

**IDENTIFIKASI POLA ALIRAN UAP-KONDENSAT  
BERDASARKAN PENGUKURAN SIGNAL BEDA TEKANAN PADA  
PIPA HORIZONTAL**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat  
Strata-1 Pada Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



**Disusun Oleh :**

**HELMA DWI SETYAWAN**

**98130080**

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

**2012**

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**IDENTIFIKASI POLA ALIRAN UAP-KONDENSAT BERDASARKAN  
PENGUKURAN SIGNAL BEDA TEKANAN PADA PIPA HORIZONTAL**

**Disusun Oleh :  
HELMA DWI SETYAWAN  
NIM : 98130080**

**Telah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji  
Pada Tanggal 25 Februari 2012**

**Susunan Tim Penguji:**

**Dosen Pembimbing I**

**Sukanta, S.T., M.T.**

**NIK. 123023**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Dwijoko Purbohadi, M.T.**

**NIK. 123019**

**Penguji**

**Novi Caroko, ST, M.Eng**

**NIK. 197911132005011001**

**Tugas Akhir ini telah dinyatakan sah sebagai salah satu  
persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**Tanggal ...11-7-2012**

**Mengesahkan  
Ketua Program Studi Teknik Mesin**



*[Handwritten signature]*

## **PERNYATAAN**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 25 Februari 2012

Helma Dwi Setyawan

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Tugas akhir ini dipersembahkan kepada :

- ALLAH SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya kepada penulis, serta Nabi Muhammad SAW yang menjadi teladan bagi umat.
- Eyang Kakung dan Eyang Putri tersayang, beliau Eyang Kakung Rowadi dan Almarhum Eyang Putri Rantiah, terima kasih atas doa dan kasih sayangnya.
- Bapak dan Ibu tersayang, beliau Bapak Ir. Mislan dan Ibu Siti Aisyah, sebagai ungkapan rasa syukur dan terima kasih atas doa, kasih sayang, bimbingan, cinta, dan segalanya yang telah diberikan.
- Adikku sayang Lia Oki Setiaji terima kasih atas semangat, doa dan segalanya yang telah kau berikan.
- Kakakku tersayang Bayu Hendra Hartawan dan Emma Herawati yang selalu mendukung, mendoakan, dan memberi kepercayaan, serta keponakkanku yang tercinta Anakita Sascha Aurora Jasmine dan Brillianisa Achyutasnim terimakasih buat doa dan tawanya.
- Adikku Arrohman Hakim, Pram Satyo Aji (Spex) dan Perdana Yoga Panuntun yang selalu memberikan doa dan tawa setiap hari padaku.
- Sahabat-sahabat terbaikku dalam mengejar mimpi (Burhan Samiaji, Bahagia Raharja, Mas Agung, Galih Sugiharto, Abdillah Assegaff, Amat Santoso, Kevin Wijaya, Harjono Ari Setiawan dan masih banyak lagi...) terima kasih atas tawa yang pernah tercipta

## INTISARI

Percobaan terhadap pola aliran dua fase air-uap air dari hasil kondensasi uap pada pipa horisontal dilakukan dengan enam variasi debit uap masuk ke dalam pipa kondensat yang semakin meningkat. Pengkondensasian dilakukan pada pipa anulus dengan panjang 1,6 m, diameter pipa anulus bagian luar sebagai pipa pendingin 4 inchi, dan diameter pipa anulus bagian dalam sebagai pipa kondensat 17 mm.

Pola aliran yang diamati ditentukan berdasarkan gradien tekanan antara titik *inlet* dan titik *outlet* pipa kondensat dengan melihat fluktuasi gradien tekanan yang menonjol. Visualisasi pola aliran di dalam pipa kondensat diamati melalui pipa transparan yang posisinya terletak setelah titik *outlet* pipa kondensat. Jadi, fenomena yang terlihat pada pipa transparan adalah hasil kumpulan gejala yang terjadi di sepanjang pipa kondensat.

Didapatkan pola aliran yang bervariasi, seperti *stratified*, *wavy* dan *wavy-slug*. Pola aliran *wavy* terjadi pada peralihan pola aliran *stratified* menuju *wavy-slug*. Pola aliran *annular* tidak dapat diamati didalam penelitian ini. Dengan kenaikan debit uap masuk ke dalam pipa kondensat, gradien tekanan juga mengalami peningkatan.

Kata Kunci: pola aliran dua fase, gradien tekanan, visualisasi

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Segala puji bagi Allah yang telah memberikan rahmat, hidayah dan kenikmatan kepada kita semua. Sholawat dan salam juga kita berikan kepada Nabi Muhammad S.A.W yang telah menuntun ummatnya ke jalan yang diridhoi-Nya.

