

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN TUGAS	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xviii
INTISARI	xxiii
ABSTRACT	xxiv
I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan.....	2
I.4. Manfaat.....	2
I.5. Batasan Masalah.....	2
I.6. Sistematika Penulisan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1. Metode-metode Deteksi Kebocoran Air.....	4
II.1.1. Membandingkan Pengukuran Volume Antara <i>Ultrasonic Flowmeter</i> dengan <i>Watermeter</i>	4
II.1.2. Metode <i>Sounding</i>	5
II.1.3. Metode Sensus Pelanggan	6
II.2. Penelitian Kebocoran Pipa Aliran Air	6

II.3. Metode Uji Emisi Akustik.....	9
II.3.1. Sejarah dan teori dasar	9
II.3.2. Pengembangan Metode Emisi Akustik	11
III. DASAR TEORI.....	15
III.1. Elastisitas	15
III.2. Tensor Tegangan	18
III.3. Tensor Regangan	19
III.4. Tensor Elastisitas	21
III.5. Persamaan Gelombang Elastis	22
III.6. Tansduser Emisi Akustik.....	24
IV. METODE PENELITIAN.....	26
IV.1. Alat dan Bahan	26
IV.1.1. Perangkat Komputer.....	26
IV.1.2. MATLAB	26
IV.2. Lokasi Penelitian	28
IV.3. Prosedur Penelitian	28
IV.3.1. Kajian Pustaka.....	28
IV.3.2. Penentuan Model Matematika.....	29
IV.3.3. Analisis Persamaan.....	29
IV.3.4. Uji Parameter Mekanik Material.....	31
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
V.1. Penyelesaian Persamaan Gelombang Elastis: Kasus Sumber Titik Pada Medium Homogen Tak Hingga	33
V.1.1. Persamaan Gelombang Skalar	33
V.1.2. Solusi Lamé Untuk Persamaan Gelombang Elastis	35
V.1.3. Persamaan Gelombang Elastis Dengan Gaya Terkonsentrasi Pada Arah x_j	37
V.2. Analisis Pergerakan Gelombang	38
V.3. Penentuan Sifat-sifat Fisis Material.....	40
V.4. Sumber Gaya	41
V.4.1. Model Ohnaka	41

V.4.2.	Model Hora – Cervena	42
V.4.3.	Uji Sumber Gaya	43
V.5.	Representasi dan Analisis Grafik	44
V.5.1.	Amplitudo Perpindahan Total	45
V.5.2.	Amplitudo Perpindahan Gelombang P dan S	47
V.5.3.	Hubungan Kecepatan Gelombang dengan Amplitudo Perpindahan	50
V.5.4.	Jarak Optimum Pengukuran	53
V.5.5.	Sensitivitas Sensor, Tegangan dan Respon Instrumen	55
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN	59
V1.1.	Kesimpulan	59
V1.2.	Saran	59
	DAFTAR PUSTAKA	60
	LAMPIRAN	63

DAFTAR TABEL

2.1. Perkembangan penelitian kasus kebocoran pipa distribusi air	8
2.1. Perkembangan penelitian metode emisi akustik.....	13
4.1. Jenis-jenis dan sifat-sifat mekanik pipa untuk pemodelan	31
5.1. Parameter tambahan pada material uji.....	40
5.2. Nilai-nilai gaya dari variasi tekanan dan diameter (nilai $h = 0,05$ m).....	43
5.3. Variasi parameter kontrol	43
5.4. Nilai amplitudo maksimum dan minimum komponen gelombang P untuk semua material dengan 4 parameter	48
5.5. Nilai amplitudo maksimum dan minimum komponen gelombang S untuk semua material dengan 4 parameter	49
5.6. Tabel hubungan nilai t dengan r/β terhadap tanda amplitudo perpindahan (positif (+) atau negatif (-))	50
5.7. Hasil simulasi nilai r_{opt} (jarak pengukuran) dan kalkulasi r_{maks} (teoritis) pada gelombang P dan S	54

