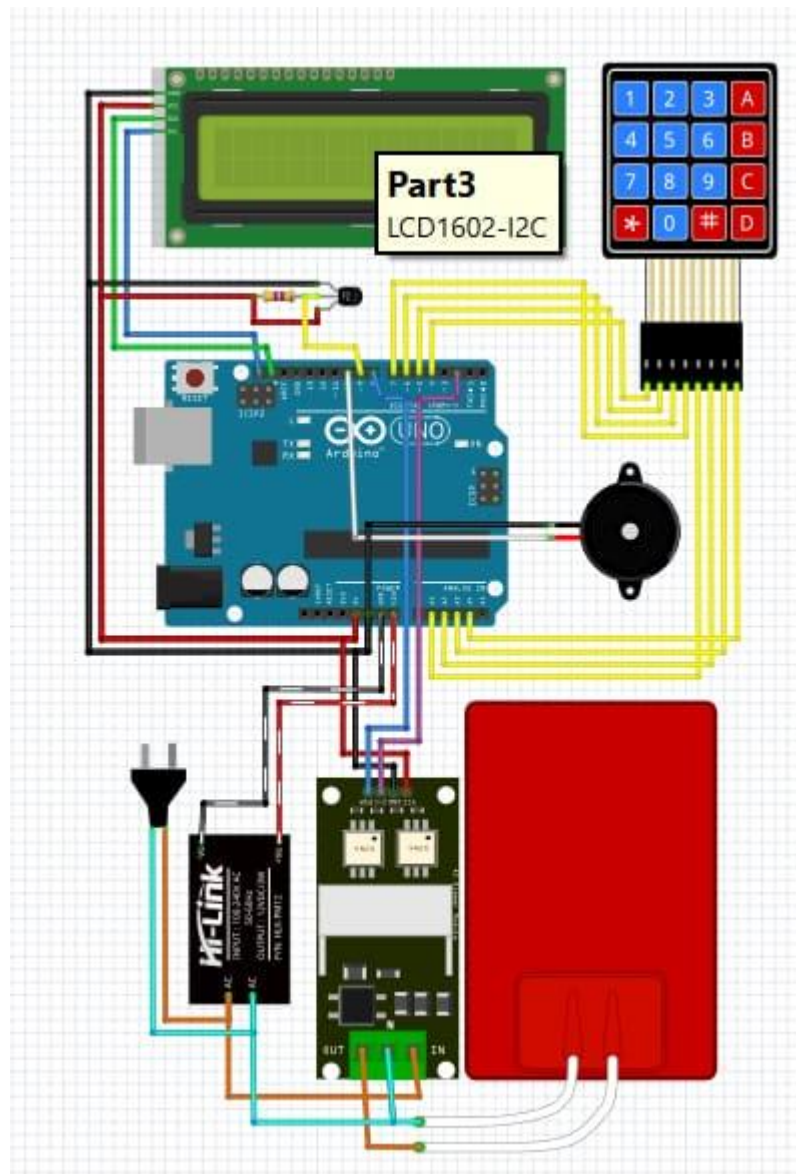


BAB V

PENGUJIAN ALAT DAN HASIL DATA

5.1. Pengujian Alat



Gambar 5. 1. Wiring Diagram Alat

Langkah pengujian :

1. Masukkan air di wajan pemanas sampai sensor suhu DS18B20 tercelup

2. Hidupkan alat kompor batik listrik yang sudah dirancang
3. Tekan tanda bintang untuk mengatur set point suhu dengan cara tekan tanda bintang lalu tekan angka 70°C lalu tekan tanda bintang lagi untuk mengunci set point suhu yang diinginkan
4. Untuk memulai tekan tanda pagar lalu tunggu sampai suhu mencapai set output 70° C
5. Dari hasil pengujian alat, alat berfungsi dengan baik dimana set point sama dengan set output

5.2. Hasil Pengukuran dan Data

Pengukuran dilakukan dengan 2 variabel yakni waktu dan suhu. Proses pengukuran 2 variabel tersebut saya menggunakan cara uji coba manual dengan menggunakan alat stopwatch untuk mendapatkan variabel waktu. Sementara untuk variabel suhu terbaca pada LCD Arduino UNO Setelah dilakukannya pengukuran dan pengujian pada alat ini, didapatkan hasil berikut