Setelah melalui proses yang panjang akhirnya penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“IDENTIFIKASI POLA ALIRAN UAP-KONDENSAT BERDASARKAN PENGUKURAN SIGNAL BEDA TEKANAN PADA PIPA HORIZONTAL”** ini dengan baik. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk melengkapi kurikulum pendidikan jurusan mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis telah berusaha semaksimal mungkin namun penulis juga menyadari adanya kekurangan-kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu selama penyusunan dan pembuatan tugas akhir ini yaitu :

1. Bapak Ir. Sudarja, M.T., sebagai Kepala Jurusan di Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

2. Bapak H. Sukamta, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing skripsi terima

kasih atas saran-saran yang telah diberikan kepada penulis

3. Bapak Ir. Dwijoko Purbohadi, M.T., selaku dosen pembimbing skripsi terima kasih atas kemudahan dan saran-saran yang telah diberikan kepada penulis.
4. Dosen-dosen pengampu mata kuliah di Jurusan Teknik Mesin, atas ilmu-ilmu yang telah disalurkan, semoga ilmu yang disalurkan selalu bermanfaat baik di dunia maupun di akhirat kelak.
5. Seluruh Staf Tata Usaha dan petugas-petugas di Jurusan Teknik Mesin.
6. Pihak dan teman yang telah banyak membantu khususnya Bapak Asroni, Bapak Sangudi, Bapak Warto, Faris, Wildan yang telah banyak memberi bantuan dan *support* kepada penulis.
7. Seluruh sahabat seperjuangan di Fakultas Teknik Mesin.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati, semoga dengan tersusunnya penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan untuk kebaikan kita bersama pada umumnya dan bermanfaat bagi penulis pada

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iv
INTISARI .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
HALAMAN MOTTO .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR SIMBOL .....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Keaslian Penelitian .....	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1. Pola Aliran Horizontal Pada Internal Flow Boiling .....	6



2.2. Pengaruh Aliran Slug Dalam Kondensasi .....	8
2.3. Pola Aliran Dua Fasa Cair-Gas pada <i>Minichannel</i> .....	9
2.4. Hipotesis Penelitian .....	12
<b>BAB III. LANDASAN TEORI .....</b>	<b>13</b>
3.1. Hukum Gas Ideal .....	13
3.2. Persamaan Tekanan Parsial .....	14
3.3. Orifice Plate .....	16
3.4. Dasar Fluida .....	18
3.5. Hukum Kekekalan Massa .....	19
3.6. Hukum Bernoulli .....	20
3.7. Kondensasi .....	21
<b>BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
4.1. Bahan Penelitian .....	23
4.2. Alat Penelitian .....	23
4.3. Prosedur Penelitian .....	28
4.3.1. Jalannya Penelitian .....	28
A. Tahap Persiapan Alat Kalibrasi .....	28
1. Tahap persiapan alat validasi signal .....	28
2. Tahap persiapan alat validasi <i>sampling rate</i> .....	29
3. Tahap persiapan alat kalibrasi laju aliran uap/udara .....	29
4. Tahap persiapan alat kalibrasi beda tegangan (Volt) .....	30
5. Tahap persiapan alat uji utama .....	31
B. Tahap Pengambilan Data Kalibrasi .....	33

1.	Tahap pengambilan data validasi <i>gelombang</i> .....	33
2.	Tahap pengambilan data validasi <i>sampling rate</i> .....	34
3.	Tahap pengambilan data kalibrasi laju aliran uap/udara .....	34
4.	Tahap pengambilan data kalibrasi beda tegangan (Volt) .....	35
C.	Tahap Pengambilan Data Beda Tekanan .....	36
D.	Tahap pengolahan data kalibrasi .....	38
1.	Tahap pengolahan data validasi gelombang .....	38
2.	Tahap pengolahan data validasi <i>sampling rate</i> .....	41
3.	Tahap pengolahan data kalibrasi laju aliran uap/udara .....	42
4.	Tahap pengolahan data kalibrasi beda tegangan (Volt) .....	46
E.	Tahap Pengolahan Data Beda Tekanan .....	51
4.4.	Analisis Data .....	54
BAB V.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	55
5.1.	Perilaku antar muka ( <i>interfacial behavior</i> ) dua fase pada peristiwa kondensasi .....	55
BAB VI.	KESIMPULAN DAN SARAN .....	64
6.1.	Kesimpulan .....	64
6.2.	Saran .....	64

