

SISTEM KONTROL SUHU *ELECTRIC MUFFLE FURNACE* MENGGUNAKAN SENSOR THERMOKOPEL TYPE-K BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO UNO

Farhan Arista Fhadillah¹, Asep Andang², Nundang busaeri³
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, Indonesia¹²³
E-mail : 177002057@student.unsil.ac.id

Abstract

Along with the development of the era, the furnace became a mandatory item in the material industry, the lack of domestic products caused the high price of heating stoves in this industry, especially in terms of learning methods, there was a need for developments in the field of technology that could make it easier, cheaper, and able to increase the productivity of human resources. Unstable temperature characteristics at high temperatures are an obstacle in this study, therefore a heater design is carried out using the PID control method. The main objective of this research is to stabilize the temperature at high temperatures at a low price. The components used in this study are Arduino Uno, Dimmer SCR 220 V 400 W, LCD, Push Button, Servo Motor, and RTC Module. To test the stability of the temperature, this research was carried out by testing the heater with empty objects in it, small objects (iron plates), and large objects (iron rods) and testing them at different temperatures, namely at 100°C, 200°C, 300°C and 400°C. From all the tests performed, the steady state error rate was not more than 5%.

Keywords: temperature, heater, error rate

Abstrak

Seiring berkembangnya zaman tungku pembakaran (furnace) menjadi barang wajib pada industry material kurangnya produk dalam negeri menyebabkan mahalnya harga tungku pemanas pada industry ini khususnya dalam metode pembelajaran diperlukan adanya perkembangan dalam bidang teknologi yang dapat mempermudah, murah, dan mampu meningkatkan produktifitas sumber daya manusia. karakteristik suhu pada suhu tinggi yang tidak stabil menjadi Kendala pada penelitian ini oleh sebab itu dilakukan perancangan pemanas dengan menggunakan metode kontrol PID. Tujuan utama pada penelitian ini adalah mensabilkan suhu pada suhu tinggi dengan harga yang murah. Komponen yang digunakan pada penelitian ini adalah Arduino Uno, Dimmer SCR 220 V 400 W, LCD, Push Button, Motor Servodan Modul RTC. Untuk menguji kestabilan suhu, pada penelitian ini dilakukan dengan menguji pemanas dengan benda kosong didalamnya, benda kecil (plat besi), Benda besar (batang besi) dan mengujinya dengan suhu yang berbeda beda yakni pada suhu 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C. Dari keseluruhan pengujian yang dilakukan didapatkan error rate steady state tidak lebih dari 5%.

Kata Kunci: Suhu, Pemanas, Error rate.

I. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya zaman tungku pembakaran (*furnace*) menjadi barang wajib pada industry material. kurangnya produk dalam negeri menyebabkan mahalnya harga tungku pemanas. pada industry ini khususnya dalam metode pembelajaran pada proses pembelajaran di teknik elektro, Fakultas teknik, Universitas siliwangi diperlukan adanya perkembangan dalam bidang teknologi yang dapat mempermudah, murah, dan mampu meningkatkan produktifitas sumber daya manusia. Peningkatan alat dapat menghabiskan biaya yang cukup mahal. Untuk harga Nabertherm L5/11/B410 menghabiskan biaya sebesar 65 juta rupiah [1]. diperlukan hal inovatif yang mampu bersaing dengan produk luar namun menghabiskan biaya yang murah.

Oleh karena itu untuk mengambil langkah efisien penulis berinisiatif membuat *electric muffle furnace* beserta dengan sistem kontrol kendali suhunya dengan harga yang relative murah. Harga yang relative murah ini disebabkan karena menggunakan instrumen penunjang yang dirakit sendiri dan juga menggunakan beberapa bahan komponen lokal yang tersedia dalam negeri. Dengan harapan dapat meningkatkan kualitas maupun keratifitas dari hasil penelitian dosen maupun mahasiswa Universitas Siliwangi. Harga yang jauh lebih murah dengan kualitas yang tidak jauh dari alat produk yang sudah ada, menjadi salah satu pertimbangan penulis untuk mengangkat tema ini. karakteristik suhu pada suhu tinggi yang tidak stabil menjadi Kendala pada Sistem kendali suhu pada tungku pembakaran

oleh sebab itu dilakukan perancangan pemanas dengan metode kontrol yang stabil. Sistem kendali kontrol suhu telah banyak dirancang dan dibuat didalam dunia teknologi elektronika, seperti metode kendali fuzzy [2], metode kendali on/off [3], dan juga PID [4]. yang membuat alat ini beda dengan alat yang lain adalah segi perancangan dan juga sistem perancangan suhunya. Pembuatan sistem kontrol ini diharapkan mampu membantu kinerja dari furnace untuk menstabilkan suhu yang keluar dari reaktor kawat yang ada di dalam muffle furnace.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Furnace

Furnace atau tungku pembakaran merupakan sebuah alat yang digunakan sebagai pemanas logam atau material, yang berfungsi sebagai pengubah bentuk atau sifat suatu logam atau bahan yang disebabkan oleh perlakuan panas [5]. *Electric furnace* adalah tungku pelebur berbahan bakar listrik, yang berfungsi sebagai pemanas, pelebur, serta perubah bentuk logam dengan menggunakan elemen pemanas atau *heater* sebagai pembangkit energi panasnya[6].

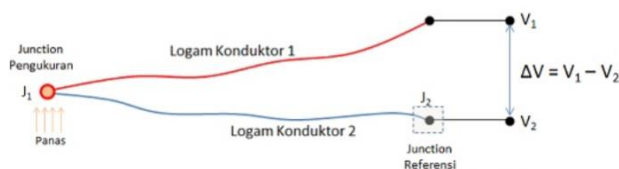
B. Muffle Furnace

Muffle furnace biasanya terdiri dari ruang tungku yang berbentuk persegi panjang. Yang mana pengisian dan pemakaian dilakukan melalui pintu berengsel, pada furnace ini tungku ruangan terbuat dari alumina tahan api dengan alur untuk mendukung elemen pemanas. Pemanasan

dilakukan dengan menggunakan kawat resistan yang dibuat dalam bentuk kumparan dan ditempatkan didalam alur tahan api. Suhu ruang pemanas dimonitor oleh termokopel, yang kemudian di kontrol oleh termokontrol yang terhubung dengan termokopel. Biasanya termokopel terhubung melalui dinding belakang ruang pada *furnace*. Jenis tungku ini digunakan untuk perawatan dari komponen kecil hingga komponen menengah. Pada *furnace* ini selubung luar atau sampul pada *furnace* ini terbuat dari lembaran baja ringan. *Casing* baja membungkus ruang tahan api yang dapat menahan suhu yang diinginkan dan juga suhu dari bata isolasi. Pada *furnace* jenis ini menggunakan refraktori yang sesuai untuk menahan panas dari ruang pemanas. Lapisan terdalam pada *furnace* jenis ini memiliki alur khusus untuk menginduksi kawat kumparan yang menempel pada alur tersebut. Pemanasan dilakukan melalui pemanas resistansi tipe kumparan, yang dirancang dan dipasang dengan tepat didalam alur tahan api, yang kemudian dihubungkan ke peralatan kontrol pada *furnace*[7].

C. Termokopel

Termokopel berfungsi mengubah perbedaan panas dalam benda yang diukur menjadi perubahan potensial atau tegangan listrik[8]. Termokopel dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup luas dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C. Termokopel terdiri dari 2 jenis kawat logam konduktor yang digabungkan pada ujungnya sebagai ujung pengukuran. Konduktor ini kemudian akan mengalami gradiasi suhu dan dari perbedaan suhu antara ujung termokopel dengan ujung kedua kawat logam konduktor yang terpisah akan menghasilkan beda potensial. Untuk kasus penelitian ini dibutuhkan termokopel dengan tahanan suhu yang tinggi oleh sebab itu penulis menggunakan termokopel thype-k sebagai sensor pengukur suhu[9].