Hasil Percobaan dan Data

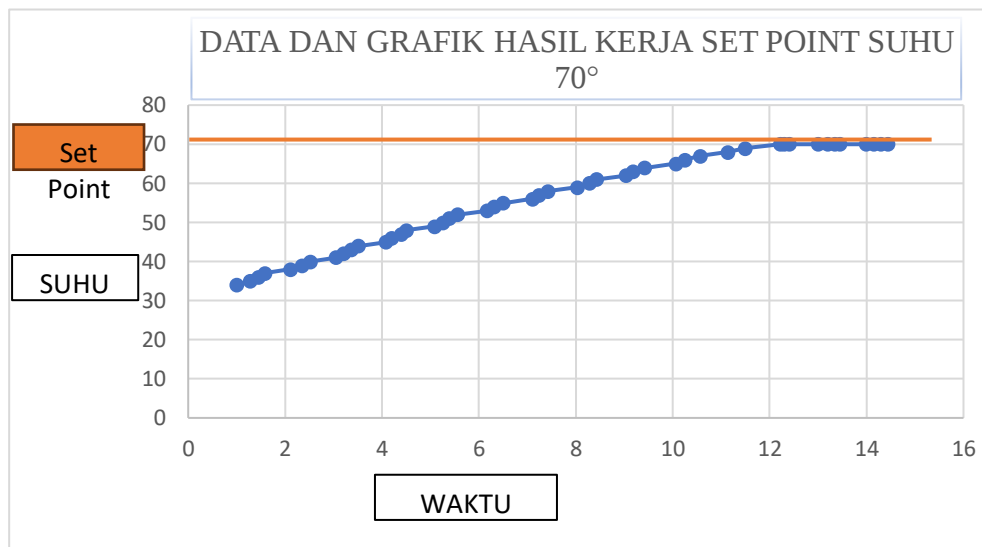
Tabel 5- 1. Data Percobaan Waktu dan Suhu

t (waktu)	Suhu (°C)
1	34
1.29	35
1.45	36
1.59	37
2.11	38
2.35	39
2.53	40
3.06	41
3.21	42
3.37	43
3.52	44
4.08	45
4.2	46
4.4	47
4.51	48

5.09	49
5.26	50
5.4	51
5.56	52
6.17	53
6.32	54
6.51	55
7.11	56
7.25	57
7.43	58
8.03	59
8.29	60
8.43	61
9.04	62
9.18	63
9.43	64
10.07	65
10.25	66
10.57	67
11.14	68
11.5	69
12.22	70
12.31	70
12.41	70
13	70
13.2	70
13.35	70
13.45	70
14	70
14.15	70
14.3	70
14.45	70

Dari data tersebut terlihat pada tabel warna biru saat pertambahan waktu suhu pada set output dalam kondisi steady state di suhu 70°C.

Dari hasil percobaan tersebut dapat dibuat sebuah grafik yang menghubungkan antara 2 variabel suhu dan waktu sebagai berikut :



Gambar 5. 2. Data dan Grafik Hasil Kerja Set Point suhu 70°C

Arduino UNO prinsip kerjanya menggunakan PWM (*pulse width modulation*) dimana tegangan masukan atau V input berupa sinyal melewati gate sehingga terjadi “pemotongan” daya kerja pada V output. Dari percobaan alat didapatkan 2 data variabel PWM dan suhu. PWM pada alat terbaca 30% untuk mencapai set point 70°C

Hasil Percobaan dan Data

Tabel 5- 2. Data Percobaan Perubahan Tegangan dan Arus Keluaran Sampai Terjadi Steady State

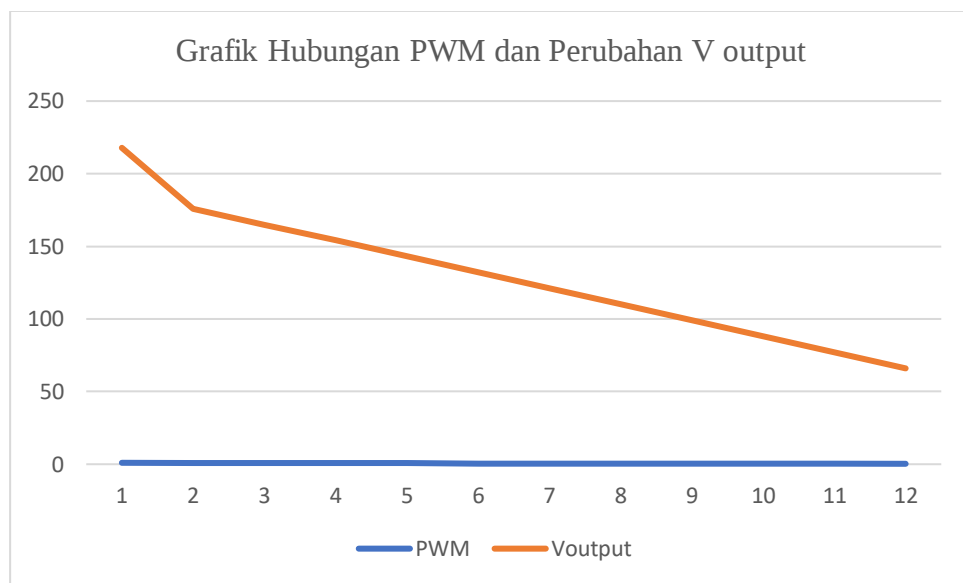
V input	PWM	V output	I output
220 V	99%	217,84 V	0,050 A
	80 %	176 V	0.037 A
	75%	165 V	0.035 A
	70%	154 V	0.032 A
	65 %	143 V	0.030 A
	60%	132 V	0.028 A
	55%	121 V	0.025 A
	50%	110 V	0.023 A

