

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	i
SURAT KETERANGAN PERSETUJUAN .....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMBANG .....	xiii
INTISARI.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Batasan Masalah .....	6
1.5 Manfaat Penelitian .....	7
1.6 Hipotesis Penelitian .....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Kinerja <i>Prime Mover</i> Termoakustik .....	8
2.1 Kinerja Generator Listrik Termoakustik.....	11
BAB III LANDASAN TEORI.....	15
3.1 Prinsip Dasar <i>Prime Mover</i> Termoakustik Tipe Gelombang Berdiri .....	15
3.2 Parameter-parameter Penting dalam <i>Prime Mover</i> Termoakustik.....	18
3.2.1 Stack.....	19
3.2.2 Penukar kalor ( <i>heat exchanger</i> ) .....	22
3.2.3 Tabung resonator.....	22
3.2.4 Gas kerja.....	24
3.3 Pengaruh Tekanan Gas Kerja pada Suhu <i>Onset</i> .....	24
3.4 Sifat-Sifat Fisis dari Udara Bertekanan .....	25
3.5 Keadaan <i>Onset</i> dan Kritis .....	27

3.6	Teori <i>Loudspeaker</i> dan Pencocokan Impedansi Akustik.....	28
3.7	Transformasi Fourier Cepat ( <i>Fast Fourier Transform/FFT</i> ).....	33
3.8	Daya Bunyi dan Daya Listrik .....	36
BAB IV METODE PENELITIAN .....		38
4.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	38
4.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	38
4.2.1	Listrik PLN 220 volt .....	38
4.2.2	Variac (variabel transformer).....	38
4.2.3	Pemanas listrik ( <i>heater</i> ) .....	39
4.2.4	Penukar kalor ( <i>heat exchanger</i> ) .....	39
4.2.5	Sistem sirkulasi air pendingin .....	41
4.2.6	Pipa resonator.....	41
4.2.7	Gasket.....	42
4.2.8	<i>Stack</i> .....	42
4.2.9	Sensor suhu .....	43
4.2.10	Transduser tekanan.....	44
4.2.11	<i>Loudspeaker</i> .....	45
4.2.12	Hambatan geser.....	45
4.2.13	Sistem akuisisi data.....	46
4.2.14	Voltmeter dan amperemeter .....	47
4.2.15	Perangkat lunak <i>Scilab 6.1.0 64 bit</i> .....	48
4.2.16	Kompresor tekanan udara .....	48
4.2.17	Gas Kerja Udara .....	48
4.3	Prosedur Penelitian .....	48
4.3.1	Rancang alat percobaan.....	48
4.3.2	Tahap pengambilan data .....	50
4.3.3	Analisis data penelitian .....	59
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		62
5.1	Pengaruh Hambatan Beban Terhadap Kinerja Generator Listrik Termoakustik .....	62
5.1.1	Frekuensi gelombang bunyi .....	63
5.1.2	Amplitudo tekanan .....	64
5.1.3	Beda suhu <i>onset</i> .....	66
5.1.4	Daya bunyi .....	68

5.1.5	Daya listrik .....	70
5.1.6	Efisiensi sistem .....	71
5.2	Pengaruh Panjang Resonator Terhadap Kinerja Generator Listrik Termoakustik .....	72
5.2.1	Frekuensi gelombang bunyi .....	72
5.2.2	Amplitudo tekanan .....	75
5.2.3	Beda suhu <i>onset</i> .....	76
5.2.4	Daya bunyi .....	77
5.2.5	Daya listrik .....	79
5.2.6	Efisiensi sistem .....	80
5.3	Pengaruh Tekanan Udara Terhadap Kinerja Generator Listrik Termoakustik .....	82
5.3.1	Frekuensi gelombang bunyi .....	82
5.3.2	Amplitudo Tekanan.....	86
5.3.3	Beda Suhu <i>onset</i> .....	87
5.3.4	Daya Bunyi .....	90
5.3.5	Daya Listrik.....	90
5.3.6	Efisiensi sistem .....	94
BAB VI PENUTUP .....		96
6.1	Kesimpulan .....	96
6.2	Saran .....	97
DAFTAR PUSTAKA .....		99
LAMPIRAN A .....		104
LAMPIRAN B .....		108

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Skema dasar diagram aliran energi dalam mesin kalor.....	15
Gambar 3.2 Aliran energi dalam mesin prime mover termoakustik.....	16
Gambar 3.3 Empat langkah yang dijalani oleh paket gas dalam satu siklus (Setiawan et al., 2015 <sup>a</sup> ) .....	17
Gambar 3.4 Skema diagram P – V siklus Brayton .....	18
Gambar 3.5 Stack kawat kasa anti karat .....	19
Gambar 3.6 Gelombang bunyi pada pipa tertutup dan salah satu terbuka (Halliday et al., 2010) .....	23
Gambar 3.7 Skema pergerakan koil dalam <i>loudspeaker</i> .....	29
Gambar 3.8 Ilustrasi skema dari <i>loudspeaker</i> .....	30
Gambar 3.9 Contoh sinyal osilasi tekanan gelombang bunyi yang telah diperoleh dalam rentang waktu (A) 1 detik dan (B) 0,1 detik .....	35
Gambar 3.10 Hasil FFT dari raw data.....	35
Gambar 4.1 Variabel transformer .....	38
Gambar 4.2 Pemanas listrik .....	39
Gambar 4.3 Penukar kalor panas .....	40
Gambar 4.4 Penukar kalor dingin .....	40
Gambar 4.5 Tandon air .....	41
Gambar 4.6 Gasket.....	42
Gambar 4.7 Lembar kasa kawat anti karat yang digunakan sebagai bahan <i>stack</i> . 43	
Gambar 4.8 Tampilan pengukuran suhu dalam data logger .....	43
Gambar 4.9 Transduser tekanan Kyowa PGM-10KH .....	44
Gambar 4.10 Posisi <i>loudspeaker</i> di dalam pipa resonator .....	45
Gambar 4.11 Hambatan geser .....	46