Gbr. 1 Pengukuran Thermokopel

D. Sistem Kendali PID

Control system (Sistem pengendali) adalah sistem yang berfungsi untuk mengendalikan suatu sistem yang lain. Pengendalian sistem bertujuan untuk menunjang kinerja pada suatu sistem kendali menjadi lebih baik atau lebih mendekati sempurna. Umumnya sistem kendali terbagi menjadi dua sistem yaitu *open loop control system* dan *closed loop control system*. pada sistem pengendali terdapat beberapa istilah, antara lain SP, error, MV, PV dan Plant, yang artinya sebagai berikut[10].

E. Arduino UNO

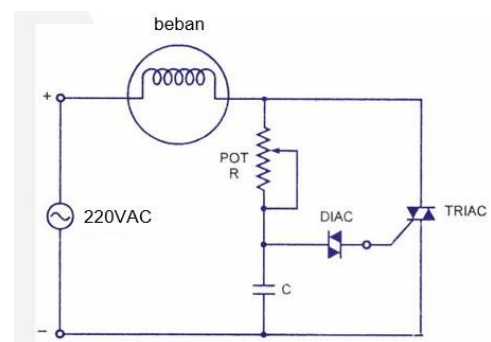
Mikrokontroler arduino UNO sebagai pengendali utama mengendalikan elemen pemanas dan kipas dengan bantuan sensor panas sebagai input suhu. Sensor tersebut nantinya akan di tempatkan di dalam tungku pemanas untuk mendapatkan parameter suhu dalam tungku pemanas sebagai input data mikrokontroler arduino uno[11].

F. Dimmer SCR 220 VAC 4000 W

Dimmer SCR berfungsi untuk mengatur besar tegangan AC. Jadi tegangan listrik rumah 220V kemudian dapat diatur pada range 90V hingga 220V dan memiliki daya yang besar hingga 4000W. Modul ini dapat digunakan untuk mengatur intensitas cahaya lampu pijar, mengatur kecepatan kipas angin, mengatur kecepatan blender, mengatur panas seterika, Bor Listrik, Slean, Gerinda. dll yang menggunakan tegangan AC.



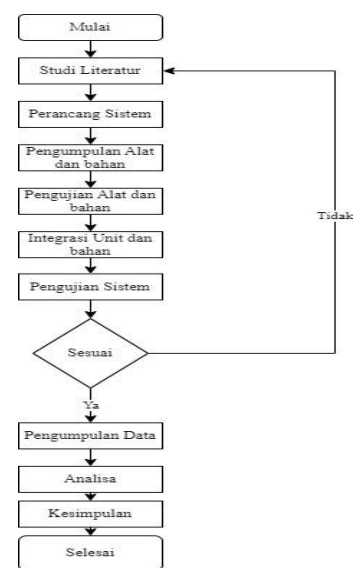
Gbr. 2 Dimmer SCR 220 V 4000 W



Gbr. 3 Rangkaian Dimmer SCR 220VAC 4000W

III. METODE

A. Flowchart Penelitian

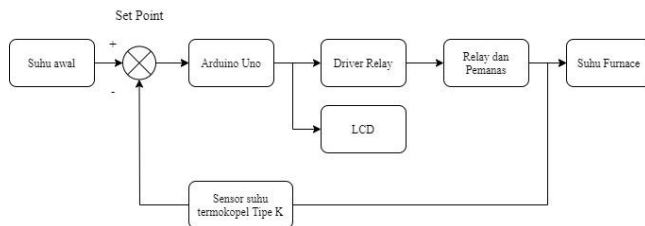


Gbr. 4 Flowchart Penelitian

Pada Gbr 4 tahap ini adalah tahap sebelum memulai perancangan Kontrol sistem kendali suhu *electric muffle furnace* menggunakan sensor *thermopel thype-K* Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno, ada beberapa tahapan penelitian yang dilakukan sebagai upaya untuk membuat sistem yang baik dan sesuai dengan yang diharapkan.

B. Blok Diagram Sistem

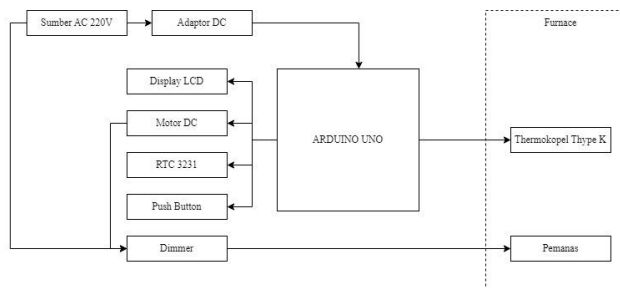
Sistem kendali Suhu Electric muffle Furnace dengan Arduino Uno A3 menggunakan kendali PID berbasis Mikrokontroler direpresentasikan dalam diagram blok seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 5.



Gbr. 5 Diagram Blok Sistem

C. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan hardware diawali dengan pembuatan *baseplate*, *marking* dan *drilling baseplate* untuk penempatan *material brick C1*. Pembuatan *baseplate* dimaksudkan untuk menyusun 4 buah *brick c1* menjadi satu kesatuan agar kokoh setiap sisinya, dengan cara tiap sisi sudut dari *brick c1* diberi plate besi berbentuk siku. Yang dilas tiap sisinya agar menyatu dengan sempurna. Setiap jarak, ukuran *Brick C1* atau komponen lainnya di *layout* di desain dalam satuan cm, dimana desain disesuaikan dengan bentuk *hardware*.



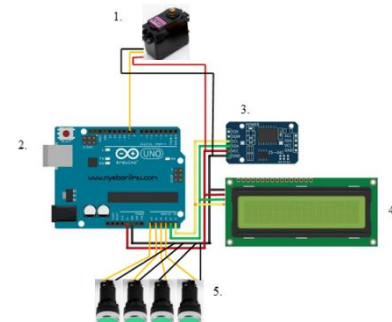
Gbr. 6 Perancangan Perangkat Keras

Proses *marking* dan *drilling* merupakan proses menandai *baseplate* untuk memudahkan proses instalasi suatu komponen seperti Gbr.7 . Setelah proses *marking*, supaya instalasi komponen tidak mudah lepas dari *baseplate* perlu melakukan *drilling* untuk dipasang baut pada titik-titik yang telah di *marking*.



Gbr. 7 Proses Marking Baseplate

Setelah *marking* dan *drilling*, tahap selanjutnya dilakukan proses *assembling*. Proses *assembling* meliputi, pemasangan seluruh komponen sistem. Pemasangan komponen disesuaikan dengan *layout* pada Gbr. 8.



Gbr. 8 Desain Layout Sistem

Tbl 1 Legend Layout Sistem

No.	Deskripsi	Spesifikasi
1	Motor Servo	MG996R metal gear 180°
2	Mikrokontroler	Arduino Uno
3	Modul RTC	DS3231 RTC
4	Display LCD	LCD 1602 with LCD backpack Yellow
5	Push Button	Push Button on/off 22mm

D. Perancangan Software

Percanaan perangkat lunak terdiri dari logaritma beserta diagram alir keseluruhan dan prosedur program metode control PID dalam *electric muffle furnace*. Pada mikrokontroler arduino uno system akan diprogram menggunakan bahasa C++ dengan program arduino IDE (*Integrated Development Environment*) pada Sistem komunikasi, perangkat komunikasi digunakan sebagai media penghubung antara mikrokontroler ke *interface* dengan program arduino. Berikut adalah diagram alir dari perancangan perangkat lunak *system control electric muffle furnace*.