	45 %	99 V	0.021 A
	40 %	88 V	0.018 A
	35 %	77 V	0.016 A
	30 %	66 V	0.014 A

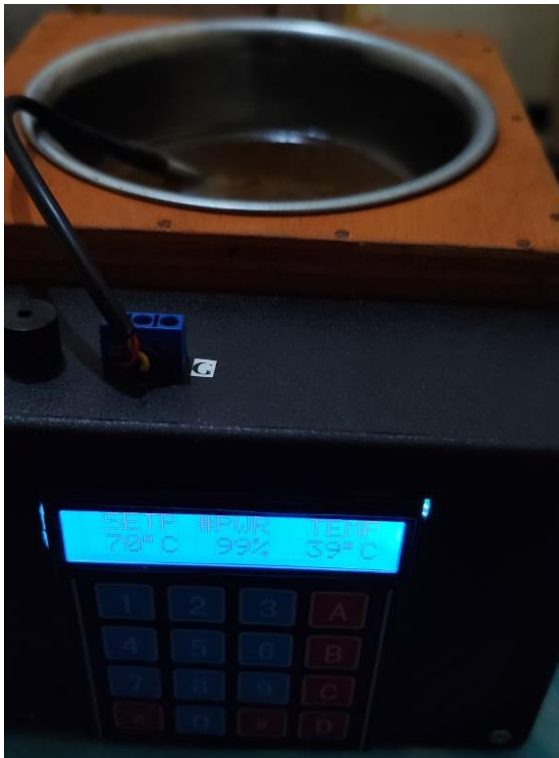
Tegangan Output dan arus Output steady state 66 V dan 0.014 A

Menggunakan Persamaan Rumus (2.10)

Dalam hal ini hambatan (R) beban menggunakan nilai 4,7 K Ω



Gambar 5. 3. Grafik hubungan PMW dan Perubahan V output



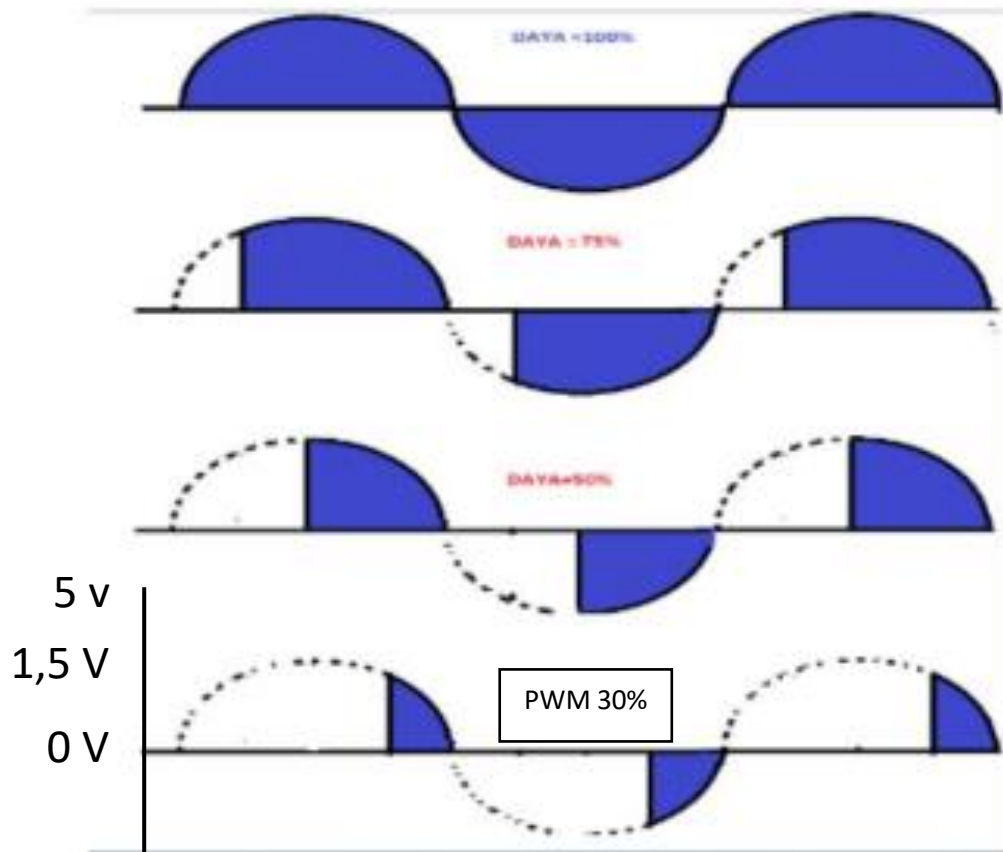
Gambar 5. 4. Percobaan awal suhu malam batik



