

Pengaturan suhu dengan menggunakan kontrol PID

Johanes Adi Prihantono

Prodi Listrik Pesawat

Fakultas Teknik Universitas Nurtanio Bandung

email: prihantono.adi@gmail.com

ABSTRAK

Banyak sekali penerapan control PID di dunia industri khususnya pada bagian proses. Berdasarkan survey, 97 persen industri yang bergerak dalam bidang proses (seperti industri kimia, pulp, makanan, minyak dan gas) menggunakan PID sebagai komponen utama dalam pengontrolannya (sumber: Honeywell, 2000). Salah satu penerapan aplikasi kontrol PID yaitu pada pengendalian suhu agar diperoleh panas sesuai dengan yang diinginkan serta dapat dipertahankan kestabilannya walaupun dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya.

Pada prototipe oven yang dirancang untuk keperluan pemanasan material rivet dan digunakan dalam perawatan pesawat. Proses pemanasan ini dilakukan pada batasan suhu tertentu dan dalam waktu yang telah ditentukan. Sistem pengendalian ini menggunakan board Arduino sebagai perangkat keras, LabView sebagai perangkat lunak, serta sebuah sensor Thermocouple. Sebagai pemanas digunakan material yang terbuat dari kawat nikelin yang diatur melalui output Arduino.

Perhitungan parameter PID pada pembuatan prototipe oven ini menggunakan pendekatan metodeCohen. Dapat dilakukan tuning secara manual mendekati nilai hasil perhitungan, untuk mendapatkan pengendalian suhu yang diinginkan.

Keyword : kontrol PID, suhu, Arduino, LabView, Metode Cohen-Coon

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi baik hardware maupun software yang semakin maju seiring dengan perkembangan teknologi elektronika dewasa ini, demikian pula sistem kontrol yang mengalami banyak kemajuan dari kontrol konvensional ke kontrol otomatis. Teknik kontrol otomatis sangat diperlukan dalam membantu pekerjaan manusia, selain dapat mempercepat waktu kerja juga dapat meningkatkan efektifitas kerja. Demikian pula dengan pengendalian suhu dengan menggunakan kontrol PID, yang mempunyai tujuan memperoleh suhu yang diharapkan dengan waktu yang relatif singkat serta menjaga kondisi stabilnya. Seiring dengan perkembangan teknologi digital, produk PID komersil muncul di pasaran dalam beragam

model dan bentuk, yaitu mulai dari modul jenis special purpose process controller (seperti Temperature Controller, Pressure Controller, dan sebagainya) sampai modul kontrol jenis general purpose process controller atau yang lebih dikenal dengan nama DCS (Distributed Control System). Labview merupakan sebuah perangkat lunak yang dibuat oleh sebuah perusahaan bernama National Instrument. Dengan membuat prototipe oven ini akan memudahkan kita dalam mempelajari sistem kendali PID, khususnya dalam mencari nilai-nilai gain parameter melalui beberapa metode pendekatan yang ada, maupun dengan cara manual. Cara manual dengan tuning gain parameter untuk mendapatkan seting pengaturan yang terbaik. Karena suhu

lingkungan disekitar sistem akan berpengaruh terhadap kinerjanya

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. DASAR TEORI

Kontrol PID banyak digunakan pada industri, hal ini disebabkan karena sistem ini merupakan sistem kendali loop tertutup yang cukup sederhana dan dapat dikombinasikan dengan sistem kontrol lain seperti Fuzzy control, Adaptif control dan Robust control. Algoritma PID banyak digunakan karena dalam penerapannya algoritma ini memberikan peluang pada bagi desainer untuk mengubah performansi sistem sesuai dengan yang di inginkan (Dilsan Engin et all, 2013). Pengendali PID adalah sistem pengendali gabungan antara pengendali proporsional, integral, dan turunan (derivative). Performansi sistem pengendali PID ditentukan oleh parameterparameter kendali yang didapat dari perhitungan maupun eksperimen. Parameter PID optimal pada dasarnya dapat dicari secara lebih pasti (tanpa coba-coba) berdasarkan model dan nilai parameter proses yang diketahui.