## MOTTO

- ❖ *Sesungguhnya shalatku, ibadahku, hidupku dan matiku hanya untuk ALLAH S.W.T yang maha gaib.*
  
- ❖ *Bunga yang tidak akan layu sepanjang jaman adalah kebajikaan*  
*(William Cowper)*
  
- ❖ *Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah.*  
*(Lessing)*
  
- ❖ *Kebanyakan dari kita tidak mensyukuri apa yang sudah kita miliki, tetapi kita selalu memvasali apa yang belum kita capai*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Pola aliran pada pipa horisontal .....	7
Gambar 2.2.	Pola aliran dalam pipa evaporator horisontal .....	8
Gambar 2.3.	Fotografi pola aliran pada pipa uji berdiameter 1,1 mm dari Triplett, dkk. (1999a) .....	10
Gambar 3.1.	Skema Orifice Plate .....	16
Gambar 3.2.	Orifice plate .....	16
Gambar 3.3.	Differensial pressure orifice .....	17
Gambar 3.4.	Jenis kondensasi .....	22
Gambar 4.1.a.	Skema alat uji Fenomena <i>slugging</i> dan <i>waterhammer</i> (tahap 1 pengembangan awal) .....	25
Gambar 4.1.b.	Skema alat uji Fenomena <i>slugging</i> dan <i>waterhammer</i> (tahap II penyempurnaan) .....	26
Gambar 4.1.c.	Skema pemasangan sensor tekanan dan temperatur pada penampang melintang pipa condenser .....	26
Gambar 4.1.d.	Skema pemasangan sensor temperatur pada pipa kondensor .....	27
Gambar 4.1.e	Skema pemasangan sensor tekanan pada pipa kondensor .....	27
Gambar 4.2.	Peralatan kalibrasi/penyetaraan udara .....	30
Gambar 4.3.	Skema proses kaliberasi beda tegangan (Volt) tahap I .....	30
Gambar 4.4.	Skema proses kaliberasi beda tegangan (Volt) tahap II .....	30
Gambar 4.5.	Validasi gelombang pada 100 Hz dan 0 VPP .....	39

Gambar 4.6.	Validasi gelombang pada 5 KHz dan 0 VPP .....	39
Gambar 4.7.	Validasi gelombang pada 50 Hz dan 1VPP .....	39
Gambar 4.8.	Validasi gelombang pada 500 Hz dan 1VPP .....	40
Gambar 4.9.	Validasi gelombang pada 50 Hz dan 5 VPP .....	40
Gambar 4.10.	Validasi gelombang pada 500 Hz dan 5 VPP .....	40
Gambar 4.11.	Validasi gelombang pada 50 Hz dan 10 VPP .....	41
Gambar 4.12.	Validasi gelombang pada 500 Hz dan 10 VPP .....	41
Gambar 4.13.	Grafik hubungan debit udara/uap ( $Q_{uap/udara}$ ) dengan beda tekanan <i>orifice</i> ( $\Delta h_{orfc}$ ) .....	46
Gambar 4.14.	Grafik kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap I antara beda tegangan (Volt) dengan tinggi kolom air (m) .....	47
Gambar 4.15.	Grafik hubungan antara $h_{L-aktual}$ (m) dengan $h_{L-hitungan}$ (m) .....	50
Gambar 4.16.	Contoh pengelolaan data menggunakan <i>Sigview</i> .....	52
Gambar 4.17.	Contoh pemotongan video menggunakan <i>Ulead Video Studio 11</i> dengan pilihan <i>option Multi-trim Video</i> .....	53
Gambar 4.18.	Contoh pengaturan <i>Video Option</i> pada <i>Total Video Converter</i> .....	53
Gambar 5.1.	Visualisasi pola aliran <i>stratified-wavy</i> ( $\dot{m}_{st} = 1,6 \times 10^{-3}$ kg/s) .....	56
Gambar 5.2.	Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu ( $\dot{m}_{st} = 1,6 \times 10^{-3}$ kg/s).....	57
Gambar 5.3.	Visualisasi pola aliran <i>stratified-wavy</i> ( $\dot{m}_{st} = 2,6 \times 10^{-3}$ kg/s).....	57
Gambar 5.4.	Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu ( $\dot{m}_{st} = 2,6 \times 10^{-3}$ kg/s).....	57
Gambar 5.5.	Visualisasi pola aliran <i>wavy</i> ( $\dot{m}_{st} = 3,5 \times 10^{-3}$ kg/s).....	57
Gambar 5.6.	Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu ( $\dot{m}_{st} = 3,5 \times 10^{-3}$ kg/s).....	58
Gambar 5.7.	Visualisasi pola aliran <i>wavy</i> ( $\dot{m}_{st} = 4,3 \times 10^{-3}$ kg/s).....	58