Gambar 5. 5. Malam Batik ketika mencapai set point suhu 70°C



Gambar 5. 6. Pengukuran tegangan dan arus pada beban



Gambar 5. 7. Penggunaan *Duty Cycle*

Tabel 5- 3. Data Pengukuran PWM

No	PWM	Suhu	Gambar pengamatan
1	99%	32°C	

2	99%	35°C	
3	99%	40°C	
4	99%	45°C	
5	99%	50°C	

6	99%	55°C	
7	99%	60°C	
8	99%	65°C	
9	90%	68°C	

10	60%	69°C	
11	30%	70°C	

Tabel 5- 4. Data Pengukuran Komponen

No	Pengukuran	Standar	Hasil Pengukuran
1	Input tegangan AC	220 VAC	

2	Input Arduino UNO	6 - 20 VDC	
3	Output Arduino UNO	3,3 – 5 VDC	
4	Input Dimmer AC	220 VAC	
5	Input Kompur Listrik	3,3 – 5 VDC	
6	Input sensor suhu DS18B20	3,3 – 5 VDC	

7	Input LCD 16 x 2	3,3 – 5 VDC	
---	------------------	-------------	---

Setelah dilakukan pengukuran PWM dan pengukuran komponen yang terpasang, kemudian dilanjutkan dengan pengujian alat. Pengujian suhu dilakukan dengan menempatkan sensor dan thermometer di posisi yang berdekatan, sehingga hasil pembacaannya memiliki error yang sedikit.

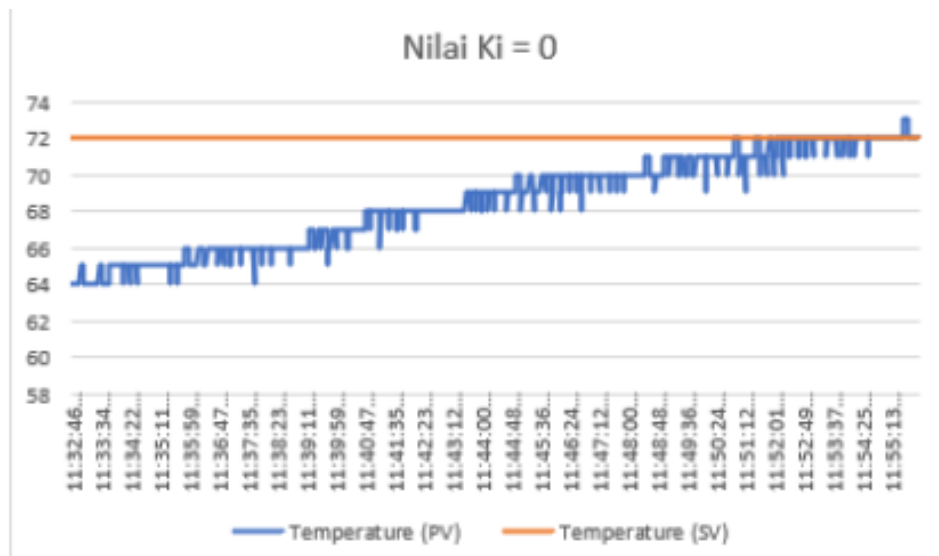
Pengujian ini nantinya akan menghasilkan data. Pengambilan seluruh data hasil pengujian menggunakan serial monitor Arduino Uno, kemudian data hasil pengujian dipindahkan ke dalam Microsoft Excel untuk di plot dalam bentuk grafik.

Pada pengujian alat ini, indikator Ki yang mempengaruhi perbedaan data, dimana pada pengujian pertama nilai Ki yang digunakan adalah 0, sedangkan pada pengujian ketiga, nilai Ki yang digunakan adalah 1. Lalu pengujian respon ketika diberi gangguan.

