

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISA STATISTIK DATA BEDA TEKANAN PADA PERISTIWA KONDENSASI ALIRAN UAP DENGAN PENDINGIN DARI LUAR SEARAH PADA PIPA HORIZONTAL BERBASIS DOMAIN FREKUENSI**

Diajukan Guna Memenuhi Syarat Untuk Mencapai Drajat Sarjana Strata-1  
Pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun Oleh:  
EKO YULIANTO BAYU WICAKSONO  
20110130116

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
YOGYAKARTA  
2015**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISA STATISTIK DATA BEDA TEKANAN PADA PERISTIWA  
KONDENSASI ALIRAN UAP DENGAN PENDINGIN DARI LUAR  
SEARAH PADA PIPA HORIZONTAL BERBASIS DOMAIN FREKUENSI**

Yang diajukan oleh:

**Nama : Eko Yulianto Bayu Wicaksono**

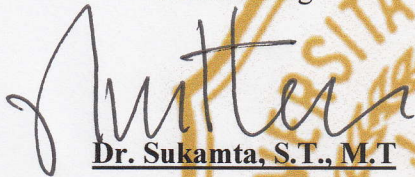
**NIM : 20110130116**

Telah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji  
Pada Tanggal 27 Agustus 2015

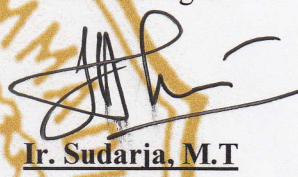
Susunan Tim Penguji

Pembimbing I

Pembimbing II

  
**Dr. Sukamta, S.T., M.T**

**NIP. 19700302199603123023**

  
**Ir. Sudarja, M.T**

**NIP. 19620904200104123050**

Penguji

  
**Tito Hadji Agung S., S.T, M.T**

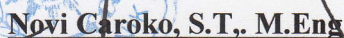
**NIP. 19720222200310123054**

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

Tanggal 02/08/15  
Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Mesin



  
**Novi Caroko, S.T., M.Eng**

**NIP. 197911132005011001**

## **PERNYATAAN**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini adalah 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, September 2015

**Eko Yulianto Bayu Wicaksono**

## **PERSEMBAHAN**

*Dengan menyebut nama Allah ta'ala yang maha Pengasih dan Penyayang*

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

Bapak dan Ibu tercinta, beliau Bapak Sumardiyono dan Ibu To'eni, sebagai ungkapan rasa syukur dan terima kasih atas kasih sayang, bimbingan, cinta, dan segalanya yang telah diberikan.

Adek dan seluruh saudara yang selalu mendukung, mendoakan, dan memberi kepercayaan.

Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2011 atas motivasi, kekompakan, dan kerja sama yang telah terjalin selama ini.

Teman-teman kontrakan (ketok celono) atas saran, doa, kebersamaan dan dukungan yang selama ini terjalin dan semoga terjalin selamanya.

Teman-teman alumni SMA Negeri 1 Sindang, Indramayu yang selalu memberi semangat dan dukungan sehingga selalu memotifasi.

## **KATA PENGANTAR**

*Assalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan karunianya penyusun dapat menyelesaikan laporan tugas akhir.

Sungguh Allah telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, serta atas Petunjuk-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Statistik Data Beda Tekanan pada Peristiwa Kondensasi Aliran Uap Dengan Pendingin Dari Luar Searah pada Pipa Horisontal Berbasis Domain Frekuensi”, yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program Strata-1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Dalam pelaksanaan Tugas Akhir terdapat beberapa tahapan yang harus diselesaikan. Tahapan itu berupa persiapan bahan penelitian dan alat penelitian, kalibrasi data, pengolahan data beda tekanan dan menganalisa hasil data beda tekanan.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir, penyusun banyak memperoleh masukan. Oleh sebab itu, sudah menjadi kewajiban penyusun mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Novi Caroko, S.T., M.Eng selaku ketua Prodi Teknik Mesin UMY.
2. Bapak Dr. Sukamta, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I yang memberikan ilmu, semoga ilmu yang diperoleh dapat bermanfaat.
3. Bapak Ir. Sudarja, M.T. selaku dosen pembimbing II yang memberikan masukan dan saran pada penulisan Tugas Akhir.
4. Bapak Tito Hadji Agung S, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang memberi tambahan ilmu dan masukan pada naskah Tugas Akhir.

