UNIVERSITAS GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
HALAMAN PERNYATAAN iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR/ SKRIPSI iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xvii
INTISARI xx

BAB I. PENDAHULUAN 1
A. Latar Belakang Penelitian 1
B. Rumusan Masalah 3
C. Batasan Masalah 3
D. Tujuan Penelitian 4
E. Manfaat Penelitian 4
F. Sistemetika Penulisan 5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA 6
A. Pengaplikasian Alat Ukur *Ultrasonic Doppler Flowmeters* pada *Hydraulic Power Plant* 6

UNIVERSITAS GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

B. Pengukuran Debit Massa Aliran Dua Fase Udara dan Air Menggunakan Venturi atau *Orifice Plate* Dikombinasikan dengan *Void Fraction Sensor* 8
C. Pengukuran Laju Aliran permukaan Fluida Menggunakan Efek Doppler Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler AT89C51 10
D. Alat Ukur Laju Aliran Air pada Saluran Tertutup Menggunakan Gelombang Ultrasonik 11
E. Sistem Pemantau Debit Aliran pada Saluran Tertutup 12
F. Studi Eksperimen Pengukuran Aliran Dua Fase Air-Udara Menggunakan Frekuensi Gelombang Tunggal 1000 Hz 14

BAB III. LANDASAN TEORI 16

A. Tinjauan Umum Aliran Dua Fase..... 16
B. Pola Aliran Dua Fase Pada Pipa Horisontal..... 16
C. Peta Pola Aliran Dua Fase untuk Pipa Horisontal..... 20
1. Baker's (1954) 20
2. Mandhane dkk (1974) 21
D. Hukum Kekekalan dalam Mekanika Fluida 23
1. Hukum Kekekalan Massa..... 23
2. Hukum Kekekalan Energi 25
3. Hukum Kekekalan Momentum..... 26
4. Fraksi Hampa (*Void Fraction*)..... 27
E. *Film Condensation* Pada Pipa Horisontal 28
F. Gelombang Bunyi..... 30
1. Pengertian Gelombang Bunyi..... 30
2. Energi Gelombang Suara dan Intensitas Suara..... 31
3. Perambatan Gelombang Suara..... 34
4. Perambatan Gelombang dengan Frekuensi Tetap 36
G. Skala Desibel dalam Sistem Digital 36
H. Transduser 38
1. Transduser Piezoelektrik 38
2. Pemasangan Transduser 40

UNIVERSITAS GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I. *Mixer* 41
J. Pengaruh Kondisi Aliran Terhadap Pengukuran 41
BAB 1V. METODE PENELITIAN 43
A. **Alat dan Bahan Penelitian** 43
1. *Note book* 43
2. *Mixer* 43
3. *Transducer* (*transmitter* dan *receiver*) 44
4. Kabel konektor audio 45
5. *Software* Cool Edit Pro versi 2.0. 45
6. Alat pengolah sinyal gelombang 46
7. Ketel uap (*boiler*) 46
8. Kamera digital 47
9. Instalasi Perpipaan 48
B. Prosedur Penelitian 54
1. Studi Awal 54
2. Merancang Sistem Kerja Alat Ukur 55
3. Pembuatan Skala Debit pada Flowmeter 56
4. Menentukan sinyal frekuensi tunggal (*locked frequency*) yang digunakan untuk pengambilan data dengan menggunakan sinyal (*white noise*) 58
5. Pengambilan Data Menggunakan Sinyal Frekuensi Tunggal (*locked frequency*) 61
6. Analisis Frekuensi. 62
7. Prosedur Pengambilan Data 66
8. Diagram Alir Metode Penelitian 68
9. Kendala-Kendala dalam Penelitian dan Pemecahannya 69

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN 70
A. Pembuatan Skala Ukur pada *Rotameter* 70
1. *Rotameter* Air 70
2. *Rotameter* Uap 71

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

G. Hasil Pengukuran dengan Gelombang. 73
1. Menentukan sinyal frekuensi tunggal (*locked frequency*) yang digunakan untuk pengambilan data dengan menggunakan sinyal *white noise*. 74
2. Hasil Pengukuran Menggunakan Sinyal Frekuensi Tunggal (*locked frequency*)..... 80
H. Faktor yang Mempengaruhi Keakuratan Pengukuran 89
1. Terjadinya letupan pada proses pencampuran uap-air..... 89
2. Terjadinya *film condensation* pada pipa horizontal..... 89
3. *Head Loss*..... 91
4. Faktor Lingkungan dan Manusia 91
I. Pola Aliran Hasil Dari Pengamatan Manual 92
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN 93
A. Kesimpulan..... 93
B. Saran 94
DAFTAR PUSTAKA 95
LAMPIRAN 97