- 1) Mulai
- 2) Inisialisasi I/O Register dan variable.
- 3) Deteksi dan inisialisasi Sensor termokopel Tipe-K
- 4) Tampilan LCD menyala,
- 5) Pembacaan suhu oleh sensor suhu termokopel tipe-K
- 6) Proses penentuan data parameter kontrol setpoint motor servo memutar potensiometer secara otomatis.
- 7) Tampilan LCD “PEMBACAAN SUHU OVEN”, “SP: (setpoint)”, “Set point PID: (Nilai setpoint PID)”, “SUHU: (suhu terbaca)”, “Waktu” (Nilai waktu)
- 8) Proses pengukuran suhu
- 9) Sistem kontrol PID bekerja
- 10) Pemanas berkerja memanaskan oven
- 11) Pemanas berhenti memanaskan oven pada setpoint waktu yang dimasukkan.
- 12) Selesai

Berikut adalah pemrograman PID menggunakan Arduino IDE yang akan ditunjukkan oleh gambar dibawah ini

```

double Setpoint = 500;
#define PRESET_1
#ifndef PRESET_1
double Kp = 1.25;
double Ki = 0.67;
double Kd = 0.75;
#else //PRESET_2
double Kp = 2.25;
double Ki = 0.77;
double Kd = 6.75;
#endif
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

#define BALANCE_PID_MIN 135 // Derajat Servo Ketika Dimmer Nol
#define BALANCE_PID_MAX 175 // Derajat Servo Ketika Dimmer Paling Tinggi

```

Gbr. 9 Program kontrol PID arduino

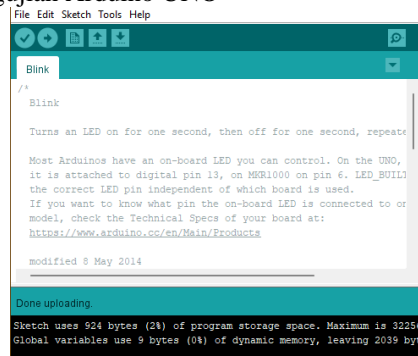
- 1) Pada gambar diatas baris pertama merupakan input setpoint atau titik suhu yang diinginkan.
- 2) Pada baris kedua memiliki fungsi apabila pada baris tersebut diberikan perintah maka pengatur PID akan mengacu pada Preset_2 contoh : `//#define PRESET_1`
- 3) Pada baris ketiga, empat, lima dan enam adalah perintah PID dengan nilai $K_p = 1.25$, $K_i = 0.67$ dan $K_d = 0.75$
- 4) Pada baris ke tujuh hingga sebelas merupakan perintah PID dengan nilai $K_p = 2.25$, $K_i = 0.77$, $K_d = 6.75$
- 5) Pada baris ke dua belas, merupakan perintah PID ke program compute PID
- 6) Pada baris ke tiga belas dan empat belas merupakan perintah pengatur derajat putaran pada dimmer

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Unit

Pada tahap ini dilakukan beberapa pengujian komponen yang akan digunakan seperti LCD, Arduino UNO, Push Button, sensor Thermokopel thype-k dan juga Dimmer.

1) Pengujian Arduino UNO



Gbr. 10 Pengujian Arduino

Pengujian ini dilakukan dengan mengunggah program dari perangkat lunak arduino ke breadboard. Program Pada Gbr. 10

2) Pengujian Dimmer

Pengujian dimmer dilakukan dengan beberapa langkah dimulai dengan pengecekan arus dan tegangan dimmer menggunakan lampu 100 W, pengecekan arus dan tegangan dimmer menggunakan furnace, pengecekan grafik tegangan menggunakan osyloscope, dan pengecekan hambatan potensiometer pada dimmer, pengujian ini dilakukan dengan menguji nilai arus, tegangan maupun hambatan pada tiap nilai duty cycle yang ada pada dimmer.

Tbl 2 Hasil Pengujian Arus dan tegangan dimmer pada lampu 100 W

Putaran Dimmer (°)	Arus (A)	Voltase (V)	Keterangan
0°	0,03 A	0 V	Lampu tidak menyala
30°	0,03 A	0,02 V	Lampu tidak menyala
60°	0.03 A	0,02 V	Lampu tidak menyala
90°	0.03 A	0,02 V	Lampu tidak menyala
120°	0.908 A	1,28 V	Lampu menyala redup
150°	1,336 A	111 V	Kawat menyala
180°	2,055 A	157 V	Kawat menyala
210°	2,485 A	191,6 V	Kawat menyala
240°	2,815 A	210,3 V	Kawat menyala

Tbl 3 Hasil Pengujian Arus dan Tegangan dimmer menggunakan Furnace

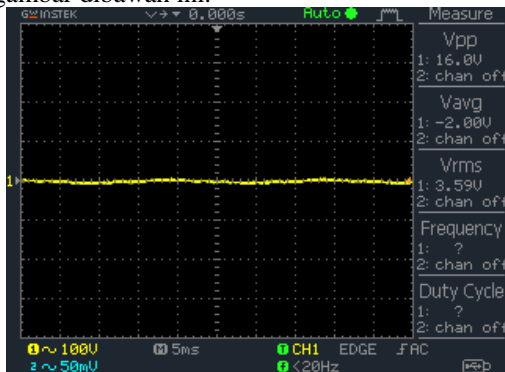
Putaran Dimmer (°)	Arus	Voltase	Keterangan
0°	0 A	0,247 V	Kawat Belum menyala
30°	0 A	0,249 V	Kawat Belum menyala
60°	0 A	0,249 V	Kawat Belum menyala
90°	1,1 A	2,591 V	Kawat menyala redup
120°	3,5 A	38,37 V	Kawat menyala
150°	5,2 A	112,7 V	Kawat menyala
180°	7,1 A	159,5 V	Kawat menyala
210°	8,8 A	197,6 V	Kawat menyala
240°	9,1 A	219,5 V	Kawat menyala

Tbl 4 Hasil Pengujian Hambatan pada Dimmer

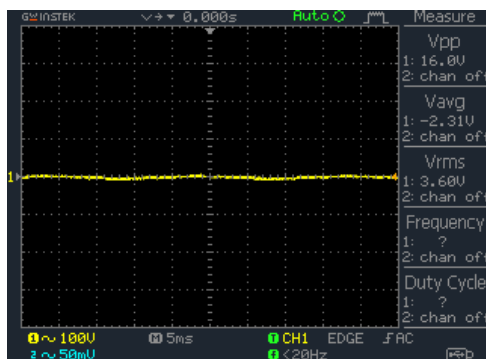
Putaran Dimmer (°)	Nilai Hambatan (Ω)
0°	0,508 MΩ
30°	0,468 MΩ
60°	0,412 MΩ
90°	212,8 kΩ
120°	190,1 kΩ
150°	189,8 kΩ
180°	155,1 kΩ
210°	102,3 kΩ
240°	44,5 kΩ

Menurut Tbl 2, Tbl 3, Tbl 4 dari data diatas pada putaran 0° hingga 60° belum dimulai adanya perbedaan besar tegangan dan arus pada putaran dimmer 0°, 30° dan 60° yang dapat dilihat pada table nilainya kecil, laju arus baru dimulai pada putaran 90° dapat dilihat dari table kawat dan lampu pijar dapat menyala dengan redup, kemudian nilai puncak pada dimmer dapat dilihat dari putaran 270° terlihat dari

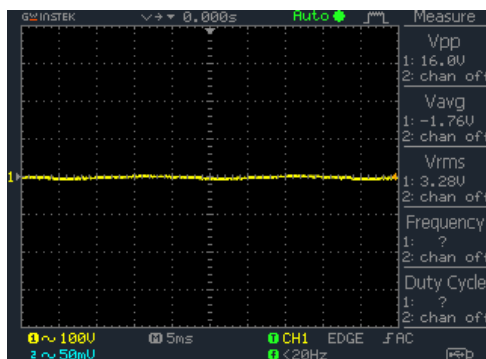
kedua table yang menggunakan lampu pijar maupun furnace terlihat menyala dengan tegangan arus yang besar. Percobaan unit pada dimmer ini dilakukan sebanyak 10 kali, untuk memastikan komponen bekerja dengan baik ketika dipakai pada system, kemudian dapat dilihat dari gambar dibawah bentuk grafik tegangan menggunakan osyloscope pada gambar dibawah ini.