Gambar 5.8.	Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu ( $\dot{m}_{st} = 4,3 \times 10^{-3}$ kg/s).....	58
Gambar 5.9.	Visualisasi pola aliran <i>wavy-slug</i> ( $\dot{m}_{st} = 5,1 \times 10^{-3}$ kg/s).....	59
Gambar 5.10.	Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu ( $\dot{m}_{st} = 5,1 \times 10^{-3}$ kg/s).....	59
Gambar 5.11.	Visualisasi pola aliran <i>wavy-slug</i> ( $\dot{m}_{st} = 6,5 \times 10^{-3}$ kg/s).....	60
Gambar 5.12.	Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu ( $\dot{m}_{st} = 6,5 \times 10^{-3}$ kg/s).....	60
Gambar 5.13.	<i>Power Spectra</i> pada aliran <i>stratified-wavy</i> ( $\dot{m}_{st} = 1,6 \times 10^{-3}$ kg/s) .....	61
Gambar 5.14.	<i>Power Spectra</i> pada aliran <i>stratified-wavy</i> ( $\dot{m}_{st} = 2,6 \times 10^{-3}$ kg/s) .....	61
Gambar 5.15.	<i>Power Spectra</i> pada aliran <i>wavy</i> ( $\dot{m}_{st} = 3,5 \times 10^{-3}$ kg/s).....	61
Gambar 5.16.	<i>Power Spectra</i> pada aliran <i>wavy</i> ( $\dot{m}_{st} = 4,6 \times 10^{-3}$ kg/s).....	62
Gambar 5.17.	<i>Power Spectra</i> pada aliran <i>wavy-slug</i> ( $\dot{m}_{st} = 5,1 \times 10^{-3}$ kg/s).....	62
Gambar 5.18.	<i>Power Spectra</i> pada aliran <i>wavy-slug</i> ( $\dot{m}_{st} = 6,5 \times 10^{-3}$ kg/s).....	62
Gambar 5.19.	Pengaruh laju aliran massa uap masuk ( $\dot{m}_{st}$ ) terhadap RMS dari data beda tekanan terhadap waktu selama kondensasi uap di dalam pipa annulus horizontal	62

## DAFTAR TABEL

Table 4.1.	Data validasi <i>sampling rate</i> .....	42
Table 4.2.	Data perhitungan kalibrasi udara .....	45
Table 4.3.	Data kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap I .....	47
Table 4.4.	Perhitungan rugi-rugi mayor $h_{L-hitungan}$ .....	49
Table 4.5.	Data kalibrasi beda tegangan (V) tahap II .....	50

## DAFTAR SIMBOL

$P_{gage}$  : Tekanan gage/pengukuran (Pa)

$P_{abs}$  : Tekanan absolut (Pa)

$P_{atm}$  : Tekanan atmosfer (Pa)

$P_{vac}$  : Tekanan vakum (Pa)

$A$  : Luas permukaan ( $m^2$ )

$\rho$  : Massa jenis zat ( $kg/m^3$ )

$W$  : Berat dari kolom fluida (N)

$m$  : massa zat (kg)

$V$  : volume zat ( $m^3$ )

$g$  : Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$h$  : Tinggi kolom fluida (m)

$T$  : Suhu ( $^{\circ}C$ )

$v$  : Volume spesifik ( $m^3/kg$ )

$R$  : Konstanta gas

$R_u$  : Konstanta gas universal

$M$  : Massa molar

$\dot{m}$  : Laju massa fluida (kg/s)

$Q$  : Debit ( $m^3/s$ )

$\gamma$  : Berat jenis ( $N/m^3$ )

$z$  : Energi potensial (m)



$h_f$  : *Head loss mayor* (m)

$f$  : Koefisien gesek

$L$  : Panjang pipa (m)

$D$  : Diameter dalam pipa (m)

$Re$  : Bilangan Reynolds

$v$  : Kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)

$\nu$  : Viskositas kinematik cairan (m<sup>2</sup>/s)

$\epsilon$  : Kekasaran pipa

$d$  : Diameter pipa (m)

$h$  : *Head loss minor* (m)

$K$  : Koefisien resistansi *valve* atau *fitting* berdasarkan bentuk dan ukuran

$t$  : Waktu (s)

$h_L$  : *Head loss mayor* pada pipa kondensat dengan panjang  $L$  (m)