2.2. TEORI UMUM TRANSFORMASI LAPLACE

Laplace Untuk mempelajari metode pengendali PID diperlukan pemahaman fungsi alih yaitu transformasi Laplace. Transformasi Laplace adalah sebuah metode operasional yang sering digunakan untuk menggambarkan hubungan inputoutput sistem-sistem dinamis. Dengan menggunakan metode transformasi Laplace, pemecahan persoalan-persoalan dinamika sistem dapat dilakukan relative lebih mudah. Dalam teori kontrol konvensional, Transformasi laplace ini memegang peranan

penting selain sebagai sebagai tool untuk analisis sistem-sistem dinamis (misal untuk menentukan kestabilan sistem atau plant), juga secara praktis dapat digunakan sebagai tool dalam perancangan sistem kontrol umpan balik. Persamaan dibawah ini memperlihatkan definisi umum Transformasi Laplace untuk sebuah fungsi dalam kawasan waktu nyata : $f(t), t \geq 0$

$$\mathcal{L}[F(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt \dots\dots\dots(1)$$

Relasi diatas pada dasarnya memetakan fungsi kawasan waktu kedalam bentuk fungsi kawasan s (variabel laplace). Dalam hal ini F(s) adalah transformasi Laplace dari f(t), dan sebaliknya f(t) adalah transformasi laplace balik (invers) dari F(s) atau dapat ditulis:

$$f(t) = \mathcal{L}^{-1}[F(s)] \dots\dots\dots(2)$$

Tabel dibawah berturut-turut memperlihatkan transformasi laplace untuk beberapa fungsi kawasan waktu yang sering dijumpai pada kasus nyata.

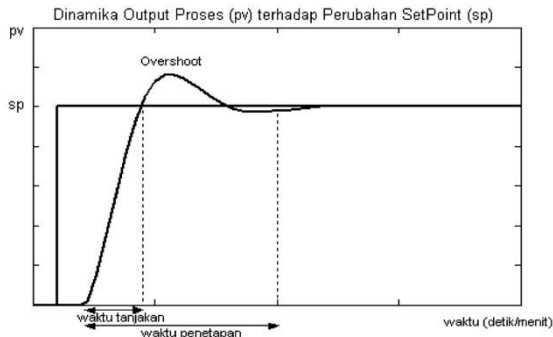
Tabel 1.0. Transformasi Laplace

NO	f(t)	F(s)	Keterangan
1	$\delta(t)$	1	Fungsi Impulsa
2	1(t)	$\frac{1}{s}$	Fungsi Step (Fungsi tangga)
3	t	$\frac{1}{s^2}$	Fungsi Ramp
4	e^{-at}	$\frac{1}{(s+a)}$	Fungsi Ekspensial
5	$Sin(\omega t)$	$\frac{\omega}{(s^2 + \omega^2)}$	Fungsi Sinusoidal
6	$cos(\omega t)$	$\frac{s}{(s^2 + \omega^2)}$	Fungsi Cosinus

(Sumber: Kontrol PID untuk Proses Industri, Iwan Setiawan)

pengaturan atau tuning yang dilakukan terhadap salah satu parameter kontrol,

umumnya memerlukan pengaturan ulang pada parameter yang lain. Pengaturan atau tuning yang dilakukan terhadap salah satu parameter kontrol, umumnya memerlukan pengaturan ulang pada parameter yang lain.



Gambar 1.0. Respon proses sebagai akibat perubahan SetPoint

(Sumber: Kontrol PID untuk Proses Industri, Iwan Setiawan)

Waktu tahanan : Waktu yang diperlukan respon (deviasi output variable proses) untuk naik dari 0 sampai 100 % harga akhirnya.

Overshoot : Lonjakan maksimum yang dialami oleh respon proses.

Waktu penetapan : Waktu yang diperlukan respon untuk mencapai dan menetap disekitar 95%-98% dari harga akhirnya.