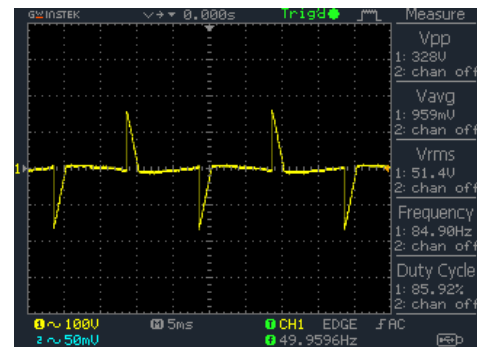
Gbr. 11 Grafik Sinyal Sinusoidal osiloscope Putaran dimmer 0°



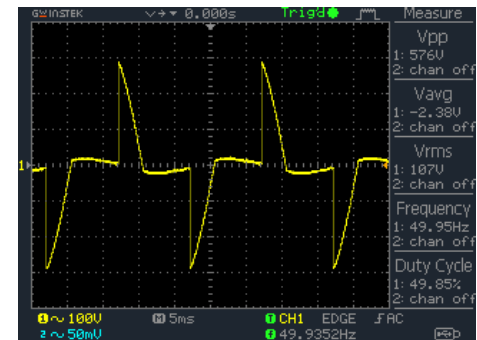
Gbr. 12 Grafik Sinyal sinusoidal osiloscope putaran dimmer 30°



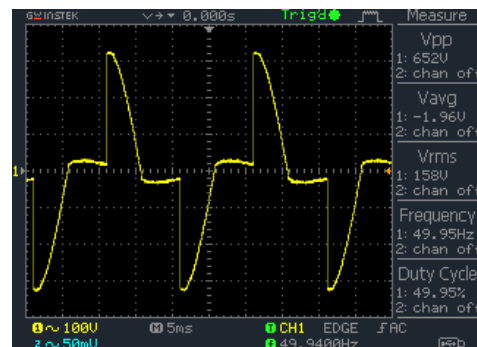
Gbr. 13 Grafik sinyal Sinusoidal osiloscope putaran dimmer 60°



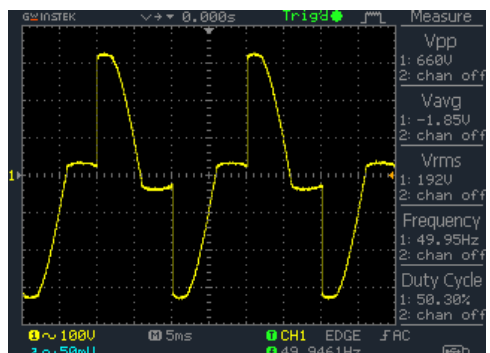
Gbr. 14 Grafik Sinyal Sinusoidal Osiloscope putaran dimmer 90°



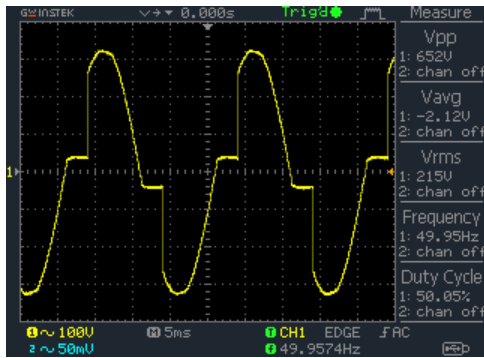
Gbr. 15 Grafik Sinyal sinusoidal Osiloscope putaran dimmer 120°



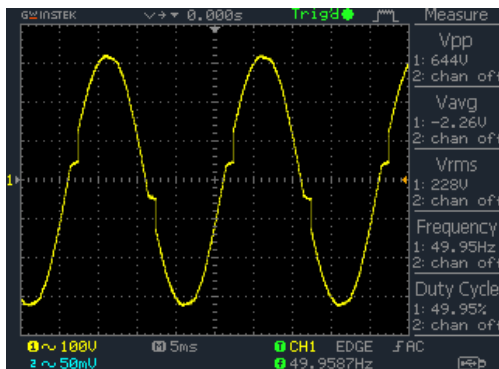
Gbr. 16 Grafik Sinyal sinusoidal Osiloscope Putaran dimmer 150°



Gbr. 17 Grafik Sinyal sinusoidal osiloscope putaran dimmer 180°



Gbr. 18 Grafik sinyal Sinusoidal Osiloscope putaran dimmer 210°



Gbr. 19 Grafik sinyal sinusoidal Osiloscope putaran dimmer 240°

3) Pengujian Thermokopel Thype-k

Pengujian *Thermokopel thype-k* dilakukan dengan melakukan kalibrasi suhu dengan thermometer raksa dan juga thermogun. Hal ini untuk mengetahui seberapa besar akurasi yang terhitung dari thermokopel dan juga untuk mengetahui besaran *error rate* pada thermokopel. Sehingga dapat diketahui bahwa alat berfungsi dengan baik atau tidak. Hasil pengujian thermokopel disajikan pada Tabel dibawah ini.

Tbl 5 Pengujian Suhu Thermokopel Thype-K

No. Percobaan	Thermo kopel Thype k	Ther mogun	Therm ometer	Input Suhu	eror rate
1	78,5°C	82°C	80°C	80°C	1,88 %
2	78,5°C	79°C	79°C	80°C	0,63 %
3	78°C	79°C	79°C	80°C	1,25 %
4	81°C	80°C	78°C	80°C	1,25 %
5	80,25°C	80°C	80°C	80°C	0,31 %
6	77,5°C	80°C	81°C	80°C	3,13 %
7	80,25°C	80°C	80°C	80°C	0,31 %
8	77,25°C	81°C	79°C	80°C	4,69 %
9	81°C	79°C	80°C	80°C	2,5%
10	83°C	79°C	80°C	80°C	5,00 %

Dari data table diatas didapatkan nilai thermokopel thype-k memiliki eror rate paling kecil 0,31% dan paling besar 5% dari setpoint yg ditentukan. Dari hasil data diatas juga dilakukan kalibrasi suhu pada thermometer raksa dan thermogun sebagai pembanding untuk thermokopel thype-k.

4) Pengujian Unit LCD

Pengujian Unit LCD dilakukan dengan memberi perintah dari arduino ke LCD berupa tampilan setpoint, Waktu, angka suhu real time dan juga nilai PID. Pada bagian ini dilakukan pemberian perintah tampilan kenaikan suhu pada LCD, tampilan penurunan suhu pada LCD dan juga indikator penampil suhu ketiga pengujian tersebut dilakukan sebanyak 10 kali untuk memastikan unit dalam kondisi baik. Yang mana data pengujian unit LCD akan ditampilkan pada Tabel dibawah ini.

Tbl 6 Hasil Pengujian Unit LCD

No. uji	Tampilan Kenaikan suhu	Tampilan Penurunan suhu	Indikator Penampil suhu
1	Sesuai	Sesuai	Sesuai
2	Sesuai	Sesuai	Sesuai
3	Sesuai	Sesuai	Sesuai
4	Sesuai	Sesuai	Sesuai
5	Sesuai	Sesuai	Sesuai
6	Sesuai	Sesuai	Sesuai
7	Sesuai	Sesuai	Sesuai
8	Sesuai	Sesuai	Sesuai
9	Sesuai	Sesuai	Sesuai
10	Sesuai	Sesuai	Sesuai

Dari hasil data diatas dapat dipastikan LCD berfungsi dengan baik dari mulai tampilan kenaikan suhu, penurunan suhu dan juga indikator penampil suhu. Perintah tampilan setpoint, nilai PID, dan juga waktu juga dapat ditampilkan dengan jelas oleh LCD.

5) Pengujian Unit Push Button

Pada pengujian ini, pengujian dilakukan dengan menekan tombol push button yang mana push button saling berkaitan dengan LCD, pengujian dilakukan dengan memberi perintah LCD menggunakan Push Button yang nantinya setiap perintah dari push button akan ditampilkan pada LCD. Pengujian dilakukan dengan menekan tombol menaikkan, menurunkan suhu dan juga pengatur waktu. Data pengujian unit push button akan ditampilkan pada table dibawah ini.