- 1) Pengujian dengan Nilai $K_p = 1$, $K_i = 0$, $K_d = 1$, dan $T_s = 1$

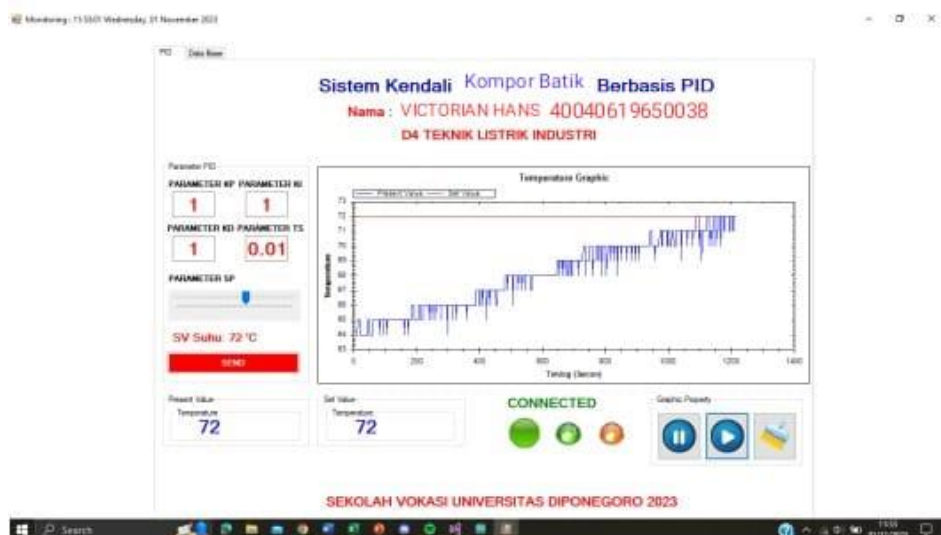


Gambar 5. 8. Tampilan HMI Nilai Ki 0

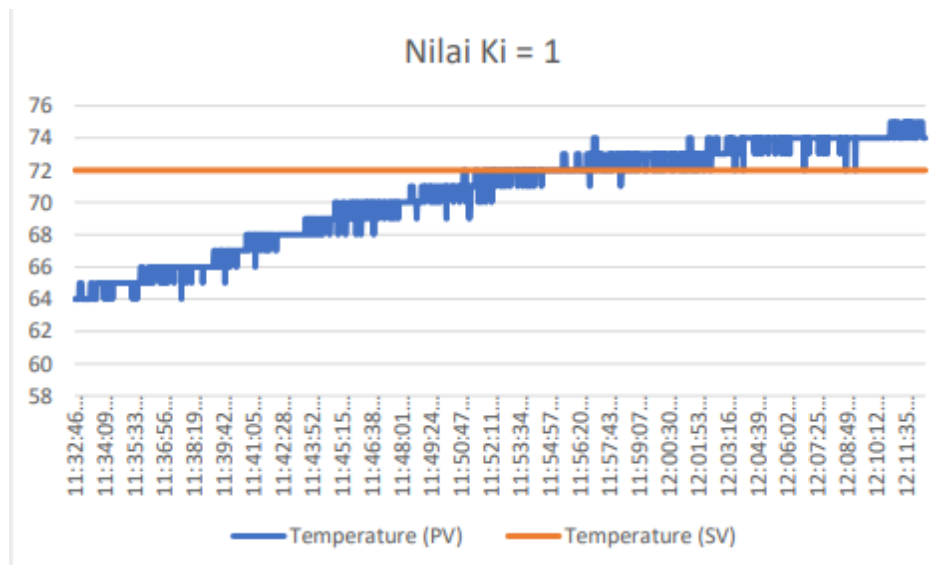


Gambar 5. 9. Grafik Nilai K_i 0.