5. Dosen-dosen pengampu mata kuliah di Prodi Teknik Mesin, atas ilmu-ilmu yang telah disalurkan, semoga ilmu yang disalurkan selalu bermanfaat baik di dunia maupun di akhirat kelak.
6. Seluruh Staf Tata Usaha, Perpustakaan, Laboratorium, Keamanan dan petugas-petugas di Prodi Teknik Mesin atas kemudahan yang telah diberikan, sehingga dapat memperlancar segala proses yang telah penulis jalani.
7. Kedua orang tua dan saudara-saudara semua yang selalu memberi semangat dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan yang telah membantu dan memberikan saran-saran yang bermanfaat yaitu: Hasan, Adi, Catur, Afan, Edi, Agus, Igna, Irfan, Kolbi, Faris dan Cahyo.
9. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Saran dan kritik sangat diharapkan dalam proses perbaikan dan pembelajaran yang dilakukan guna membangun dalam penyempurnaan laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat. Atas perhatiannya, penyusun ucapkan terima kasih.

Yogyakarta, September 2015

Eko Yulianto Bayu W

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR NOTASI.....	xiv
INTISARI .....	xv

### BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Batasan Masalah.....	3
1.3. Rumusan Masalah .....	3
1.4. Tujuan .....	3
1.5. Manfaat .....	4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka .....	5
2.1.1. Fenomena <i>Slugging</i> .....	5
2.1.2. Karakteristik Fluktuasi Beda Tekanan .....	8
2.2. Landasan Teori .....	13
2.2.1. Kondensasi .....	13

2.2.2. Pola Aliran Dua Fasa .....	16
2.2.3. Gas ideal.....	19
2.2.4. Fasa.....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1. Bahan Penelitian .....	21
3.2. Alat Penelitian .....	21
3.2.1. Seksi Uji .....	21
3.2.2. Alat Ukur dan Utilitas Lainnya .....	22
3.3. Prosedur Penelitian .....	26
3.3.1. Jalannya Penelitian .....	26
3.3.2. Kesulitan Pada Penelitian .....	43
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	44
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Analisa Statistik Data Beda Tekanan Domain Frekuensi.....	45
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan.....	52
5.2. Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data validasi <i>sampling rate</i> .....	37
Tabel 3.2. Data kalibrasi beda tegangan (volt) tahap I .....	38
Tabel 3.3. Perhitungan rugi-rugi mayor hL- <i>hitungan</i> .....	40
Tabel 3.4. Data kalibrasi beda tegangan (volt) tahap II .....	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Perbandingan data penelitian dengan peta pola aliran Mandhane (1974) serta Taitel dan Dukler (1976) (Hudaya, 2013).....	5
Gambar 2.2.	Visualisasi pola aliran <i>stratified smooth</i> ( $J_L=0,016$ m/s dan $J_G=1,02$ m/s) (Hudaya, 2013).....	6
Gambar 2.3.	Visualisasi aliran <i>stratified wavy+ripple</i> ( $J_L=0,092$ m/s dan $J_G=1,02$ m/s) (Hudaya, 2013).....	6
Gambar 2.4.	Visualisasi aliran <i>Stratified Wavy + Roll</i> ( $J_L = 0,047$ m/s dan $J_G = 3.77$ m/s) (Hudaya, 2013).....	7
Gambar 2.5.	Visualisasi aliran <i>Pseudo-Slug</i> ( $J_L = 0,092$ m/s dan $J_G = 3.77$ m/s) (Hudaya, 2013).....	7
Gambar 2.6.	Perbandingan data penelitian dengan peta pola aliran Spedding dan Nguyen (1979) (Hudaya, 2013).....	8
Gambar 2.7.	PDF dari data beda tekanan (Santoso, 2012).....	9
Gambar 2.8.	NPDF dari data beda tekanan (Santoso, 2012).....	9
Gambar 2.9.	Autokorelasi dari data beda tekanan (Santoso, 2012).....	10
Gambar 2.10.	PSD dari data beda tekanan (Santoso, 2012).....	10
Gambar 2.11.	(a) Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu, (b) PSD dari data fluktuasi beda tekanan, ( $\dot{m}_{st}= 7,1\times 10^{-3}$ kg/s, $\dot{m}_{co}=1,2\times 10^{-1}$ kg/s) (Sukamta, 2010).....	11
Gambar 2.12.	(a) Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu, (b) PSD dari data fluktuasi beda tekanan, ( $\dot{m}_{st}=7,9\times 10^{-3}$ kg/s, $\dot{m}_{co}=1,2\times 10^{-1}$ kg/s) (Sukamta, 2010).....	12

