

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	iii
HALAMAN MOTTO .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
INTISARI.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Metodologi Penelitian .....	3
1.7. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
BAB III DASAR TEORI.....	10
3.1. Pengertian <i>Boiler</i> .....	10
3.2. Jenis-Jenis <i>Boiler</i> .....	10
3.2.1. <i>Fire Tube Boiler</i> .....	10
3.2.2. <i>Water Tube Boiler</i> .....	11
3.2.3. <i>Paket Boiler</i> .....	12
3.3. Sistem Kendali .....	13
3.3.1. Sistem Kalang Terbuka ( <i>Open Loop</i> ) .....	14
3.3.2. Sistem Kalang Tertutup ( <i>Close Loop</i> ) .....	14
3.4. Sistem Kendali PID .....	14
3.4.1. Pengendali <i>Proportional</i> (P) .....	15
3.4.2. Pengendali <i>Integral</i> (I) .....	16
3.4.3. Pengendali <i>Derivative</i> (D).....	17

3.5.	Pengendali PID .....	17
3.6.	Penentuan Parameter PID .....	18
3.6.1.	Metode pertama <i>Ziegler-Nichols</i> .....	19
3.6.2.	Analisis Tanggapan Peralihan .....	20
3.7.	<i>Split Range Control</i> .....	21
3.8.	<i>Thermocouple</i> .....	21
3.9.	<i>MAX 6675</i> .....	22
3.10.	<i>Control Valve</i> .....	23
BAB IV	ANALISIS DAN RANCANGAN SISTEM .....	24
4.1.	Analisis Sistem .....	24
4.2.	Perancangan Sistem Secara Keseluruhan .....	26
4.3.	Perancangan Perangkat Keras .....	27
4.3.1.	Perancangan Temperatur <i>Transmitter</i> (TE-01) .....	29
4.3.2.	Perancangan Katup Gas dan Katup Uap (FV-01 dan TV-01) .....	29
4.3.3.	Perancangan Mikrokontroler (TIC) .....	29
4.4.	Rancangan Perangkat Lunak .....	30
4.4.1.	Kendali PID .....	33
4.5.	Rencana Pengujian .....	34
BAB V	IMPLEMENTASI SISTEM .....	37
5.1.	Implementasi Perangkat Keras .....	37
5.1.1.	Sistem Mini <i>Boiler</i> .....	38
5.1.2.	Implementasi Mikrokontroler .....	38
5.1.3.	Instalasi Katup <i>Spray Water</i> (TV-01) dan Katup <i>Gas Inlet</i> (FV-01) .....	39
5.1.4.	Instalasi Termokopel Transmitter .....	40
5.2.	Implementasi Perangkat Lunak .....	41
5.2.1.	Perangkat Lunak dengan Arduino .....	42
5.2.2.	Interface Pada Labview .....	45
BAB VI	HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN .....	50
6.1.	Pengujian Perangkat Keras .....	50
6.2.	Pengujian Kalibrasi Sensor <i>Thermocouple</i> .....	51
6.3.	Pengujian <i>Start Up System</i> .....	55
6.4.	Pengujian Performansi Sistem .....	56
6.5.	Penentuan Kontanta PID dengan Metode <i>Ziegler-Nichols</i> .....	58