Tbl 7 Hasil Pengujian Push Button

No. uji	Perintah menaikkan suhu	Perintah menurunkan suhu	Perintah pengatur waktu
1	Sesuai	Sesuai	Sesuai
2	Sesuai	Sesuai	Sesuai
3	Sesuai	Sesuai	Sesuai
4	Sesuai	Sesuai	Sesuai
5	Sesuai	Sesuai	Sesuai
6	Sesuai	Sesuai	Sesuai
7	Sesuai	Sesuai	Sesuai
8	Sesuai	Sesuai	Sesuai
9	Sesuai	Sesuai	Sesuai

10	Sesuai	Sesuai	Sesuai
----	--------	--------	--------

Dari hasil pengujian Push button, push button sudah bekerja dengan baik dengan setiap tombolnya dapat memberi perintah ke LCD dan ditampilkan dengan sesuai oleh LCD.

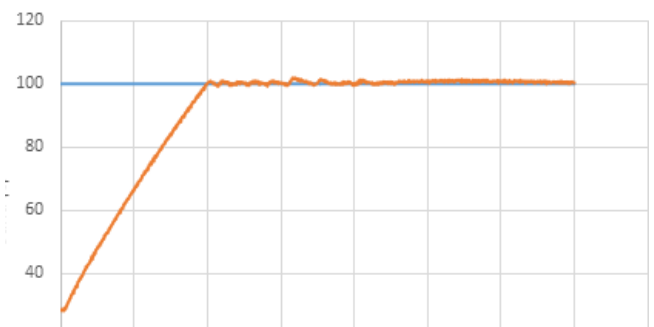
6) Pengujian *Trial and Error* PID

Pengujian nilai PID dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti Metode Ziegler-Nichols, Trial and Error, dan Metode Chien-Hrones-Reswick (C-H-R). Pada penelitian ini nilai K_p , K_i , dan K_d didapatkan dengan metode Trial and Error, seperti namanya Trial and error dilakukan dengan cara mencoba satu persatu pada nilai K_p , K_i dan K_d . Berikut adalah data hasil pengujian dari trial and error PID.

Tbl 8 Hasil Pengujian trial and error PID

Parameter PID			Analisa Respon Sistem		
K_p	T_i	T_d	Rise Time (s)	Settling Time (s)	Overshoot (%)
10	1	2	0.46875	1.71875	3.917
10	1	1	0.927834	1.54639	1
10	2	2	0.78125	1.25	0.667
10	0.5	1	0.757575	1.21212	1.167
1	0.5	2	0.64516	1.12903	0.167
1	0.6	1	0.78125	1.875	0
1	0.6	2	0.612244	1.989793	0.083
1	0.6	0.5	0.789475	2.21053	0
1	0.61	1	1.09375	2.8125	0
1	0.61	2	1.54639	3.09278	0
1	0.61	0.5	0.463917	1.54639	10.5
1	0.62	1	0.63158	1.421055	2.833
1	0.62	2	0.46875	1.5625	3.75
1	0.62	0.5	0.473685	1.26316	1.5
1	0.63	1	0.463917	1.082473	0
1	0.63	2	0.78125	1.40625	0
1	0.63	0.5	0.79787	2.074462	0
1	0.64	1	0.78125	2.03125	0
1	0.64	2	0.957444	2.712758	0
1	0.64	0.5	1.26316	3.1579	0

Dari hasil data pengujian diatas didapatkan dua nilai PID yang sesuai dengan $K_p = 1.25$, $K_i = 0,67$ dan $K_d 0,75$. Dengan didapatkan grafik PID sebagai berikut.



Gbr. 20 Pengujian Trial and error PID

B. Pengujian Sistem

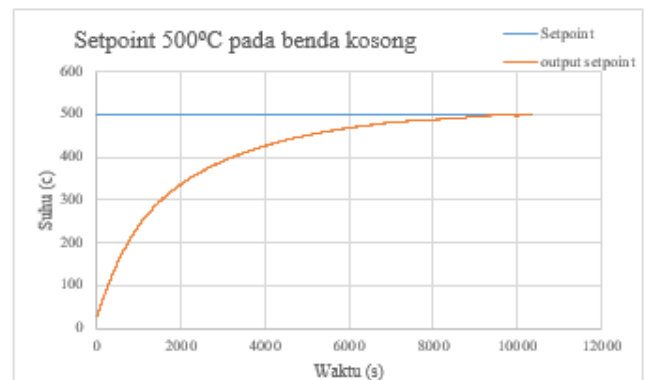
Pada pengujian ini terdiri dari beberapa pengujian system yang berupa, pengujian system pada suhu puncak dengan benda kosong, dengan plat besi sebagai objek benda kecil, dan juga batang besi sebagai objek benda besar. selanjutnya dilakukan pengujian system kestabilan suhu pada range suhu 100°C, 200 °C, 300 °C dan 400 °C ditahan selama 15 menit.



Gbr. 21 Benda besar (batang Besi) dan Benda Kecil (plat besi)

1) Pengujian Sistem dengan benda kosong

Pada pengujian ini dilakukan dengan menyalakan furnace hingga titik 500oC. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja furnace pada titik puncaknya, yang mana indicator pengujian ini berupa waktu yang ditempuh oleh furnace dan juga kestabilan suhu pada setpoint.



Gbr. 22 Grafik Pengujian sistem setpoint 500°C pada keadaan benda kosong

Dari grafik diatas didapatkan error rate pada penurunan suhu sebesar 0.4 % dan pada kenaikan suhu sebesar 0.2%.

Pada penelitian ini pengujian PID dikatakan stabil tidak berarti error rate penurunan dan kenaikan suhu sebesar 0 %. Akan tetapi masih diambang batas toleransi error rate yang ditentukan. Menurut literature ambang batas antara kenaikan dan penurunan suhu di angka 2-5% (atas bawah). Jika nilai error rate dibawah toleransi maka sistem bekerja secara tidak stabil[12]. Untuk mencari nilai error rate dilakukan dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Error rate} = \frac{(\text{nilai asli} - \text{nilai ukur})}{\text{nilai asli}} \times 100\%$$

Berikut perhitungan error rate penurunan suhu

$$\text{Error rate} = \frac{(500 - 498)}{500} \times 100\% = 0,4\%$$

Berikut perhitungan error rate kenaikan suhu

$$\text{Error rate} = \frac{(501 - 500)}{500} \times 100\% = 0,2\%$$

Pada gbr. 22 waktu yang ditempuh dari suhu ruangan hingga 500°C menghabiskan waktu hingga 2 jam 52 menit. Ini dikarenakan heater yang dipakai pada furnace hanya menggunakan satu kawat, satu lilitan kawat kantal mampu mengaliri arus hingga 9.3 A dan membutuhkan daya 1980 watt. Kenaikan suhu bisa lebih cepat dengan menggunakan dua kawat lilitan namun untuk menggunakan dua kawat pada penelitian ini dimmer yang dipakai tidak mampu bekerja maksimal dikarenakan daya maksimal yang mampu dikeluarkan oleh dimmer hanya 4000 watt. Untuk menggunakan dua kawat dibutuhkan arus sebesar 19.67 A atau sama dengan 4.327,4 watt. Pada percobaan awal menggunakan dua kawat, kawat tidak menyala dan mengeluarkan suara dengung. Pada percobaan ini waktu tempuh dari suhu ruangan hingga 400°C menghabiskan waktu selama 53 menit 52 detik namun untuk mencapai suhu 500°C dari 400°C diperlukan waktu selama 119 menit.