Gambar 2.13. (a) Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu, (b) PSD dari data fluktuasi beda tekanan, ( $\dot{m}_{st}= 8,3 \times 10^{-3}$ kg/s, $\dot{m}_{co}=1,2 \times 10^{-1}$ kg/s) (Sukamta, 2010) .....	12
Gambar 2.14. (a) Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu, (b) PSD dari data fluktuasi beda tekanan, ( $\dot{m}_{st}= 8,4 \times 10^{-3}$ kg/s, $\dot{m}_{co}=1,2 \times 10^{-1}$ kg/s) (Sukamta, 2010) .....	13
Gambar 2.15. Jenis-jenis kondensasi (a) film, (b) <i>dropwise condensation</i> pada permukaan, (c) kondensasi homogen, atau pembentukan kabut sebagai hasil penurunan tekanan karena ekspansi, (d) <i>direct contact condensation</i> . (Incropera, 2007) .....	14
Gambar 2.16. Kondensasi pada permukaan yang bersih dan kering .....	14
Gambar 2.17. Kondensasi film dan butiran (ghiaasian,2008).....	15
Gambar 2.18. Pola aliran dua fase pada tabung horisontal .....	18
Gambar 2.19. Pola aliran pada pipa vertikal .....	19
Gambar 2.20. Persentase error (Cengel, 1989) .....	19
Gambar 3.1. Skema alat uji tahap pertama (dengan sebuah DPT).....	23
Gambar 3.2. Instalasi alat uji (a. Boiler, b. Pengukuran takanan statis, c. <i>Orifice</i> , d. Pipa annulus).....	23
Gambar 3.3. Alat ukur tekanan (a. Manometer, b. Ujung selang teflon pengukuran beda takanan c. Membran sensor beda tekanan, d. <i>Data Logger</i> tekanan).....	24
Gambar 3.4. Bak ( <i>Reservoir</i> ) air pendingin .....	24
Gambar 3.5.a. Skema pemasangan sensor tekanan dan temperatur pada penampang melintang <i>double pipe heat exchanger</i> .....	25
Gambar 3.5.b. Skema pemasangan sensor tekanan pada pipa kondenser.....	25

Gambar 3.6. Skema kalibrasi/penyetaraan udara.....	27
Gambar 3.7. Bagan kalibrasi udara.....	27
Gambar 3.8. Skema proses kalibrasi beda tegangan (volt) tahap I .....	27
Gambar 3.9. Skema proses kalibrasi beda tegangan (volt) tahap II.....	28
Gambar 3.10. Validasi gelombang pada 100 Hz dan 0 VPP .....	34
Gambar 3.11. Validasi gelombang pada 5 KHz dan 0 VPP.....	34
Gambar 3.12. Validasi gelombang pada 50 Hz dan 1VPP .....	34
Gambar 3.13. Validasi gelombang pada 500 Hz dan 1VPP .....	35
Gambar 3.14. Validasi gelombang pada 50 Hz dan 5 VPP .....	35
Gambar 3.15. Validasi gelombang pada 500 Hz dan 5 VPP .....	35
Gambar 3.16. Validasi gelombang pada 50 Hz dan 10 VPP .....	36
Gambar 3.17. Validasi gelombang pada 500 Hz dan 10 VPP .....	36
Gambar 3.18. Gambar kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap I antara beda tegangan (Volt) dengan tinggi kolom air (m).....	38
Gambar 3.19. Gambar hubungan antara $hL_{-aktual}$ (m) dengan $hL_{-hitungan}$ .....	41
Gambar 3.20. Contoh pengolahan data menggunakan <i>Sigview</i> .....	42
Gambar 3.21. Diagram alir penelitian.....	44
Gambar 4.1 Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu untuk $\dot{m}_{st}= 6,89 \times 10^{-4}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 4,95 \times 10^{-3}$ kg/s .....	45
Gambar 4.2 PSD dari data fluktuasi beda tekanan untuk $\dot{m}_{st}= 6,89 \times 10^{-4}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 4,95 \times 10^{-3}$ kg/s .....	46
Gambar 4.3. Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu untuk $\dot{m}_{st}=1,40 \times 10^{-3}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 5,02 \times 10^{-3}$ kg/s .....	46