2.3. BERBAGAI STRUKTUR KONTROL

PID (Dasar) dan Metode Tuningnya Dengan mengetahui struktur PID pada modul dan bersama-sama pengetahuan model proses yang dikontrol, nilai parameter PID yang optimal pada dasarnya dapat dicari secara mudah berdasarkan metode-metode tuning yang telah dikembangkan sebelumnya oleh sejumlah peneliti dan praktisi bidang kontrol proses, baik secara empiris maupun berdasarkan metode-metode optimasi tertentu. Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PID ideal dirumuskan sebagai berikut:

$$CO = K_p[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt}] \dots (3)$$

$$CO(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt} \dots (4)$$

Dimana :

CO(t) : output kontroler

e(t) : selisih antara SetPoint dengan nilai output proses (dengan menganggap proses yang dikontrol bersifat direct maka e= SP-PV)

KP : gain proporsional

TI : time integral

TD : time derivative

KI : gain integral (KP/TI)

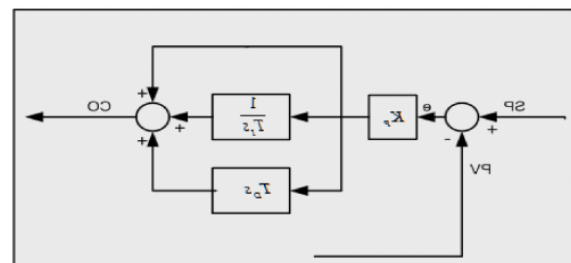
KD : gain derivative (KPTD)

2.4. Mode Kontrol Proporsional

Integral Derivative (PID) Aksi kontrol PID pada dasarnya bertujuan untuk menggabungkan kelebihan komponen-komponen dasar kontrol PID:

- Kontrol Proporsional : berfungsi untuk mempercepat respon
- Kontrol Integral : berfungsi untuk menghilangkan error steady
- Kontrol Derivative : berfungsi untuk memperbaiki sekaligus mempercepat respon transien.

Gambar di bawah ini blok diagram kontrol PID ideal bentuk dependent dan bentuk independent.



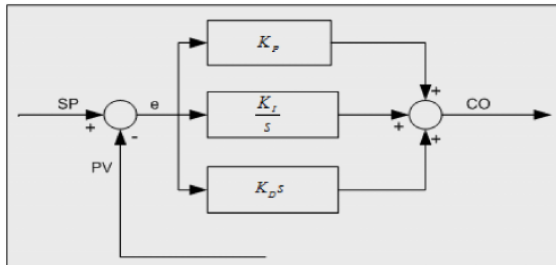
Gambar 1.1. Diagram blok kontrol PID ideal bentuk dependent

(Sumber: Kontrol PID untuk Proses Industri, Iwan Setiawan)

Persamaan fungsi Laplace dari gambar kontrol

PID ideal bentuk dependent diatas:

$$CO(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right] e(s) \dots \dots \dots (5)$$



Gambar 1.2. Diagram blok kontrol PID ideal bentuk independent
(Sumber: Kontrol PID untuk Proses Industri, Iwan Setiawan)

Persamaan fungsi Laplace dari gambar kontrol PID ideal bentuk independent diatas:

$$CO(s) = \left[K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \right] e(s) \dots \dots \dots (6)$$

2.5. TUNING PARAMETER PID METODA COHEN-COEN

Persamaan tuning parameter kontrol PID dengan metode Cohen-Coon adalah sebagai berikut:

1. *Proportional Gain:*

$$K_c = \frac{1}{K_p} \frac{\tau_p}{t_d} \left(\frac{4}{3} + \frac{t_d}{4\tau_p} \right) \dots \dots \dots (7)$$

2. *Integral Time:*

$$\tau_I = \tau_d \frac{32+6(t_d/\tau_p)}{13+8(t_d/\tau_p)} \dots \dots \dots (8)$$

3. *Derivative Time:*

$$\tau_d = t_d \frac{4}{11+2(t_d/\tau_p)} \dots \dots \dots (9)$$

2.6. BOARD ARDUINO

Dalam buku “Getting Started with Arduino”, arduino merupakan sebuah platform komputasi fisik (physical computing) yang bersifat open source, pada board input output sederhana. Sedangkan menurut situs resminya arduino adalah sebuah platform elektronik yang open source, berbasis pada software dan hardware yang fleksibel dan mudah digunakan yang ditujukan bagi para hobbies dan setiap orang yang tertarik dalam membuat objek atau lingkungan yang interaktif (Dian Artanto, Interaksi Arduino dan LabView).



Gambar 1.3. Board Arduino Uno

Arduino sangat fleksibel untuk bisa membuat berbagai project, dimana software Arduino adalah gratis, dan hardware board juga dengan harga yang sangat terjangkau, keduanya baik hardware dan software mudah untuk dipelajari karena sudah terdapat komunitas besar dari pengguna-pengguna Arduino yang sudah berkontribusi contoh program dan instruksi-intruksi untuk membuat berbagai project elektronika yang dibuat menggunakan board Arduino.