2) Pengujian Sistem dengan benda kecil (plat besi)

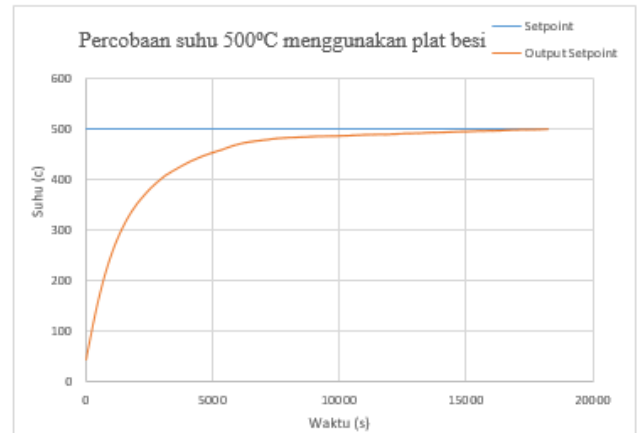
Pada pengujian kedua dilakukan untuk membandingkan waktu yang ditempuh oleh pemanas untuk mencapai setpoint pada 500oC sekaligus untuk membandingkan dan menganalisa bagaimana jika pemanas diberi isi benda kecil, bagaimana respon suhu terhadap waktu menuju setpoint. Pada percobaan ini penulis menggunakan plat besi sebagai objek benda kecil. Pada penelitian ini gain PID di set pada $K_p = 1.25$, $K_i = 0.67$, $K_d = 0.75$, dengan memberi gain parameter $K_p = 1.25$, kontrol pid memutar motor servo ke duty cycle nomor 10 pada dimmer, pada duty cycle nomor 10 dimmer merupakan arus dan tegangan maksimal pada dimmer yang mana memiliki arus sebesar 9.2 A dan tegangan 219.3 volt. Artinya pemanas menyala pada tertinggi (2.024 watt). Pada pengujian ini motor servo diatur melalui perintah dari arduino yang akan ditampilkan pada gambar dibawah ini.

```
#define BALANCE_PID_MIN 135 // Derajat Servo Ketika Dimmer Nol
#define BALANCE_PID_MAX 175 // Derajat Servo Ketika Dimmer Paling Tinggi
```

Gbr. 23 Sistem pengontrola suhu pada motor servo

Dari gbr. 23 masing-masing perintah memiliki fungsinya masing-masing, BALANCE_PID_MIN memiliki fungsi sebagai titik minimal dari berputarnya servo ketika system menyala, sementara BALANCE_PID_MAX memiliki fungsi sebagai titik maksimal dari berputarnya servo ketika system menyala, pada penelitian ini servo memiliki spesifikasi maksimal berputar hanya sampai 180°.

perbedaan sumbu putar minimum dan maximum akan mengakibatkan servo menjadi cepat panas dan mereset system otomatis, oleh sebab itu input minimum dan maksimum yang dimasukan tidak boleh memiliki perbedaan yang jauh. Dari pengujian ini diperoleh data yang ditunjukkan pada gambar grafik dibawah ini.

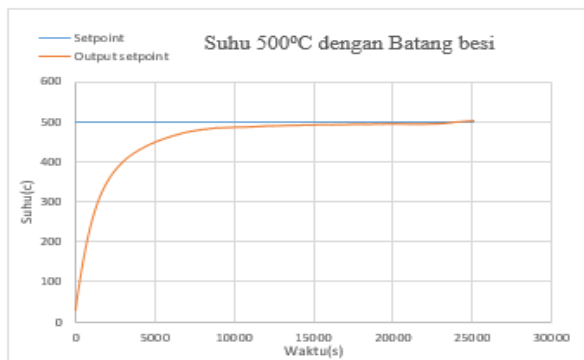


Gbr. 24 Percobaan Suhu 500°C menggunakan plat besi

Pada pengujian pertama yaitu pengujian furnace menggunakan benda kosong diketahui waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu 500°C dari suhu ruangan (28,5°C) menghabiskan waktu hingga 2 jam 52 menit (172 menit), sementara pada pengujian ini waktu yang ditempuh oleh suhu terhadap waktu menghabiskan waktu hingga 5 jam 4 menit (304 menit). Lama nya suhu yang ditempuh oleh furnace dikarenakan penyerapan energy panas ke dalam plat besi, namun ketika suhu sudah mencapai setpoint PID bekerja secara optimal dilihat dari gambar 4.14 suhu terlihat stabil selama 18 menit, error rate yang dihasilkan ketika penurunan suhu sebesar 0,1 % dan error rate yang dihasilkan ketika kenaikan suhu sebesar 0,2%. Sama seperti penelitian sebelumnya yaitu pengujian dengan benda kosong kelajuan suhu dari suhu ruang (28°C) hingga 400°C masih menghabiskan waktu 53 menit sedangkan waktu yang ditempuh dari 400°C menghabiskan waktu 236 menit.

3) Pengujian sistem dengan benda besar (batang besi)

Berbeda dengan pengujian sebelumnya yaitu pengujian dengan benda kecil, pengujian kali ini menggunakan benda besar. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui perbedaan laju suhu terhadap waktu yang telah dilakukan dengan benda kecil. Pada pengujian ini penulis melakukan tuning ulang parameter gain PID, tuning ulang ini dimaksudkan untuk mempercepat kelajuan suhu terhadap waktu dikarenakan pada pengujian dengan plat besi (benda kecil) waktu yang ditempuh oleh suhu terasa begitu lama. Kemudian didapatkan nilai yang sesuai yaitu; $K_p = 2.25$, $K_i = 0.77$, $K_d = 6.75$, dari tuning parameter yang baru didapatkan grafik sebagai berikut.

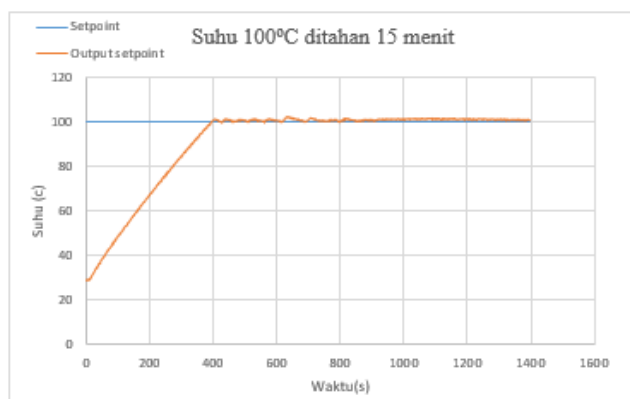


Gbr. 25 Percobaan suhu 500oC menggunakan batang besi

Dari tuning parameter yang baru, pada gambar grafik 4.16 waktu yang ditempuh tidak berbeda jauh dari sebelumnya, pada pengujian ini waktu yang ditempuh selama 6 jam 58 menit sedangkan waktu yang ditempuh dari suhu ruangan (31°C) menghabiskan waktu 50 menit lebih cepat 3 menit dari plat besi paada penelitian sebelumnya walaupun pada penelitian ini menggunakan objek besar sebagai objek penyerapan pada pengujian ini. hasil analisa pada penelitian ini PID telah bekerja secara maksimal yang mana perputaran duty cycle pada dimmer sudah full dinomor 10, dengan tegangan 219 volt dan arus 9,2 ampere, namun penyebab dari lamanya kenaikan suhu pada pengujian ini disebabkan oleh kurangnya daya yang dihasilkan oleh sistem. Perlu adanya penambahan kawat dan catu daya yang besar untuk menyuplai daya menjadi panas untuk furnace. Namun tingkat kestabilan dari penelitian ini terbilang cukup stabil error rate kenaikan suhu pada penelitian ini sebesar 0.2% dan error rate penurunan suhu sebesar 0.1 %. Kestabilan suhu pada pengujian ini ditahan selama 6 menit.

4) Pengujian Kestabilan sistem dengan suhu yang berbeda
Pada penelitian ini dilakukan uji kestabilan suhu dengan suhu yang berbeda, pengujian ini dimaksudkan untuk mengukur tingkat ke stabilan apabila sistem di set dengan nilai yang berbeda. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan temperature suhu 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C. Yang mana pada pengujian ini masing-masing suhu ditahan selama 15 menit pada setpoint yang ditentukan.

a) Pengujian kestabilan suhu pada setpoint 100°C
Pengujian pada setpoint ini bertujuan untuk melihat kestabilan dari sistem dan untuk mengetahui bagaimana kinerja pada sistem apabila setpoint di input dengan angka yang berbeda yakni 100°C. Berikut adalah data grafik dari pengujian suhu pada setpoint 100°C.