Gambar 4.4.	PSD dari data fluktuasi beda tekanan untuk $\dot{m}_{st}=1,40 \times 10^{-3}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 5,02 \times 10^{-3}$ kg/s .....	47
Gambar 4.5.	Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu untuk $\dot{m}_{st}=2,68 \times 10^{-3}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 6,09 \times 10^{-3}$ kg/s .....	48
Gambar 4.6.	PSD dari data fluktuasi beda tekanan untuk $\dot{m}_{st}=2,68 \times 10^{-3}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 6,09 \times 10^{-3}$ kg/s .....	48
Gambar 4.7.	Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu untuk $\dot{m}_{st}=5,93 \times 10^{-3}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 5,20 \times 10^{-3}$ kg/s .....	48
Gambar 4.8.	PSD dari data fluktuasi beda tekanan untuk $\dot{m}_{st}=5,93 \times 10^{-3}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 5,20 \times 10^{-3}$ kg/s .....	49
Gambar 4.9.	Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu untuk $\dot{m}_{st}=8,91 \times 10^{-3}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 5,36 \times 10^{-3}$ kg/s .....	49
Gambar 4.10.	PSD dari data fluktuasi beda tekanan untuk $\dot{m}_{st}=8,91 \times 10^{-3}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 5,36 \times 10^{-3}$ kg/s .....	50
Gambar 4.11.	Fluktuasi beda tekanan terhadap waktu untuk $\dot{m}_{st}=1,85 \times 10^{-2}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 5,12 \times 10^{-3}$ kg/s .....	51
Gambar 4.12.	PSD dari data fluktuasi beda tekanan untuk $\dot{m}_{st}=1,85 \times 10^{-2}$ kg/s dan $\dot{m}_{co}= 5,12 \times 10^{-3}$ kg/s .....	51

## DAFTAR NOTASI

$P_{abs}$	: Tekanan absolut (Pa)
$V$	: volume zat ( $m^3$ )
$T$	: Temperatur ( $^{\circ}C$ )
$K$	: Koefisien resistansi <i>Valve</i> atau fitting berdasarkan bentuk dan ukuran
$G$	: Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
$Q$	: Debit ( $m^3/s$ )
$R$	: Konstanta gas
$f$	: Koefisien gesek
$L$	: Panjang pipa (m)
$D$	: Diameter dalam pipa (m)
$d$	: Diameter pipa (m)
$h_L$	: <i>Head loss mayor</i> pada pipa kondensat dengan panjang $L$ (m)
$Re$	: Bilangan Reynolds
$\epsilon$	: Kekasaran pipa
$\dot{m}$	: Laju massa fluida (kg/s)
$\mu$	: Viskositas absolut (N.s/m <sup>2</sup> )
$A$	: Luas permukaan (m <sup>2</sup> )
$v$	: Volume spesifik (m <sup>3</sup> /kg)
$h_f$	: Head loss mayor (m)

## INTISARI

Aliran dua fasa merupakan bagian dari aliran multi-fasa. Aliran dua fasa terdiri dari aliran fasa gas-cair, cair-padat dan padat-gas. Arah aliran terdiri dari searah ke atas, searah ke bawah dan berlawanan arah. Kedudukan saluran antara lain mendatar, tegak atau miring.

Pada penelitian ini, pipa horisontal menggunakan pipa annulus dengan pipa uji bagian dalam terbuat dari tembaga dan bagian luar terbuat dari pipa besi galvanis (GIP) dibungkus isolasi dengan tebal 10 mm. Panjang pipa 1,6 m, diameter luar 4 inci dan diameter dalam 17 mm. Dalam prosesnya dilakukan beberapa tahapan berupa persiapan bahan penelitian dan alat penelitian, kalibrasi dan validasi data, pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Sigview*.

Hasil penelitian menunjukkan semakin besar laju aliran massa uap dengan laju aliran massa air pendingin rata-rata konstan, maka fluktuasi beda tekanan relatif semakin meningkat, yang berarti di sepanjang pipa pengukur atau pipa annulus telah terjadi beda tekanan, namun masih relatif kecil. Analisa ini didukung dengan penyebaran titik-titik puncak PSD (*Power Spectra Density*) yang cenderung bergeser ke frekuensi yang lebih tinggi dengan kenaikan kecepatan laju aliran uap. Fluktuasi beda tekanan terbesar terjadi pada percobaan terakhir dengan laju aliran masa uap  $\dot{m}_{st}=1,85 \times 10^{-2}$  kg/s dan laju aliran masa air pendingin  $\dot{m}_{co}=5,12 \times 10^{-3}$  kg/s.

**Kata kunci:** Fluktuasi beda tekanan, aliran dua fasa, *Power Spectra Density*, pipa horisontal.