Fungsi pin-pin pada arduino uno :

- Pin (5V, 3.3V, GND, Analog, Digital, PWM, AREF) Pin pada Arduino adalah

tempat dimana untuk menyambungkan kabel antara pin Arduino dengan perangkat-perangkat input/output (biasanya menghubungkan dengan rangkaian project pada breadboard). Pin/kaki Arduino biasanya berupa female header sehingga untuk mendapatkan koneksi cukup menancapkan kabel ke dalam lubang pin header tersebut. Kaki-kaki pada Arduino mempunyai fungsi yang berbeda-beda, masing-masing diberi label sesuai nama dan fungsinya pada PCB.

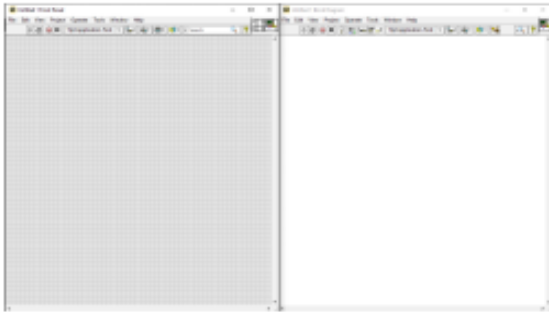
- GND (3): Kependekan dari 'Ground'. Terdapat beberapa pin ground dan semuanya dapat digunakan.
- 5V (4) dan 3.3V (5): 5V pin memberikan suplai tegangan 5 volt, dan 3.3V pin memberikan suplai tegangan 3.3 volt. Kebanyakan yang digunakan dengan Arduino bekerja pada tegangan 5 atau 3.3 volt.
- Analog (6): Pin yang berada di bawah tulisan 'Analog In' (A0 sampai A5 pada Arduino UNO) adalah pin Analog Input. Pin ini dapat membaca sinyal dari sensor analog (seperti sensor suhu) dan mengkonversinya kedalam nilai digital yang dapat kita baca.
- Digital (7): Terletak disisi lain dari analog pin terdapat pin digital (0 sampai 13 pada board uno). Pin ini dapat difungsikan sebagai digital input (seperti memberitahukan apabila button dipencet) dan digital output (seperti menyalakan sebuah LED).
- PWM (8): Tertulis simbol (~) pada beberapa pin digital (3, 5, 6, 7, 9, 10, dan 11 pada board uno). Pin ini tidak

hanya berfungsi sebagai pin digital biasa, tapi bisa digunakan untuk Pulse-Width Modulation (PWM).

- AREF (9): Singkatan dari Analog Reference. Pin ini digunakan untuk mengatur tegangan referensi eksternal (antara 0 dan 5 volt) sebagai batas untuk pin analog input.

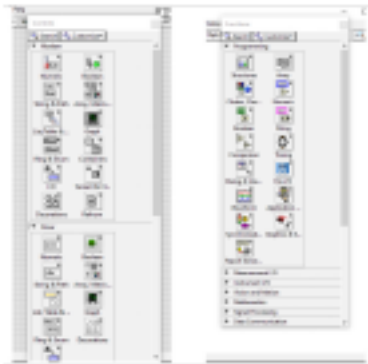
2.7. Perangkat Lunak LabVIEW

LabVIEW singkatan dari Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench merupakan software yang dikembangkan oleh National Instrument, untuk membuat aplikasi yang berbasis pada pemrograman secara grafis (graphical programming). Berbeda dengan bahasa pemrograman lainnya yang biasanya menggunakan structured text language (Bahasa pemrograman berbasis text) LabVIEW hadir dengan bahasa pemrograman berbasis Block Diagram. Begitu banyak engineer dan scientist yang menggunakan software ini untuk membuat maupun mengembangkan aplikasi pengukuran, akuisisi data (data acquisition) dan aplikasi lainnya, hal ini karena platform yang dapat diintegrasikan dengan beragam target device, PLC, mikrokontroler, Remote Terminal Unit, remote aplikasi via mobile, dan device lainnya. Kelebihan lainnya banyak dibekali dengan berbagai libraries, untuk mempermudah penggunaannya membuat program sesuai yang diinginkan. Tampilan pemrograman labview ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 1.4. Tampilan LabView

Tampilan labview pada gambar 2.4 terbagi menjadi 2 area. Area pertama (sebelah kiri) merupakan tempat programmer mendesain tampilan antar muka (interface) berbasis GUI. Area kedua (sebelah kanan) merupakan tempat programmer mendesain programnya.

