



PROYEK AKHIR - VM191879 --

PEMODELAN DAN SIMULASI UNTUK SISTEM KENDALI OTOMATIS *ELECTRIC WATER HEATER* BERBASIS *PID CONTROLLER*

YUSRIL REZA ROSYID
10211710010001

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT
Mashuri, S.Si., MT

Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2021



PROYEK AKHIR - VM191879 --

**PEMODELAN DAN SIMULASI UNTUK SISTEM
KENDALI OTOMATIS *ELECTRIC WATER HEATER*
BERBASIS *PID CONTROLLER***

YUSRIL REZA ROSYID
10211710010001

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT
Mashuri, S.Si., MT

Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2021



FINAL PROJECT - VM191879 --

**MODELING AND SIMULATION FOR AUTOMATIC
CONTROL SYSTEM OF ELECTRIC WATER HEATER
BASED ON PID CONTROLLER**

YUSRIL REZA ROSYID
10211710010001

Academic Supervisor
Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT
Mashuri, S.Si., MT

*Energy Covertion Engineering Technology
Industrial Mechanical Engineering Department
Vocational Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2021*

LEMBAR PENGESAHAN
PEMODELAN DAN SIMULASI UNTUK SISTEM
KENDALI OTOMATIS ELECTRIC WATER
HEATER BERBASIS PID CONTROLLER

PROYEK AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Terapan
pada
Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh
YUSRIL REZA ROSYID
NRP 10211710010001

Disetujui Oleh Pembimbing Proyek Akhir:

1. **Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT.**
NIP 19650919 199003 1 003
2. **Mashuri, S.Si., MT.**
NIP 1991202011002



Penguji Proyek Akhir:

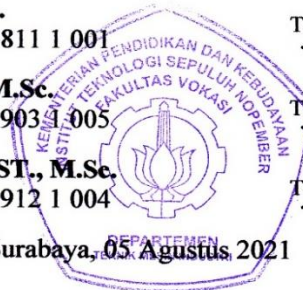
1. **Ir. Winarto, DEA.**
NIP 19601213 198811 1 001
2. **Ir. Suhariyanto, M.Sc.**
NIP 19620424 198903 1 005
3. **Rivai Wardhani, ST., M.Sc.**
NIP 19810722 200912 1 004

Tertera dilampiran 1
.....

Tertera dilampiran 2
.....

Tertera dilampiran 1
.....

Surabaya, 05 Agustus 2021



PEMODELAN DAN SIMULASI UNTUK SISTEM KENDALI OTOMATIS *ELECTRIC WATER HEATER* BERBASIS *PID CONTROLLER*

Nama Mahasiswa : Yusril Reza Rosyid
NRP : 10211710010001
Program Studi : D4-Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Jurusan : Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT
2. Mashuri, S.Si., MT

ABSTRAK

Sistem otomatisasi sudah merambah ke segala bidang tak terkecuali pemanas air. Proses memanaskan air yang konvensional seperti monitoring suhu, kendali manual dan kepresisian yang kurang perlu adanya penanganan lebih lanjut. Seiring berkembangnya teknologi ada beberapa benda atau alat membutuhkan ketepatan suhu yang presisi, begitu juga dengan pemanas air. Maka dari itu dibutuhkan suatu termometer yang dapat membaca suhu aktual yang dijadikan nilai acuan suhu yang diinginkan dan mengatur aliran listrik agar menghasilkan panas yang linear dengan dengan besar aliran listriknya.

Selain itu dibutuhkan kontrol water level guna mengontrol volume air di dalam kinerja pemanas air melalui ketinggian air. Dengan bantuan sebuah mikrokontroler yang didalamnya mengandung kendali (*controller*) dapat menghasilkan keluaran PWM, guna mengatur kinerja sistem otomatisasi. Selain itu, sebagai antarmuka dari sistem ini digunakan Matrix Laboratory (MatLab) untuk memantau dan menghasilkan keluaran yang telah di proses kedalam sistem kendali Proporsional, Integral, dan Derivatif (PID). Pengujian dilakukan dengan metode pertama *Ziegler-Nichols* untuk menghasilkan panas yang lebih akurat dan stabil.

Berdasarkan hasil simulasi, sistem mampu memberikan respon yang cepat terhadap setiap perubahan yang terjadi, baik itu perubahan set-point maupun perubahan suhu air. Pengujian lain yang dilakukan adalah dengan membandingkan nilai suhu yang dideteksi sensor suhu pada alat ini dengan sebuah termometer permukaan digital yang ditempatkan pada sebuah wadah yang sama, dan dari beberapa pengujian tersebut maka nilai suhu yang dideteksi sensor suhu pada alat ini memiliki selisih sebesar $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dengan termometer digital. Dalam simulasi yang dilakukan, perlu juga adanya implementasi terhadap aktual atau keadaan sebenarnya pada alat. Maka dari itu hasil simulasi yang diimplementasikan menunjukkan hasil PID terbaik yaitu $K_p = 3000$, $K_i = 500$, $K_d = 23.5$ dengan waktu 14 menit dan pada daya 373.66 watt. Pemanas air ini mempunyai laju aliran massa fluida maksimal yang bisa diatasi sebesar 0.005974 kg/s .