UNIVERSITAS GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema pemasangan *ultrasonic transducer* pada permukaan pipa 6
Gambar 2.2. *Hiydraulic Power plant* 7
Gambar 2.3. *Bubble injector* 8
Gambar 2.4. Skema siklus air-udara 9
Gambar 2.5. Skema sistem pengukuran 9
Gambar 2.6. Blok Diagram Rangkaian Pengukur Laju Aliran Fluida. 10
Gambar 2.7. Blok diagram laju aliran fluida 12
Gambar 2.8. Blok diagram pemantau debit aliran air pada sistem tertutup 13
Gambar 2.9. Blok sistem *hardware* pengukuran aliran 14
Gambar 2.10. Desain alat ukur aliran dua fase 14
Gambar 3.1. Pola aliran pada pipa horizontal searah 18
Gambar 3.2. Proses perubahan pola aliran 19
Gambar 3.3. Peta pola aliran horizontal Baker 21
Gambar 3.4. Peta pola aliran Mandhane 23
Gambar 3.5. *Film condensation* pada pipa horisontal 30
Gambar 3.6. Kecepatan rambat bunyi pada berbagai medium 35
Gambar 3.7. Efek piezoelektrik 39
Gambar 3.8. Pemasangan *transducer* 40
Gambar 3.9. Pengaruh adanya gelembung udara dan partikel padat ... 42
Gambar 4.1. *Note book* 43
Gambar 4.2. *Mixer* BEHRINGER XENYX 802 44
Gambar 4.3. *Transmitter* dan *receiver* 45
Gambar 4.4. Pemasangan *transmitter* dan *receiver* 45
Gambar 4.5. Sistem pengolah sinyal 46

UNIVERSITAS GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 4.6. Ketel uap 47
Gambar 4.7. Olympus seri FE-370 48
Gambar 4.8. Skema instalasi perpipaan 48
Gambar 4.9. Tandon air Penguin 49
Gambar 4.10. Orange water pump 49
Gambar 4.11. *Rotameter* air 50
Gambar 4.12. *Rotameter* uap 50
Gambar 4.13. Pencabang aliran air 50
Gambar 4.14. Pencampur air dan uap 51
Gambar 4.15. Flens penyambung pipa 51
Gambar 4.16. Separator 52
Gambar 4.17. Katup 52
Gambar 4.18. *Heater* 2000W 53
Gambar 4.19. Rig penyangga 54
Gambar 4.20. Blok sistem *hardware* pengukur aliran. 55
Gambar 4.21. Proses pembuatan skala *rotameter* air 57
Gambar 4.22. *Rotameter* udara yang digunakan sebagai pembanding .. 58
Gambar 4.23. Tampilan *Edit View* pada Cool Edit untuk membang-kitkan sinyal 59
Gambar 4.24. Menetapkan *sample rate* untuk sinyal *white noise* 60
Gambar 4.25. *Generate noise* 60
Gambar 4.26. *Generate Tones* 61
Gambar 4.27. Tampilan *Multitrack View* 62
Gambar 4.28. Pengaturan fungsi *Mix Down* 63
Gambar 4.29. Setelah dilakukan *Mix Down* 64
Gambar 4.30. Spektrum hasil *record* sebelum *scanning* 65
Gambar 4.31. Spektrum hasil *record* setelah *scanning* 65
Gambar 4.32. Diagram alir metode penelitian 68
Gambar 5.1. Hasil pengukuran *rotameter* air 71
Gambar 5.2. Hasil pengukuran *rotameter* udara 73

UNIVERSITAS GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.3. Respon amplitude terhadap frekuensi pada pembangkitan sinyal *white noise* dengan variasi debit air 75
Gambar 5.4. Respon amplitude terhadap frekuensi pada pembangkitan sinyal *white noise* dengan variasi debit uap..... 76
Gambar 5.5. Respon frekuensi pada 3500 Hz dengan variasi debit air 77
Gambar 5.6. Respon frekuensi pada 3500 Hz dengan variasi debit uap..... 78
Gambar 5.7. Respon frekuensi pada 1900 Hz dengan variasi debit air 79
Gambar 5.8. Respon frekuensi pada 1900 Hz dengan variasi debit uap..... 79
Gambar 5.9. Grafik hubungan antara RMS amplitudo dengan debit aliraan massa air-uap pada frekuensi 1900 Hz dengan beberapa variasi debit air..... 83
Gambar 5.10. Grafik hubungan antara RMS amplitudo dengan debit aliraan massa air-uap pada frekuensi 1900 Hz dengan beberapa variasi debit uap 84
Gambar 5.11. Grafik hubungan antara RMS amplitudo dengan debit aliraan massa air-uap pada frekuensi 3500 Hz dengan beberapa variasi debit air..... 85
Gambar 5.12. Grafik hubungan antara RMS amplitudo dengan debit aliraan massa air-uap pada frekuensi 3500 Hz dengan beberapa variasi debit uap 86
Gambar 5.13. Pola aliran *bubble* 92