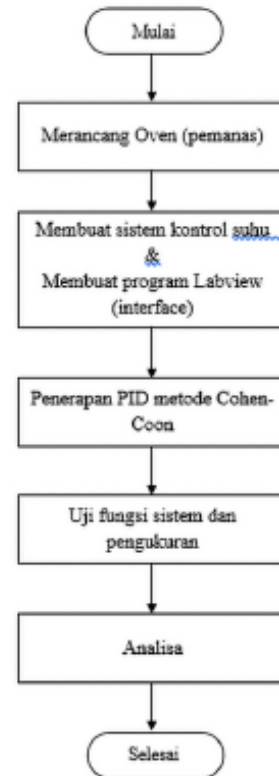


Gambar 1.5. Tampilan Control pallet dan Function pallet

Control pallet merupakan tampilan fitur itemitem yang digunakan untuk mendesain tampilan interface, yang akan menampilkan data-data yang diterima. Misalkan besaran suhu, kecepatan putaran motor DC atau AC, dan lain-lain. Function pallet merupakan fitur yang didalamnya terdapat item-item blok pemrograman yang disajikan secara grafis. Misalkan operasi matematika, struktur program (while loop, case of) dan lain-lain.

3. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah metode penelitian beserta uraian penjelasannya adalah sebagai berikut:



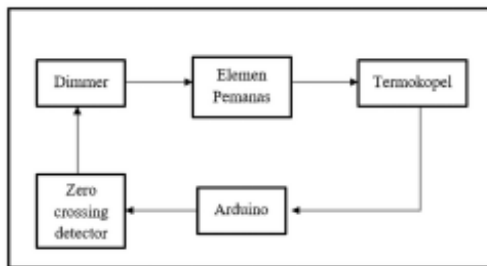
Gambar 1.6. Flowchart metode penelitian

1. Studi Literatur: Memahami teori-teori sistem kendali khususnya kontrol PID.
2. Pembuatan oven: Oven dibuat dari bata tungku dengan ukuran panjang = 20 cm, lebar 30 cm dan tinggi 20 cm.
3. Perakitan sistem kontrol : Merakit board arduino dengan modul zero crossing detector dan modul dimmer serta sensor thermocouple sebagai pendeteksi suhu
4. Perancangan sistem akuisisi data: Merancang komunikasi antara sistem kontrol yang terdiri dari board arduino,

modul zero crossing detector, dimmer dan sensor thermocouple dengan perangkat lunak LabView.

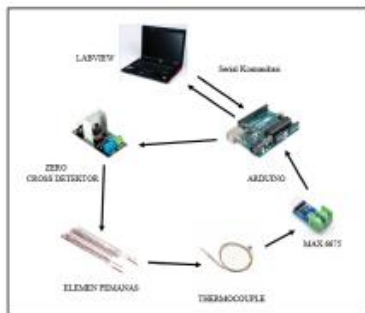
5. Penerapan PID metode Cohen-Coon: Membuat perhitungan untuk mendapatkan nilai parameter-parameter gain PID menurut metode Coheen-Coon.
6. Pengujian sistem dan analisisnya: Melakukan pengamatan terhadap respon tanggapan dari sistem kendali PID dengan adanya perubahan suhu dan menganalisa hasil dari pengamatan.

Berikut dibawah ini merupakan blok diagram dari prototipe oven dan kendali PID:



Gambar 1.7. Blok diagram sistem PID

Dan berikut gambar di bawah ini merupakan komponen-komponen penunjang dalam pembuatan kendali PID.



Gambar 1.8. Komponen penunjang kontrol PID

Prinsip kerja rangkaian sistem kendali PID:

- Thermocouple mendeteksi suhu ruang oven pemanas, kemudian mengirimkan sinyal digital yang telah dikonversi dari analog menjadi digital melalui komponen max 6675 ke arduino.
- Arduino mengirimkan data suhu terbaca ke komputer (program labview) dan ditampilkan di layar komputer.
- Program Labview yang menjalankan algoritma PID akan memberikan perintah kepada arduino untuk mengatur besaran panas yang dihasilkan dari elemen pemanas.
- Elemen pemanas akan memberikan besaran panas sesuai dengan perintah arduino melalui komponen dimmer zero cross detector.
- Proses ini akan berlangsung terus menerus. sampai program labview dimatikan.