- 2) Pengujian dengan Nilai $K_p = 1$, $K_i = 1$, $K_d = 1$, dan $T_s = 0,01$



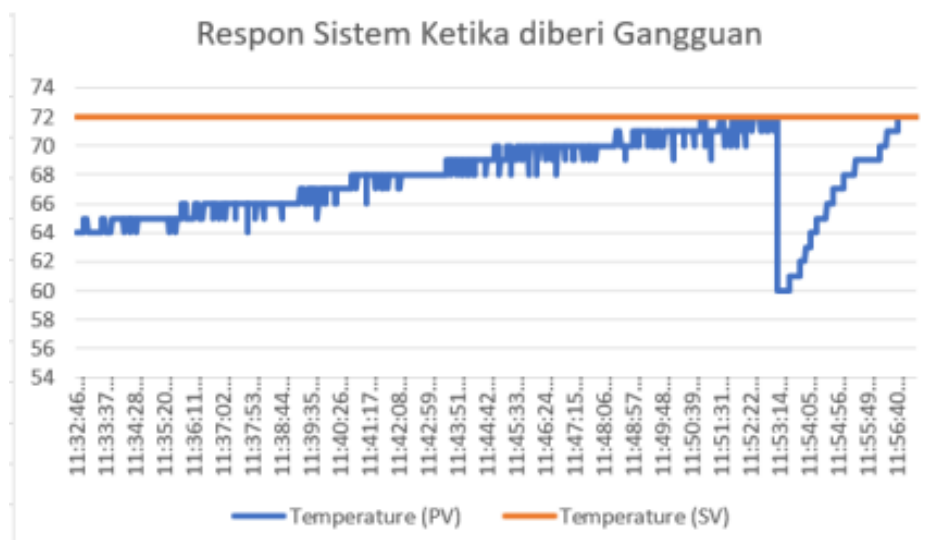
Gambar 5. 10. Tampilan HMI Nilai K_i 1



Gambar 5. 11. Grafik Nilai Ki 1

Pada saat alat bekerja, juga diukur nilai tegangan melalui dimmer AC yang terpasang.

3) Pengujian respon sistem ketika diberi gangguan



Gambar 5. 12. Grafik Nilai Ki 1

Tabel 5- 5. Tabel pembacaan Tegangan Dimmer AC

No	Nilai Arus (A)	Nilai Tegangan (V)	Dokumentasi
1	1, 29 A	49, 01 V	
2	1, 22 A	80, 68 V	
3	1, 11 A	82, 7 V	
4	0, 84 A	112, 2 V	

5	0,84 A	112,4 V	
6	0,81 A	122,7 V	
7	0,74 A	124,6 V	
8	0,50 A	128,6 V	

5.3. Analisa Alat

Setelah didapatkan data hasil pengukuran dan pengujian, dapat diketahui beberapa kondisi sebagai berikut

5.3.1. Analisa Pengukuran

Pengukuran rangkaian penyusun alat terdiri dari pengukuran tegangan setiap komponen yang terpasang. Hasil pengukuran sebisa mungkin mendekati standar, sehingga dapat meminimalisir kinerja komponen yang kurang optimal. Berdasarkan Tabel 5-2, terlihat bahwa hampir semua indikator sesuai dengan standar PLN ataupun datasheet.

5.3.2. Analisa Pengujian

Pengujian dilakukan dengan melakukan dua variasi indikator, dimana terdapat perbedaan antara nilai Ki. Pada kedua pengujian ini, nilai set point yang digunakan sama-sama 72°C. Nilai Ki yang berbeda akan menyebabkan perbedaan selisih antara suhu set point dan suhu aktual. Metode yang digunakan untuk mengolah data pengujian adalah persentase error, yang memiliki tujuan untuk melihat seberapa dekat nilai pengujian dengan menggunakan alat ukur dibandingkan dengan sensor. Hasil akhirnya akan disajikan dalam bentuk persentase. Adapun rumus untuk menghitung persentase error yaitu:

$$\text{Persentase Error (\%)} = \frac{(\text{pengujian sensor} - \text{pengujian alat ukur})}{\text{pengujian alat ukur}} \times 100 \% \dots \dots \dots (5.1)$$

Standar nilai keakuratan yang digunakan adalah 5%, sehingga apabila nilai persentase error nya semakin rendah maka akan semakin akurat

5.3.3. Analisa Pengujian Perbandingan Nilai Ki

1. Pengujian dengan Nilai $K_p = 1$, $K_i = 0$, $K_d = 1$, dan $T_s = 1$

Berdasarkan pengujian kedua dengan indikator berikut, didapatkan jumlah data sebanyak 1392, sehingga membutuhkan waktu selama 23 menit 12 detik. Pada pengujian ini juga didapatkan nilai suhu tertinggi yang dibaca sensor sebesar 70°C, sedangkan nilai suhu tertinggi yang dibaca termometer juga 70°C. Akan tetapi, terdapat nilai error dalam pembacaan suhu sensor dengan termometer sebesar 0,01%. Maka, nilai keakuratan antara sensor dengan termometer yaitu 99,9%.

- a. Waktu Tunda (delay time), t_d

Merupakan waktu yang menyatakan faktor keterlambatan respon output terhadap input, diukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 50% dari respon steady state. Berdasarkan hasil pengujian, waktu tunda berada pada suhu 68°C dimana

didapatkan hasil delay time dari sistem yaitu 481 detik atau 8 menit 1 detik.