6.6.	Pengujian Tipe Kendali P .....	58
6.7.	Pengujian Tipe Kendali PI .....	60
6.8.	Pengujian Tipe Kendali PID.....	62
6.9.	Variasi Pengujian Kendali PID .....	64
6.9.1.	Gangguan Ruang Pembakaran .....	64
6.9.2.	Gangguan dengan Mekanis .....	68
BAB VII	KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
7.1.	Kesimpulan.....	73
7.2.	Saran .....	73
DAFTAR PUSTAKA	.....	75
LAMPIRAN	.....	77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 <i>Fire Tube Boiler</i> .....	11
Gambar 3.2 <i>Water Tube Boiler</i> .....	12
Gambar 3.3 Jenis paket <i>boiler</i> 3 pass, bahan bakar minyak .....	13
Gambar 3.4 Blok diagram sistem kendali sederhana .....	14
Gambar 3.5 Diagram Blok Pengendali Proporsional .....	16
Gambar 3.6 Diagram Blok Pengendali <i>Integral</i> .....	17
Gambar 3.7 Diagram Blok Pengendali <i>Derivative</i> .....	17
Gambar 3.8 Diagram Blok Pengendali PID .....	18
Gambar 3.9 Grafik <i>Tuning</i> PID Metode Ziegler-Nichols kurva S .....	19
Gambar 3.10 Kurva tanggapan sistem dengan masukan tangga .....	20
Gambar 3.11 Implementasi sederhana dari <i>split range control</i> .....	21
Gambar 3.12 Prinsip Dasar <i>Thermocouple</i> .....	22
Gambar 3.13 Max 6675 (Maxim Integrated Company, n.d.) .....	23
Gambar 4.1 Diagram alir proses pada <i>Plant Mini Boiler</i> .....	26
Gambar 4.2 P&ID Sistem <i>Plant Mini Boiler</i> .....	28
Gambar 4.3 <i>Flowchart</i> Program pada Arduino .....	30
Gambar 4.4 <i>Flowchart</i> Program pada Labview .....	31
Gambar 4.5 <i>Flowchart</i> Manual Mode dan Auto Mode .....	32
Gambar 4.6 Diagram Sistem Kendali Temperatur pada <i>Boiler</i> .....	34
Gambar 5.1 Instalasi Keseluruhan <i>Plant Mini Boiler</i> .....	37
Gambar 5.2 Instalasi Tabung Mini <i>Boiler</i> .....	38
Gambar 5.3 Instalasi Kontroller dengan <i>Screw Shield</i> .....	39
Gambar 5.4 Instalasi Katup <i>Gas Inlet</i> (FV-01) .....	40
Gambar 5.5 Instalasi Katup <i>Spray Water</i> .....	40
Gambar 5.6 Sensor <i>Thermocouple</i> (kiri) dan Temperatur Indikator (kanan) .....	41
Gambar 5.7 Max 6675 .....	41
Gambar 5.8 <i>Library</i> pada program utama .....	42
Gambar 5.9 <i>Listing</i> Termokopel .....	42
Gambar 5.10 <i>Listing</i> Program <i>Split</i> Kontrol .....	43
Gambar 5.11 <i>Listing</i> <i>Parsing Data</i> .....	44
Gambar 5.12 <i>Listing</i> Untuk Mencetak Data Pada Komunikasi Serial .....	44
Gambar 5.13 Komunikasi Serial pada Labview .....	45
Gambar 5.14 <i>Human Machine Interface</i> pada Labview .....	46
Gambar 5.15 <i>Blog Terminal</i> pada Labview .....	47
Gambar 5.16 Blok terminal serial read .....	47
Gambar 5.17 Blok Terminal PID <i>Advance</i> .....	48
Gambar 5.18 Blok terminal <i>serial write</i> dan <i>data logging</i> .....	49
Gambar 6.1 Grafik Regresi Linier Temperatur TE-01 .....	54
Gambar 6.2 Grafik Regresi Linier Temperatur TE-02 .....	55
Gambar 6.3 Grafik Proses Awal ( <i>Start-Up</i> ) .....	56
Gambar 6.4 Grafik Respon Temperatur Keluaran .....	57
Gambar 6.5 Hasil Pengujian Kontrol Proporsional (P) .....	59
Gambar 6.6 Hasil Pengujian Kontrol Proporsional-Integral (PI) .....	61
Gambar 6.7 Hasil Pengujian Kontrol PID .....	62



Gambar 6.8 Uji gangguan tungku bakar dengan menggunakan kendali PI.....	65
Gambar 6.9 Uji tanpa gangguan tungku bakar dengan menggunakan kendali PI ..	66
Gambar 6.10 Uji Gangguan Tungku Bakar dengan menggunakan kendali PID ..	67
Gambar 6.11 Uji tanpa Gangguan tungku bakar dengan menggunakan kendali PID .....	68
Gambar 6.12 Uji Gangguan Katup 30° menggunakan kendali PI .....	70
Gambar 6.13 Uji Gangguan Katup 45° menggunakan kendali PI .....	70
Gambar 6.14 Uji Gangguan Katup 90° menggunakan kendali PI .....	70
Gambar 6.15 Uji Gangguan Katup 30° menggunakan kendali PID .....	72
Gambar 6.16 Uji Gangguan Katup 45° menggunakan kendali PID .....	72
Gambar 6.17 Uji Gangguan Katup 90° menggunakan kendali PID .....	72

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Matriks perbandingan dengan penelitian sebelumnya .....	8
Tabel 3.1 Karakteristik PID .....	15
Tabel 3.2 Penentuan Konstanta Metode <i>Ziegler-Nichols</i> .....	19
Tabel 4.1 Keterangan P&ID Sistem <i>Plant Mini Boiler</i> .....	27
Tabel 4.2 Indikator Pengujian .....	36
Tabel 5.1 Konfigurasi Pin Kontroller .....	39
Tabel 6.1 Tabel Data Perbandingan Sensor Temperatur TE-01 dan Kalibrator ...	51
Tabel 6.2 Tabel Data Perbandingan Sensor Temperatur TE-02 dan Kalibrator ...	52
Tabel 6.3 Nilai Keluaran dari regresi linier sederhana TE-01 .....	53
Tabel 6.4 Penentuan Konstanta PID .....	58
Tabel 6.5 Uji <i>Tracking Setpoint</i> Suhu pada Kendali P .....	60
Tabel 6.6 Uji <i>Tracking Setpoint</i> Suhu pada Kendali PI.....	61
Tabel 6.7 Uji <i>Tracking Setpoint</i> Suhu pada Kendali PID .....	63
Tabel 6.8 Tabel respon pengujian gangguan pada tungku bakar .....	65
Tabel 6.9 Tabel respon variasi pengujian gangguan dengan Mekanis.....	69