3.1. PEMROGRAMAN ARDUINO DAN LABVIEW

Sistem kendali PID yang terdiri dari komponen arduino diberikan instruksi-instruksi program yang download menggunakan aplikasi arduino uno sketch. Berikut instruksi-instruksi program pada Arduino :

```

#include <RBDdimmer.h>
#include "max6675.h"
#define USE_SERIAL Serial
#define outputPin 11
#define zerocross 2
int thermoDO = 4;
int thermoCS = 5;
int thermoCLK = 6;

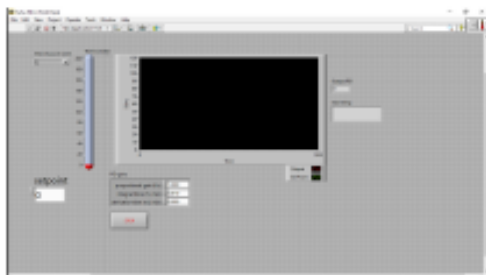
dimmerLamp dimmer(outputPin, zerocross);
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
dimmerLamp dimmer(outputPin);
int outVal = 0;

void setup() {
  USE_SERIAL.begin(9600);
  dimmer.begin(NORMAL_MODE, ON);
  USE_SERIAL.println("Dimmer Program is starting...");
  USE_SERIAL.println("Set value");
}

void loop()
{
  float temp = (thermocouple.readCelsius());
  USE_SERIAL.println(temp);
  delay(75);
  int preVal = outVal;
  if(USE_SERIAL.available())
  {
    int buf = USE_SERIAL.read();
    if (buf != 0) outVal = buf;
    delay(500);
  }
  dimmer.setPower(outVal);
  delay(500);
}

```

Selain memprogram arduino sebagai penerima data nilai suhu dari thermocouple, dan supaya dapat berkomunikasi dengan LabView selanjutnya dibuat tampilan user interface serta program kendali PID. Tampilan interface dan program kendali PID seperti pada gambar 1.9 dan gambar 2.0.



Gambar 1.9. Tampilan window LabView

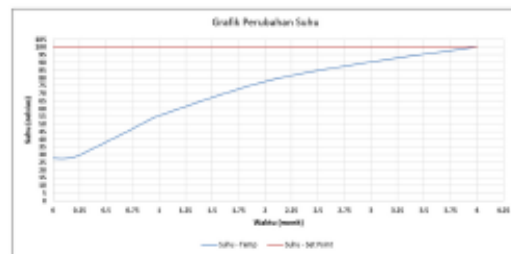


Gambar 2.0. Program kontrol PID LabView

4. IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL PID

4.1. PENGUJIAN HARI PERTAMA

Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui lama waktu mencapai suhu setpoint. Suhu setpoint di set pada 100 .celcius sedangkan untuk gain PID di set pada $K_c = 1$, $T_i = 0$, $T_d = 0$. Dengan memberi gain parameter $K_c = 1$, kontrol PID membuka penuh 100 persen. Artinya pemanas menyala pada daya tertinggi (700 watt). Dari pengujian ini diperoleh data yang ditunjukkan pada gambar grafik dibawah ini:



Gambar 2.1. Grafik perubahan suhu pengujian 1

Pada pengujian pertama diketahui waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu setpoint (100° celcius) dari suhu awal ($27,5^{\circ}$ celcius) yaitu 4 menit. Kemudian dilakukan pengujian lagi dengan setpoint 150° celcius, dan diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada grafik dibawah ini.



Gambar 2.2. Grafik perubahan suhu pengujian 2

Dari data grafik perubahan suhu diatas, dan dengan menggunakan persamaan, 7, 8 dan 9, maka diperoleh nilai:

- $Kc = 10,138$
- $Ki = Kc/ti = 0,479$
- $Kd = Kc*td = 28,074$

Dimana suhu awal = $27,5^{\circ}C$.

Dari perhitungan diatas dilakukan pengujian ke tiga dengan memasukkan nilai Kc , Ki dan Kd . Dan diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada grafik dibawah ini.