- b. Waktu naik (rise time), t_r
Merupakan waktu yang di ukur mulai dari respon waktu pertama sampai dengan respon memotong sumbu steady state yang pertama. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil rise time dari sistem yaitu 1143 detik atau 19 menit 3 detik.
- c. Waktu puncak (peak time), t_p
Merupakan waktu yang diperlukan respon mulai dari $t = 0$ hingga mencapai puncak pertama overshoot. Berdasarkan hasil pengujian, nilai overshoot pada pengujian kedua ini adalah 70°C , sehingga didapatkan hasil peak time dari sistem yaitu 1366 detik atau 22 menit 46 detik.
- d. Waktu tunak (settling time), t_s
Waktu tunak adalah ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 5\%$, atau $\pm 2\%$, atau $\pm 0.5\%$ dari keadaan steady state. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan hasil settling time untuk suhu dari 69°C ke 70°C yaitu 223 detik atau 3 menit 43 detik.

2. Pengujian dengan Nilai $K_p = 1$, $K_i = 1$, $K_d = 1$, dan $T_s = 0,01$

Berdasarkan pengujian kedua dengan indikator berikut, didapatkan jumlah data sebanyak 2380, sehingga membutuhkan waktu selama 23 menit 12 detik. Pada pengujian ini juga didapatkan nilai suhu tertinggi yang dibaca sensor sebesar 70°C , sedangkan nilai suhu tertinggi yang dibaca termometer raksa juga 70°C .

Akan tetapi, terdapat nilai error dalam pembacaan suhu sensor dengan thermometer sebesar 0,01%. Maka, nilai keakuratan antara sensor dengan thermometer yaitu 99,9%.

- a. Waktu Tunda (delay time), t_d
Merupakan waktu yang menyatakan faktor keterlambatan respon output terhadap input, diukur mulai $t = 0$ s/d respon

mencapai 50% dari respon steady state. Berdasarkan hasil pengujian, waktu tunda berada pada suhu 68°C dimana didapatkan hasil delay time dari sistem yaitu 481 detik atau 8 menit 1 detik.

- b. Waktu naik (rise time), t_r
Merupakan waktu yang di ukur mulai dari respon waktu pertama sampai dengan respon memotong sumbu steady state yang pertama. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil rise time dari sistem yaitu 1143 detik atau 19 menit 3 detik.
- c. Waktu puncak (peak time), t_p
Merupakan waktu yang diperlukan respon mulai dari $t = 0$ hingga mencapai puncak pertama overshoot. Berdasarkan hasil pengujian, nilai overshoot pada pengujian kedua ini adalah 70°C , sehingga didapatkan hasil peak time dari sistem yaitu 2282 detik atau 38 menit 2 detik.
- d. Waktu tunak (setting), t_s
Waktu tunak adalah ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 5\%$, atau $\pm 2\%$, atau $\pm 0.5\%$ dari keadaan steady state. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan hasil settling time untuk suhu dari 67°C ke 70°C yaitu 1139 detik atau 18 menit 59 detik.

Dari kedua pengujian tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar nilai K_i , maka nilai respon terhadap kenaikan atau penurunan suhu semakin lambat. Hal ini karena respon transiennya semakin tinggi, sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Ketidakstabilan sistem inilah yang nantinya dapat menyebabkan output berisolasi. Kedua hasil pengujian juga mendapatkan hasil bahwa nilai error antara sensor dan termometer hanya sebesar 0,01%, sehingga nilai keakuratannya sebesar 99,9%.

5.3.4. Analisa Pengujian Respon Sistem Ketika diberi Gangguan

Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 5.7 respon sistem ketika diberi gangguan, sistem mampu mencapai steady state pada waktu 3900 detik atau 65 menit, dengan error sebesar 0,01%, kemudian diberi gangguan dengan cara membuka dan menutup pintu etalase. Recovery time pada sistem ini sebesar 609 detik atau 10 menit. Untuk lebih jelasnya parameter pada kerja sistem yang diperoleh sebagai berikut :

Steady State adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai nilai akhir. Terjadi pada sekitar 4500 detik atau 75 menit.

1. *Error Steady State* (ESS) adalah perbedaan antara nilai keluaran sistem dengan nilai referensi saat sistem mencapai keadaan stabil. Nilainya sebesar 0,01 %.
2. *Recovery Time* (RT) adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengembalikan ke kondisi steady state setelah terjadinya disturbance. Berdasarkan pengujian recovery time dengan gangguan adalah 609 detik atau 10 menit.