Gambar 4.12 (A) Data logger Yokogawa WE7000, (B) Komputer .....	47
Gambar 4.13 Multimeter SANWA CD771 .....	47
Gambar 4.14 Kompresor tekanan udara SWAN SP-114 .....	48
Gambar 4.15 Skema lengkap mesin generator listrik termoakustik .....	50
Gambar 4.16 Diagram alir langkah kerja penelitian secara umum .....	51
Gambar 4.17 Tahapan penelitian pengaruh hambatan beban .....	53
Gambar 4.18 Tahapan penelitian pengaruh panjang resonator .....	55
Gambar 4.19 Skema mesin generator listrik termoakustik dengan panjang resonator (A) 130 cm, (B) 155 cm dan (C) 180 cm .....	56
Gambar 4.20 Tahapan penelitian pengaruh tekanan udara .....	57
Gambar 4.21 Plot data pengukuran suhu .....	60
Gambar 5.1 Spektrum frekuensi gelombang bunyi pada $R_L$ 8 $\Omega$ dan L 130 cm pada tekanan udara atmosfer .....	63
Gambar 5.2 Pengaruh hambatan beban terhadap frekuensi gelombang bunyi .....	64
Gambar 5.3 Pola gelombang bunyi didalam pipa resonator 130 cm pada berbagai variasi hambatan beban .....	65
Gambar 5.4 Grafik pengukuran suhu terhadap waktu pada sisi panas stack $Th$ dan sisi dingin stack $Th$ dengan $R_L$ 8 $\Omega$ dan L 130 cm pada tekanan udara atmosfer .....	67
Gambar 5.5 Pengaruh hambatan beban terhadap beda suhu onset .....	68
Gambar 5.6 Pengaruh hambatan beban terhadap daya bunyi yang dihasilkan .....	69
Gambar 5.7 Pengaruh hambatan beban terhadap daya listrik keluaran .....	70
Gambar 5.8 Pengaruh hambatan beban terhadap efisiensi termal ke akustik dan efisiensi termal ke listrik .....	71
Gambar 5.9 Data pengukuran osilasi tekanan terhadap waktu dalam 0,1 sekon pertama, (a) L 130 cm, (c) L 155 cm dan (e) L 180 cm, spektrum frekuensi bunyi hasil FFT, (b) L 130 cm, (d) L 155 cm dan (f) L 180 cm .....	73
Gambar 5.10 Frekuensi hasil perhitungan dan frekuensi hasil eksperimen dalam variasi panjang resonator .....	74

Gambar 5.11 Pola gelombang bunyi didalam beberapa lokasi sensor untuk variasi panjang resonator .....	76
Gambar 5.12 Pengaruh panjang resonator terhadap beda suhu onset.....	77
Gambar 5.13 Grafik pengukuran suhu terhadap waktu pada sisi panas stack $Th$ dan sisi dingin stack $Th$ , (a) L 130 cm, (b) L 155 cm dan (c) L 180 cm	78
Gambar 5.14 Pengaruh panjang resonator terhadap daya bunyi yang dihasilkan.	79
Gambar 5.15 Pengaruh hambatan beban terhadap daya listrik keluaran .....	80
Gambar 5.16 Pengaruh panjang resonator terhadap efisiensi termal ke akustik dan efisiensi termal ke listrik.....	81
Gambar 5.17 Data pengukuran osilasi tekanan terhadap waktu dalam 0,1 sekon pertama, (a) tekanan udara 0,1 MPa dan (b) tekanan udara 0,4 MPa, spektrum frekuensi bunyi hasil FFT, (c) tekanan udara 0,1 MPa dan (d) tekanan udara 0,4 MPa.....	83
Gambar 5.18 Frekuensi hasil perhitungan dan frekuensi hasil eksperimen dalam variasi tekanan udara .....	84
Gambar 5.19 Variasi kedalaman penetrasi termal $\delta k$ pada tekanan udara 0,1 MPa ke 0,55 MPa .....	85
Gambar 5.20 Variasi parameter $\omega\tau$ pada tekanan udara 0,1 MPa ke 0,55 MPa....	85
Gambar 5.21 Pengaruh tekanan udara terhadap amplitudo pada beberapa lokasi sensor .....	86
Gambar 5.22 Grafik pengukuran suhu terhadap waktu pada sisi panas stack $Th$ dan sisi dingin stack $Th$ dengan tekanan udara 0,4 MPa.....	88
Gambar 5.23 Pengaruh tekanan udara terhadap beda suhu onset .....	90
Gambar 5.24 Pengaruh parameter $\omega\tau$ terhadap amplitudo tekanan dan daya bunyi .....	91
Gambar 5.25 Daya listrik sebagai fungsi beda suhu untuk tekanan udara.....	93
Gambar 5.26 Pengaruh hambatan beban terhadap daya listrik keluaran .....	94
Gambar 5.27 Pengaruh tekanan udara terhadap efisiensi konversi termal ke akustik dan termal ke listrik .....	95

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Sifat-sifat udara pada berbagai tekanan .....	27
Tabel 4.1 Konstanta kalibrasi pada transduser tekanan yang digunakan.....	44
Tabel 4.2 Spesifikasi Loudspeaker Legacy LG-896-2.....	45