Gambar 2.3. Grafik perubahan suhu pengujian 3

Dari data yang diperoleh pada grafik 2.3 terjadi penurunan suhu lebih dari 5 C. yaitu terjadi pada menit ke 24, 27, 30 dan 35.

4.2. PENGUJIAN HARI KEDUA

Pengujian hari kedua dilakukan dengan kondisi suhu lebih rendah yaitu $25,7^{\circ}C$ dan suhu setpoint di set pada $150^{\circ}C$. Pada pengujian

keempat ini parameter gain yang digunakan sama seperti parameter pada pengujian ketiga. diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:



Gambar 2.4. Grafik perubahan suhu pengujian 4

Dari data grafik pengujian kedua diperoleh data kenaikan suhu pada menit ke 45 sampai menit 55. Kemudian dilakukan tuning ulang parameter gain PID secara manual, sampai didapatkan nilai yang sesuai yaitu:

- $Kc = 2,500$
- $ti = 3,050$
- $td = 0,095$

Dari tuning parameter yang baru, pada gambar grafik 2.4 di menit 57 mengalami kestabilan sampai menit ke 93. Dari hasil pengujian hari pertama pertama dan kedua, apabila dibandingkan ada perbedaan waktu yang cukup besar. Waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu $100^{\circ}C$ mempunyai perbedaan yang besar, dimana pada pengujian pertama diperlukan waktu 4 menit. Sedangkan pada pengujian kedua diperlukan waktu 10 menit. Pada pengujian keempat terjadi kenaikan suhu diatas setpoint yang telah ditentukan, dimana pada menit 37 sampai dengan 45 suhu masih stabil. Saat menit ke 48 terjadi kenaikan hingga mencapai suhu $162^{\circ}C$ pada menit 55.

5. ANALISA

1. Perbedaan waktu yang cukup besar yang terjadi pada pengujian hari pertama dengan hari kedua dikarenakan elemen pemanas yang hanya mempunyai daya maksimum sebesar 700 watt.
2. Material yang digunakan untuk membuat oven yaitu batu bata pembuat tungku, sehingga pada saat suhu lingkungan rendah penyerapan panas dari batu bata cukup besar. Menyebabkan waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu 100° C menjadi lama pada pengujian hari kedua.
3. Terjadinya kenaikan suhu pada pengujian keempat belum diketahui penyebabnya, dan dapat disesuaikan lagi dengan seting parameter gain secara manual.

6. KESIMPULAN

1. Dengan mengintegrasikan antara board arduino dan LabView dapat dihasilkan prototipe sistem kendali suhu PID. Dengan harapan dapat digunakan oleh siapapun khususnya mahasiswa Universitas Nurtanio Bandung dalam mempelajari sistem kendali PID.
2. Simulasi pengatur suhu pada oven (trainer heater treatment) dengan metode PID dan materi pembelajarannya bisa menjadi bekal bagi mahasiswa Universitas Nurtanio Bandung, karena sistem kendali dengan metode PID banyak diterapkan didunia industri manufaktur.

7. SARAN

- Kedepannya dapat dikembangkan sistem kendali PID untuk mengatur suhu dengan lebih dari satu variabel.
- Pada pemrograman LabView dapat ditambahkan perhitungan untuk mencari nilai-nilai parameter gain sesuai dengan metode pendekatan yang dipakai.
- Mengganti material batu bata tungku dengan material tahan panas yang lain.

Pustaka

- [1] Ogata, Katsuhiko, (1997), "Teknik Kontrol Automatik Jilid I dan II" Edisi 2, Jakarta: Erlangga.
- [2] Iwan Setiawan, (2008), "Kontrol PID Untuk Proses Industri", ISBN:9792741003, Penerbit Elex Media Komputindo.
- [3] Rahmad Sulistiyadi, (2020), "Metode Penalaan Kontroler PID", JMTE, Vol.01, No.01, ISSN.
- [4] Emmanuel Agung Nugroho, (2016), "Pengontrolan Level Air pada Tangki Berbasis LabView Terintegrasi dengan Arduino", ELEKTRA, Vol.1, No.2, ISSN: 2503-0221.
- [5] Sankalpa kumar, (2016), "DESIGN OF A PID AUTO TUNING CONTROLLER USING LABVIEW", IRJET, Volume:03, e-ISSN: 2395-0056.