Gbr. 26 Percobaan kestabilan suhu pada setpoint 100°C

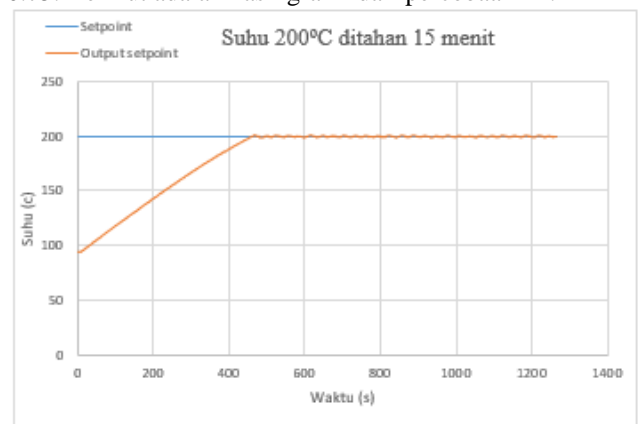
Pengujian ini berlangsung selama 23 menit, yang mana pada percobaan ini diketahui kinerja pemanas dari suhu ruangan (28,5°C) hingga setpoint 100°C membutuhkan waktu 7 menit. Pada percobaan ini pengujian kontrol dilakukan memberikan set point sebesar 100°C dan pemanas akan menyala hingga mencapai nilai setpoint yang kemudian akan menyalakan timer selama 15 menit. Hasil dari pengujian dari gambar 4.20 menunjukkan bawah sistem dapat mempertahankan ke stabilan suhu dengan error rate penurunan dan kenaikan suhu sebesar 0,5% dan 1,25%. Berikut adalah spesifikasi pada penelitian ini.

Tbl 9 Spesifikasi PID pada setpoint 100°C

No.	Spesifikasi	Hasil
1	Rise time	7 menit
2	Delay time	2 menit
3	Peak time	10 detik
4	Setling time	7 menit
5	Peak overshoot	0,2%
6	Error steady state	1,25 %

b) Pengujian kestabilan suhu pada setpoint 200°C

Pada pengujian ini suhu ditahan pada setpoint 200°C selama 15 menit, pengujian ini melanjutkan pengujian sebelumnya pada setpoint 100°C. Pengujian dimulai dari titik 93,75°C dengan gain PID, $K_p = 1.25$, $K_i = 0.67$, $K_d = 0.75$. Berikut adalah hasil grafik dari percobaan ini.



Gbr. 27 Percobaan suhu pada setpoint 200°C

Dari pengujian ini terlihat suhu sudah cukup stabil namun dari gambar grafik diatas terlihat kurang smooth, dari grafik diatas didapatkan nilai error rate penurunan suhu sebesar 1% dan error rate penurunan suhu sebesar 1.5%. Dari grafik diatas didapatkan spesifikasi PID sebagai berikut.

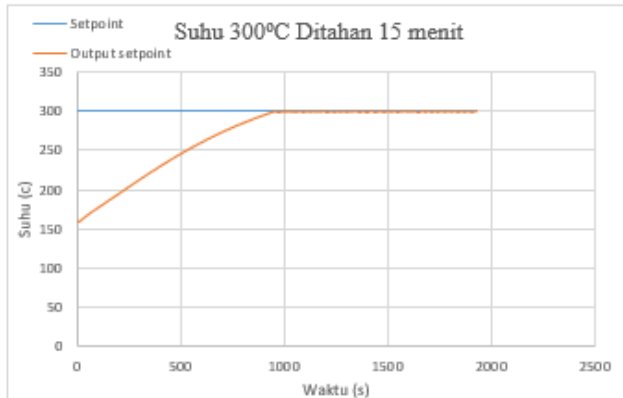
Tbl 10 Spesifikasi PID pada setpoint 200°C

No.	Spesifikasi	Hasil
1	Rise time	8 menit 51 detik
2	Delay time	4 menit 40 detik
3	Peak time	9 menit
4	Setling time	9 menit 30 detik
5	Peak overshoot	0,75 %

6 Error steady state 1,5 %

c) Pengujian kestabilan suhu pada setpoint 300°C

Pada pengujian ini dilakukan uji kestabilan suhu pada setpoint 300°C, pengujian ini bertujuan untuk menguji kestabilan sistem apabila input setpoint dimasukan nilai 300°C. Dari pengujian ini didapatkan grafik sebagai berikut.



Gbr. 28 Grafik pengujian suhu pada setpoint 300°C

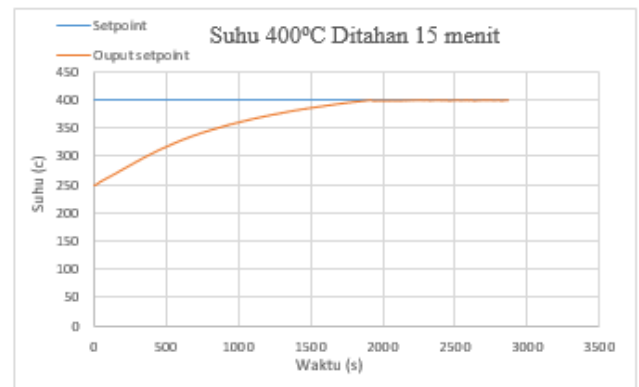
Dari data grafik diatas terlihat cukup stabil dengan nilai eror penurunan suhu sebesar 0,5% dan kenaikan suhunya sebesar 0,25%, meskipun terlihat kurang smooth pada grafik diatas namun nilai eror yang didapatkan pada keseluruhan sistem ketika setpoint dimasukan 300°C terlihat cukup stabil. Pengujian penahanan suhu ini dilakukan selama 15 menit yang mana. Waktu yang ditempuh dari sistem hingga ke titik setpoint ditempuh dalam waktu 32 menit 18 detik. Dari grafik diatas kemudian didapatkan.

Tbl 11 Spesifikasi PID pada setpoint 300°C

No.	Spesifikasi	Hasil
1	Rise time	15 menit 52 detik
2	Delay time	6 menit 37 detik
3	Peak time	15 menit 56 detik
4	Setling time	16 menit 30 detik
5	Peak overshoot	0,167 %
6	Error steady state	0,5 %

d) Pengujian kestabilan suhu pada setpoint 400°C

Pengujian ini dilakukan pada setpoint 400°C yang bertujuan untuk menguji kestabilan suhu pada setpoint 400°C. Berikut adalah grafik hasil pengujian setpoint 400°C.



Gbr. 29 Grafik Pengujian suhu pada setpoint 400°C

dari data grafik diatas terlihat lebih smooth dari percobaan setpoint 200°C dan 300°C dengan nilai eror rate penurunan suhu sebesar 0,5% dan nilai kenaikan suhu sebesar 0,0625 %. Dari pengujian ini terlihat suhu bisa ditahan dengan stabil. Dari pengujian ini didapatkan nilai spesifikasi PID sebagai berikut.

Tbl 12 Spesifikasi PID pada setpoint 400°C

No.	Spesifikasi	Hasil
1	Rise time	31 menit 44 detik
2	Delay time	9 menit 26 detik
3	Peak time	31 menit 56 detik
4	Setling time	37 menit 16 detik
5	Peak overshoot	0,0625 %
6	Error steady state	0,5 %