5.3.5. Analisa Pengujian Perubahan Tegangan (V) Output, Arus (I) Output dan Daya Alat Kerja

Karena sistem alat menggunakan berbasis PWM saat melakukan pengujian 70°C, PWM terbaca 30% , V input sebesar 5 V, dan Hambatan (R) sebesar 4,7 K Ω maka :

$$V \text{ output} = \text{PWM} \times V \text{ input}$$

$$= 30\% \times 5 \text{ Volt} = 1,5 \text{ Volt}$$

$$I \text{ output} = V \text{ output} : \text{Hambatan}$$

$$= 1,5 : 4,7 \text{ K } \Omega = 0,031 \text{ A} = 3,1 \text{ mA}$$

$$\text{Daya} = V \text{ output} \times I \text{ output}$$

$$= 1,5 \times 0,031 = 0,0465 \text{ W}$$

5.3.6. Analisa Pengujian Duty Cycle Dari PWM Pada Kompor Batik

Berdasarkan tabel 5-2, hasil bahwa tegangan yang diperlukan kompor dari suhu awal 64°C yaitu 128,6 V, pada saat suhu mendekati set point 68°C yaitu pada suhu 70°C tegangan yang diperlukan menjadi 49,1 V. Adanya perubahan nilai tegangan ini akibat dari perubahan nilai PWM dari Dimmer AC yang diberikan. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa rangkaian Dimmer AC dapat digunakan sebagai pengatur nilai PWM dalam mengontrol besaran pada tegangan. Rangkaian PWM memiliki duty cycle yang digunakan untuk mengatur tingkat tegangan pada kompor. Berdasarkan persamaan (2.10), untuk menghitung Duty cycle dari sebuah PWM dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Duty cycle} = \frac{t_{\text{ON}}}{t_{\text{Total}}} \times 100 \%$$

Pada saat suhu awal 32°C , maka duty cycle:

$$\begin{aligned} \text{Duty cycle} &= \frac{128,6}{220} \times 100 \% \\ &= 58,5 \% \end{aligned}$$

Sehingga tingkat panas kompor pada saat suhu awal 32°C yaitu sebesar 58,5%.

Pada saat suhu mendekati set poin 70°C yaitu pada suhu 69°C , maka duty cycle:

$$\begin{aligned} \text{Duty cycle} &= \frac{49,01}{220} \times 100 \% \\ &= 22,2 \% \end{aligned}$$

Sehingga tingkat panas elemen pemanas pada saat suhu mendekati set poin 72°C yaitu pada suhu 72°C yaitu sebesar 22,2%

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Setelah melakukan perencanaan, persiapan, perancangan, pembuatan, pengukuran, pengujian, hingga analisa alat tugas akhir “Rancang Bangun Sistem Pengendali Suhu pada Kompor Batik menggunakan Pengendali PID (Proportional Integral Derivative) Berbasis Arduino Uno”, adapun beberapa kesimpulan yang diperoleh penulis dari laporan tugas akhir ini yaitu:

1. Pembuatan alat dilatarbelakangi oleh terbatasnya alat yang dapat menjaga dan mengatur nilai suhu kompor batik dengan nilai set point 70°C.
2. Rangkaian keseluruhan alat ini menggunakan sumber AC 220V untuk kompor listrik dan DC 5V menggunakan konektor USB untuk rangkaian alat. Komponen penyusunnya yaitu imodul MAX6675 serta sensor suhu DS18B20, modul AC dimmer, Arduino Uno R3, dan LCD 16x2 serta modul I2C.
- 3.. Alat yang telah dibuat telah berhasil melakukan perintah sesuai dengan program yang telah diatur, Sistem HMI juga bekerja.
4. Terdapat dua variasi indikator pada saat pengujian data, dimana terdapat perbedaan antara nilai Ki yaitu 0 dan 1.
5. Pembacaan nilai tegangan yang terbaca oleh dimmer relatif berubah karena dipengaruhi oleh nilai tegangan sumber PLN AC 1 fasa.
6. Nilai keakuratan sebesar 99.99% dengan nilai rata-rata selisih yaitu 1°C dan persentase error sebesar 0.01% berdasarkan perbandingan hasil pembacaan modul MAX6675 disertai sensor suhu DS18B20 dengan termometer alkohol.

6.2. Saran

Tugas akhir yang dibuat oleh penulis tentunya masih memiliki kekurangan. Harapannya, alat tugas akhir ini dapat dikembangkan dan disempurnakan lagi. Adapun beberapa saran dari laporan tugas akhir ini yaitu:

1. Alat ini dapat ditentukan lagi nilai K_p , K_i , K_d , T_s nya, sehingga nilai selisih antara set point dan overshoot nya bisa lebih kecil lagi.
2. Alat ini dapat dikembangkan lagi media penyampaian informasinya, bisa dilakukan dengan via Internet of Things (IoT).
3. Alat ini dapat dilengkapi dengan system input secara hardware, misalnya menggunakan keypad 4x4.

Demikian tugas akhir ini dibuat dengan sungguh-sungguh. Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan, sehingga harapannya akan ada pengembangan untuk kedepannya. Semoga alat dan laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi masyarakat umum.