	0,65	0,72	0,7	0,72	0,61	0,65	0,62	0,59	0,56	0,15	0,1	0,1
4	0,81	0,81	0,79	0,7	0,9	0,85	0,85	0,7	0,7	0,69	0,61	0,6	0,15	0,12	0,1
5	0,88	0,85	0,81	0,75	1	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,65	0,6	0,12	0,12	0,1

No	Debit Flowmeter Air			Debit Flow Meter Udara			T _{Air} (°C)	T _{Udara} (°C)	T _{Mixture} (°C)
	LPH	LPM	LPD	LPH	LPM	LPD			
1	1800	30	0,5	600	10	0,167	32	32	32
2	1800	30	0,5	900	15	0,25	32	32	32
3	1800	30	0,5	1200	20	0,33	32	32	32
4	1800	30	0,5	1500	25	0,417	32	32	32
5	1800	30	0,5	1800	30	0,5	32	32	32

No	TEKANAN MASING-MASING ALAT UJI (2 FASE)														
	P _{Air} (1)	P _{Air} (2)	P _{Air} (3)	P _{Air} (4)	P _{Udara} (1)	P _{Udara} (2)	P _{Udara} (3)	P _{Udara} (4)	P _{Udara} (5)	P _{Mix} (1)	P _{Mix} (2)	P _{Mix} (3)	P _{Mix} (4)	P _{Mix} (5)	P _{Mix} (6)
1	0,9	0,89	0,81	0,82	0,72	0,69	0,71	0,67	0,69	0,68	0,6	0,58	0,18	0,11	0,05
2	0,95	0,92	0,83	0,73	0,72	0,68	0,7	0,69	0,7	0,69	0,62	0,6	0,15	0,12	0,05
3	0,99	0,95	0,9	0,8	0,9	0,88	0,89	0,72	0,75	0,72	0,68	0,65	0,15	0,11	0,1
4	1,1	1	0,92	0,85	1,1	0,99	1	0,8	0,8	0,81	0,75	0,75	0,12	0,12	0,1
5	1,1	1,05	1	0,9	1,15	1,15	1,15	0,85	0,9	0,85	0,85	0,8	0,2	0,15	0,1