Dari data diatas diketahui nilai rise time, delay time, peak time, settling time, peak overshoot, dan eror steady state, yang mana masing-masing data memiliki artinya masing-masing. Rise time adalah merupakan nilai dari titik awal hingga titik setpoint pertama sebelum terjadi peak time atau bisa diartikan sebagai nilai $t=0$ sampai dengan setpoint, $t=10\%$ hingga 90% dan $t=15\%$ hingga 95% dari data diatas didapatkan nilai rise time adalah 31 menit 44 detik. Kemudian delay time, delay time adalah nilai dari titik awal grafik hingga titik 50% pada grafik, dari data diatas didapatkan nilai delay time 9 menit 26 detik. Selanjutnya peak time, peak time adalah nilai awal kenaikan suhu berlebih dari setpoint yang ditentukan, dari data diatas diketahui nilai peak time yang didapatkan adalah 31 menit 16 detik. Kemudian peak overshoot, peak overshoot adalah presentase eror yang hanya terjadi pada peak time saja didapatkan dari data diatas peak overshoot sebesar 0.0625%. Kemudian eror steady state, eror steady state merupakan nilai eror terbesar dari keseluruhan sistem didapatkan nilai eror steady state sebesar 0.5% eror rate yang terbilang kecil inilah yang membuat grafik percobaan terlihat lebih lembut ketimbang percobaan pada suhu 200°C dan 300°C. Pada penelitian ini kenaikan suhu berlebih hanya berada di angka 0.25 dari setpoint dan penurunan suhu berlebihnya hanya berada di angka 2 dari nilai setpoint yang ditentukan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan kontrol sistem kendali suhu electric muffle furnace menggunakan sensor thermokopel thype-k

berbasis mikrokontroler arduino uno, dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Menganalisa proses pengeringan baterai dengan perangkat yang murah dimulai dengan studi literatur, studi literatur dilakukan untuk mencari referensi mengenai prinsip kerja pengeringan baterai dan komponen yang akan digunakan. Setelah studi literatur, lalu dilakukan proses merancang sistem yang dimulai dengan desain sistem, blok diagram sistem dan komponen-komponen yang digunakan pada rancang bangun sistem ini terdiri 1 kawat kantal, 1 buah thermometer tipe-K, Dimmer SCR 220 V 4000 W, 4 buah push button, 1 buah Motor servo, 1 buah Modul RTC, 1 buah LCD 16x02 dan Arduino UNO
- 2) Menganalisa cara membuat suhu pada furnace agar suhu yang dicapai stabil dimulai dengan studi literatur, studi literatur dilakukan dengan mencari beberapa referensi mengenai kestabilan suhu pada pemanas. Didapatkan 3 jenis kontrol suhu yakni PID, Fuzzy, dan sistem kontrol On/Off. Setelah melakukan studi literatur, penulis memilih PID sebagai sistem kontrol pemanas pada penelitian ini, lalu dilakukan proses perancangan sistem dengan menggunakan PID. PID berfungsi sebagai pengendali suhu furnace untuk mengatur besarnya arus dan tegangan yang kemudian diubah menjadi panas oleh pemanas. PID bekerja dengan operasi perhitungan model konstanta PID, maka menghasilkan nilai proses yang dibandingkan dengan nilai error dari feedback terhadap nilai referensi yang diinginkan. Dari ke-3 pengujian yaitu pengujian dengan benda kosong, benda kecil dan benda besar memiliki range waktu kenaikan suhu yang berbeda namun dari ketiganya dapat dianalisa bahwa Kenaikan kelajuan suhu dari suhu ruang hingga 400°C memiliki kesamaan yakni selama ± 1 jam. Lamanya waktu kenaikan suhu dari 400°C hingga 500°C. Pada pengujian ini nilai PID $K_p = 1.25$, $K_d = 0.67$ dan $K_i = 0.75$ dibandingkan dengan $K_p = 2.25$, $K_i = 0.77$ dan $K_d = 6.75$ terlihat lebih lama kenaikan respon pada suhu, namun keduanya terlihat stabil. Pada $k_p = 2.25$, $K_i = 0.77$ dan $K_d = 6.75$ memiliki kelemahannya tersendiri yaitu servo lebih cepat panas karna pergerakannya terlihat lebih cepat dibanding $K_p = 1.25$, $K_d = 0.67$ dan $K_d = 0.75$ yang mana jika penengujian dilakukan secara berlebihan akan membuat sistem ter-reset secara otomatis.
- 3) Hasil analisa dari cara menstabilkan suhu, dimulai dengan mencari literatur pendukung sebagai referensi kestabilan suhu setelah dilakukan studi literatur, kemudian dilakukan pengujian dengan setpoint yang diinginkan dan dengan range waktu yang diinginkan dilakukan dengan setpoint yang berbeda-beda dan ditahan selama 15 menit pengujian. Pengujian dilakukan dengan nilai setpoint 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C kemudian ditahan selama 15 menit. Dari pengujian ini didapatkan beberapa grafik dari masing-masing suhu. Ke-empatnya terlihat stabil dengan ditunjukannya grafik pengujian PID yang mana eror steady state dari masing-masing pengujian tidak lebih dari 5%. Dari ke-empat pengujian yang dilakukan didapatkan percobaan pada nilai 400°C lebih smooth dari pada percobaan setpoint 100°C, 200°C dan 300°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini melibatkan banyak pihak dalam pengambilan data, pengolahan data dan penyusunan laporan, sehingga penulis menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu. Penulis juga berterimakasih kepada Dosen Pembimbing karena telah membantu penulis dalam penulisan bahkan pematangan konsep Tugas Akhir

REFERENSI

- [1] Adityo Pranowo, W. H. (2015). "Perancangan Sistem Kontrol Unit Water Chiller laboratorium teknik kondisi lingkungan. 7(Oto.Ktrl.Inst).
- [2] aji, A. p. (2018). *PERANCANGAN SISTEM KENDALI SUHU PADA OVEN LISTRIK HEMAT ENERGI DENGAN METODE KONTROL ON OFF*. SEMARANG: UNIVERSITAS DIPONEGORO.
- [3] Asayuti, M. I. (2020). *Rancang bangun dan unjuk kerja baterai aluminium udara dengan menggunakan media transpotasi zeolit alam pada katoda udara sebagai sumber energi elektrokimia terbarukan*. Tasikmalaya: Universitas Siliwangi.
- [4] azizah, i. n. (2019). *Skala pada temometer*. Dipetik September 15, 2021, dari <https://helloimiga.wordpress.com/materi/semeser-ii/suhu-dan-perubahan/skala-pada-termometer/>
- [5] Eka Maulana, S. M. (2014). *TEORI DASAR MOSFET*. Dipetik september 19, 2021, dari https://www.researchgate.net/publication/338543422_TEORI_DASAR_MOSFET_SERTA_PENDALAMANNYA
- [6] Eko Kustiawan S.T, M. (2018). MENINGKATKAN EFISIENSI PERALATAN DENGAN MENGGUNAKAN SOLID STATE RELAY (SSR) DALAM PENGATURAN SUHU PACK PRE-HEATING OVEN (PHO). *Jurnal STT Yuppentek*, 9(STT Yuppentek), 1-6.
- [7] El zaky Rizki hakim, H. H. (2017). Perancangan mesin pengering Hasil pertanian Secara Konveksi dengan Elemen pemanas Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno dengan Sensor DS18B20. *Jurnal Online Teknik Elektro*, ii(3), 16-20.
- [8] Huda, S. N. (2011). *RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI TEMPERATURE FURNACE DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR TERMOKOPEL TIPE-K BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO ATMEGA 16*. DEPOK: UNIVERSITAS INDONESIA.
- [9] I ketut sukarasa, S. M. (2016). *Pengaruh kontrol PID pada motor DC dengan program simulink*. bali: Universitas udayana.
- [10] Imam, M. (1995). *Pengantar Sistem Kendali Otomatis*. jakarta: Depdikbud.
- [11] indra permadi, S. S. (t.thn.). *PENGENDALIAN TEMPERATURE PADA PLANT ELECTRIC FURNACE MENGGUNAKAN SENSOR THERMOKOPEL DENGAN METODE FUZZY*. semarang: universitas diponegoro.
- [12] Kusumo, S. (2018). *DocPlayer*. Dipetik october 21, 2021, dari <https://docplayer.info/71686228-Bab-i-pendahuluan-1-1-latar-belakang-1-2-tujuan-1-3-rumusan-masalah.html> petik oktober 6, 2021, dari

<https://www.omega.com/en-us/resources/thermocouple-hub>

BIOGRAFI PENULIS



Farhan Arista Fhadillah, lahir di Bekasi, 24 oktober 1999. Penulis sedang menyelesaikan masa studi di jurusan Teknik elektro Fakultas teknik Universitas siliwangi, Tasikmalaya, Indonesia dengan konsentrasi material elektrik.