DAFTAR GAMBAR

2.1.	(a) <i>Flowmeter</i> dan (b) penggunaannya. (Sumber: Dokumentasi pribadi).	5
2.2.	Peralatan <i>Sounding</i> . (Sumber: Dokumentasi pribadi)	6
2.3.	Sensor Emisi Akustik dan Sistem Akuisisi Data	10
2.4.	Ilustrasi Sistem Pendeteksi	11
3.1.	Perentangan sebuah balok dengan tegangan yang seragam	15
3.2.	Tampang lintang balok yang diberikan tegangan geser pada satu permukaannya	17
3.3.	Gaya ΔF_1 yang melewati sebuah elemen dengan area $\Delta y \Delta z$ yang tegak lurus sumbu x	18
3.4.	Regangan akibat tarikan yang homogen	19
3.5.	Regangan geser homogen	20
3.6.	Rotasi homogen - tidak terjadi regangan	21
3.7.	Blok diagram kejadian emisi akustik dari sumber sampai penampilan sinyal terekam	25
4.1.	Tampilan halaman utama dan <i>editor</i> pada MATLAB [®] R2013a	27
4.2.	Rancangan sistem pada Simulink MATLAB [®] R2013a	30
4.3.	Pengolahan data menggunakan Ms. Office Excel 2013	30
5.1.	Geometri untuk solusi persamaan gelombang skalar dengan gaya terkonsentrasi	34
5.2.	Grafik Perpindahan vs Waktu dengan model Ohnaka untuk 7 material	42
5.3.	Grafik fungsi gaya model Hora – Cervena dengan variasi parameter a dan b	44
5.4.	Sinyal amplitudo perpindahan $u_{ij}(\mathbf{x}, t)$ vs waktu t dengan sumber gaya $f_0(t)$ untuk parameter kontrol tipe A, B, C, dan D	45
5.5.	Sinyal amplitudo material 1, 2, 4, dan 5	46
5.6.	Sinyal amplitudo perpindahan gelombang longitudinal P	47
5.7.	Sinyal amplitudo perpindahan gelombang longitudinal S	47
5.8.	Hubungan nilai amplitudo perpindahan $u_{ij}(\mathbf{x}, t)$ terhadap waktu akibat variasi nilai $c = \alpha$ (atas) dan $c = \beta$ (bawah)	52



- 5.9. Grafik amplitudo tegangan $v(\mathbf{x}, t)$ vs waktu t pada 7 material dengan parameter kontrol tipe A 56
- 5.10. Respon instrumen untuk semua material (atas) dan 5 material (bawah) ... 57

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang

Huruf Latin

<i>Lambang</i>	<i>Arti</i>	<i>Satuan</i>
x	Posisi pada sumbu x	-
y	Posisi pada sumbu y	-
z	Posisi pada sumbu z	-
Δx	Perubahan posisi pada sumbu x	-
Δy	Perubahan posisi pada sumbu y	-
Δz	Perubahan posisi pada sumbu z	-
l	Panjang	m
w	Lebar	m
h	Tinggi	m
Δl	Perubahan panjang	m
Δw	Perubahan lebar	m
Δh	Perubahan tinggi	m
D	Panjang diagonal	m
ΔD	Perubahan panjang diagonal	m
A	Luas area kebocoran berupa luas selimut tabung yang memiliki diameter d dan ketebalan h .	m^2
\bar{A}	Luas area kebocoran rata-rata.	m^2
V	Volume	m^3
ΔV	Perubahan volume	m^3
r	Posisi pada sumbu x , y , dan z	-
t_0	Waktu awal	s
t_1	Waktu akhir	s
Y	Modulus Young	N/m^2

K	Modulus Bulk	N/m^2
μ	Shear modulus	N/m^2
F	Gaya	N
F_{ij}	Komponen gaya pada sumbu i dengan arah normal j	N
\mathbf{F}	Vektor Gaya	N
\mathbf{f}	Gaya per satuan volume	N/m^3
G	Gaya geser	N
τ	Tegangan geser	N/m^2
θ	Sudut geser	-
δ	Perindahan dalam arah horizontal	m
σ	Rasio Poisson	-
ρ	Densitas	kg/m^3
λ	Konstanta Lamé	-
δ_{ij}	Delta Kronecker	-
u_i	Vektor perpindahan pada arah i	m
Σ	Operator penjumlahan	-
r	Posisi pada sumbu x , y , dan z	-
S_{ij}	Tensor tegangan dengan arah komponen gaya i dan arah normal gaya j .	N/m^2
C_{ijkl}	Tensor elastisitas	-
ϵ_{ij}	Tensor regangan akibat perpindahan pada sumbu i pada arah j	m
\mathbf{a}	Vektor Percepatan	m/s^2
c	Kecepatan gelombang	m/s
$C_p = \alpha$	Kecepatan Longitudinal	m/s
$C_s = \beta$	Kecepatan Transversal	m/s
∇	Operator Gradien	-
$\nabla \cdot$	Operator <i>dot</i>	-
$\nabla \times$	Operator <i>cross</i>	-