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Batasan-batasan untuk penggunaan *flow map* Mandhane ... 22
Tabel 5.1. Data pembuatan skala *rotameter* air..... 70
Tabel 5.2. Hasil pengukuran *rotameter* udara 72
Tabel 5.3. Hasil pengukuran dengan frekuensi 1900 Hz 80
Tabel 5.4. Hasil pengukuran dengan frekuensi 3500 Hz 81

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Instalasi Pengukuran Debit Aliran Dua Fase 98
Lampiran 2. Gambar Hasil Uji Respon Frekuensi pada Pembangkitan Gelombang 1900 Hz..... 100
Lampiran 3. Gambar Hasil Uji Respon Frekuensi pada Pembangkitan Gelombang 3500 Hz..... 108
Lampiran 4. Visualisasi pola aliran yang terjadi pada berbagai variasi debit massa aliran 116

UNIVERSITAS GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Luas area yang dilalui (m^2)
A	= Amplitudo (m)
c_p, c_w, c_1	= Kecepatan suara merambat melalui pipa, pencekam, dan cairan
c	= Kecepatan rambat bunyi (m/s)
D	= Diameter pipa bagian dalam
f	= Frekuensi bunyi (Hz)
Δf	= Perbedaan frekuensinya
Ep	= Energi potensial (Joule)
Ek	= Energi kinetik (Joule)
F	= Gaya yang bekerja pada fluida (N)
g	= Percepatan gravitasi (9,81 m/s^2)
h	= *Head pressure* (m)
H	= *Head* (m)
$\bar{h}$	= Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2.K)
h_f	= Head kerugian gesek di dalam pipa (m)
h'_{fg}	= Kalor laten evaporasi (kJ/kg)
I	= Arus listrik (ampere)
G_l=U_l	= Kecepatan superfisial likuid
G_g=U_g	= Kecepatan superfisial gas
K	= Faktor koreksi
k_l	= Konduktivitas terma air (W/m.K)
L	= Panjang pipa (m)
l	= Jarak yang ditempuh gelombang dalam waktu t (m)
m	= Massa (kg)
$\dot{m}$	= Total debit massa (kg/s)

UNIVERSITAS GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$\dot{m}_1$	= Debit massa untuk fase cair (kg/s)
$\dot{m}_2$	= Debit massa untuk fase gas (kg/s)
$\dot{m}_{total}$	= Debit yang terbaca *software* pada frekuensi 1000 Hz (kg/s)
P	= Tekanan (N/m^2)
Q	= Debit volume aliran (m^3/s)
$Q_{terukur}$	= Laju aliran massa yang terukur
Q_{ref}	= Laju aliran massa yang seharusnya terukur
$Re_{v,i}$	= Bilangan Reynolds uap
RMS	= Rata-rata akar kuadrat amplitudo pada frekuensi 1000 Hz (dB)
r	= Jarak
S	= Luas permukaan penampang lintang yang dilalui gelombang(m^2)
T	= suhu (K)
T	= periode (s)
s_w, s_p, s_1	= Jarak gelombang yang menembus melalui pencekam, dinding pipa, dan yang merambat pada fluida
t	= Tebal dinding pipa
t	= waktu (s)
$u_{m,v}$	= Laju aliran massa uap (kg/s)
V	= Beda potensial (volt)
V	= Volume (m^3)
Z	= Impedansi Akustik ($kg/m^2.s$)
v	= Kecepatan gelombang ultrasonik (m/s^2)
v	= Laju gelombang (m/s)
v	= Kecepatan fluida (m/s)
v_p	= Kecepatan partikel (m/s)
x	= Kualitas uap
ρ	= Densitas atau massa jenis fluida (kg/m^3)
ρ_v	= Massa jenis uap (kg/m^3)
λ	= Panjang gelombang (m)

UNIVERSITAS GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMEN PENGUKURAN DEBIT ALIRAN DUA FASE AIR UAP PADA SALURAN TERTUTUP MENGGUNAKAN GELOMBANG FREKUENSI TUNGGAL
Luthfirrahman Abdullah, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

∂h	= Selisih ketinggian (cm)
∂t	= Waktu (s)
λ	= Koefisien koreksi untuk variasi massa jenis
u_g	= Kecepatan aktual fase gas
u_l	= Kecepatan aktual fase likuid
Ψ	= Koefisien koreksi untuk tegangan permukaan dan viskositas Fluida
μ	= Viskositas Fluida (kg/s.m)
μ_v	= Viskositas uap (kg/s.m)
σ	= Tegangan permukaan
τ_w	= Tegangan geser rata – rata pada dinding
ω	= Frekuensi sudut (rad/s)
z_g	= Koordinat vertikal
ϑ	= Inklinasi dari *duct* pada arah vertical
α	= Fraksi hampa