ξ	Posisi sumber	-
τ	Waktu step	s
ω	Frekuensi sudut	rad/s
$f_j(\xi, \tau)$	Gaya yang bekerja pada arah j dan lokasi ξ yang merupakan sumber penyebab keretakan pada material	N
$G_{kj}(\mathbf{x}, t; \xi, \tau)$	Fungsi elastodinamik Green yang menjelaskan perpindahan pada arah k di titik x dan waktu t yang disebabkan oleh gaya pada lokasi ξ dalam arah j dan lokasi τ	-
$u_k(x, t)$	Perpindahan <i>stress wave</i> dalam arah k di titik x pada waktu t	m
$i_k(t)$	fungsi respon dari instrumen ukur dalam arah k yang ditentukan oleh tes kalibrasi	-
$v(x, t)$	Amplitudo tegangan yang dihasilkan pada titik x dan waktu t	V
*	Operator Konvolusi	-
P	Tekanan air di dalam pipa	Pa
$\psi(\mathbf{x}, t)$	Potensial dilatasi pada titik \mathbf{x} di waktu t	-
$F(\mathbf{x}, t)$	Gaya pada posisi \mathbf{x} dan waktu t	N
$r = \mathbf{x} - \xi$	Jarak antara titik penerima dengan titik sumber	m
$\delta(\mathbf{x} - \xi)$	Nilai step gaya	N
$\delta(t - t_0)$	Nilai step waktu	s
V_ξ	Volume pada titik sumber ξ	m ³
$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$	Perpindahan vektor pada titik \mathbf{x} pada waktu t	m
$\phi(\mathbf{x}, t; \xi)$	Komponen perpindahan skalar dari sumber ξ menuju \mathbf{x} pada waktu t	m
$\boldsymbol{\psi}(\mathbf{x}, t; \xi)$	Komponen perpindahan vektor dari sumber	m

	ξ menuju \mathbf{x} pada waktu t	
Ψ	Potensial vektor Helmholtz	-
Φ	Potensial skalar Helmholtz	-
$T(t - \tau)$	Fungsi gaya pada waktu t yang diberi nilai step sejauh τ	N
γ_i	Kosinus vektor	-
$u_{ij}(\mathbf{x}, t)$	Perpindahan skalar pada titik \mathbf{x} pada waktu t akibat gaya pada titik i ke arah j .	m
Ω	Frekuensi sudut	rad/s
s	Panjang gelombang	m
f	Gaya eksternal	N
a	Parameter kontrol amplitudo	-
b	Parameter kontrol durasi	-
m	Massa	kg

Subskrip

Singkatan	Arti
<i>int</i>	Internal
<i>ext</i>	Eksternal
<i>maks</i>	Maksimum
<i>opt</i>	Optimum

Singkatan

Singkatan	Arti
PDAM	Perusahaan Daerah Air Minum
BPKP	Badan Pengawas Keuangan dan Pembangunan
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
NRW	<i>Non Revenue Water</i>
NDT	<i>Non Destructive Test</i>
PZT	<i>Piezo Zirconate Titanate</i>

dB	<i>Decibel</i>
WSNs	<i>Wireless Signal Networks</i>
SIG	<i>Sistem Informasi Geografi</i>
EMAT	<i>Electromagnetic Acoustic Transducer</i>
MATLAB	<i>Matrix Laboratory</i>
CPU	<i>Center Processor Unit</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
FORTTRAN	<i>Formula Translating System</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
API	<i>Application Program Interface</i>