Kata kunci: suhu, kendali PID, pemanas air, Ziegler-Nichols

MODELING AND SIMULATION FOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF ELECTRIC WATER HEATER BASED ON PID CONTROLLER

Name : Yusril Reza Rosyid
NRP : 10211710010001
Study of Program : D4- Energy Conversion Engineering Technology
Department : Mechanical and Industrial Engineering FV-ITS
Supervisor : 1. Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT
2. Mashuri, S.Si., MT

ABSTRACT

Automation systems have penetrated into various sector, including water heater. Conventional process of heating water such as temperature monitoring, manual control and less precision require further handling. As technology develops, there are several objects or tools that require precise temperature accuracy, as well as water heaters. Therefore we need a thermometer that can read the actual temperature which is used as a reference value for the desired temperature and regulate the flow of electricity to produce heat that is linear with the amount of electricity flowing.

a water level control is needed to control the volume of water to support water heater's performance through the water level. With connecting to a microcontroller which contains a controller that can produce PWM output, in order to regulate the performance of the automation system. In addition, as the interface of this system, Matrix Laboratory (MatLab) is used to monitor and produce output that has been processed into the Proportional, Integral, and Derivative (PID) of control system. The test was

carried out using the Ziegler-Nichols first method tuning rules to produce a more accurate K_p , K_i , K_d for performance of heat.

Based on the simulation results, the system is able to provide a fast response to any changes that occur, whether it change in set-point or change in water temperature. Another test carried out are to compare the temperature value detected by the temperature sensor on this tool with a digital surface thermometer placed in the same container, and from some of these tests, the temperature value detected by the temperature sensor on this tool has a difference of $\pm 1^\circ\text{C}$ with a digital thermometer. In the simulation carried out, it is also necessary to have an implementation of the actual. Therefore, the simulation results that are implemented show the best PID results, namely $K_p = 3000$, $K_i = 500$, $K_d = 23.5$ which is needed 14 minutes and at a power of 373.66 watt. This water heater has a maximum fluid mass flow rate that can be overcome of 0.005974 kg/s .

Keyword : Temperature, PID control, water heater, Ziegler-Nichols

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Proyek Akhir yang berjudul “Pemodelan Dan Simulasi Untuk Sistem Kendali Otomatis *Electric Water Heater* Berbasis *PID Controller*”. Dalam proses penyusunan laporan Proyek Akhir ini penulis telah mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sehingga tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT dan Bapak Mashuri, S.Si., MT. selaku dosen pembimbing, terima kasih atas segala ilmu yang telah diajarkan dan kesabarannya dalam membimbing, memberikan arahan, dan masukan proyek akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi-ITS.
3. Ibu Dr. Atria Pradityana, S.T., M.T. selaku Koordinator Proyek Akhir Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Bapak Ir. Denny Maartyoza Eko Sudjono, MT., selaku Dosen wali.
5. Ayah dan Ibu, beliau selalu mendukung penulis dalam segala hal terutama doanya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan proyek akhir ini.
6. Jimly Assyifa Arsy sebagai partner proyek akhir.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan proyek akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu – persatu.

Seperti kata pepatah “tiada gading yang tak retak”, demikian juga laporan proyek akhir ini masih banyak kekurangan . Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan laporan proyek akhir.

Akhir kata, penulis berharap agar laporan proyek akhir ini dapat bermanfaat bagi kemajuan dan perkembangan wawasan bagi para pembaca. Penulis sadar bahwa tidak ada karya yang sempurna tanpa dukungan para pemerhatinya. Oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun senantiasa penulis harapkan untuk menyempurnakan laporan ini.

Surabaya, 05 Agustus 2021

Yusril Reza Rosyid

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------------------|-------------|
| LEMBAR PENGESAHAN..... | i |
| ABSTRAK | ii |
| KATA PENGANTAR..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xiv |
| DAFTAR SIMBOL..... | xv |
| BAB 1 | 1 |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB 2 | 5 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Penelitian Terkait | 5 |
| 2.2 Perpindahan Panas | 6 |
| 2.3 Karakteristik Sistem | 9 |
| 2.4 <i>PID Controller</i> | 16 |
| 2.5 Ziegler-Nichols | 26 |
| BAB 3 | 31 |
| METODOLOGI..... | 31 |

| | |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1 Urutan Pengerjaan | 31 |
| 3.2 Desain Sistem | 38 |
| 3.3 Metodologi Penelitian | 40 |
| 3.4 Jadwal Pengerjaan Proyek Akhir | 40 |
| BAB 4 | 41 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 41 |
| 4.1 Perencanaan Sistem..... | 41 |
| 4.2 Pemodelan Sistem Thermal | 44 |
| 4.3 Alih Fungsi t ke Fungsi s..... | 46 |
| 4.4 Simulasi menggunakan MATLAB..... | 47 |
| 4.4.1 Plot Data Open Loop | 47 |
| 4.4.2 Nilai Parameter K,T,L Ziegler-Nichols | 49 |
| 4.4.3 Input Nilai | 50 |
| 4.4.4 Hasil Simulasi | 50 |
| 4.5 Simulasi dan Hasil Nilai P, PI, PID..... | 50 |
| 4.5.1 Simulasi Kontroler P Pada Suhu 40°C..... | 52 |
| 4.5.2 Simulasi Kontroler PI Pada Suhu 40°C..... | 54 |
| 4.5.3 Simulasi Kontroler PID Pada Suhu 40°C..... | 56 |
| 4.5.4 Simulasi Kontroler P Pada Suhu 45°C..... | 58 |
| 4.5.5 Simulasi Kontroler PI Pada Suhu 45°C..... | 60 |
| 4.5.6 Simulasi Kontroler PID Pada Suhu 45°C..... | 62 |
| 4.6 Uji Coba Terhadap <i>Water Heater Electric</i> | 64 |
| 4.6.1 Simulasi Uji Coba Variasi PID Ziegler-Nichols | 64 |
| 4.6.2 Hasil Uji Coba Terhadap Alat | 64 |
| 4.6.3 Laju Aliran Massa | 67 |

| | |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| 4.6.4 Pengujian Sensor Suhu terhadap Suhu Aktual | 69 |
| 4.6.5 Water Level Sensor | 70 |
| 4.7 Cara Kerja Pemanas Air Listrik Otomatis | 71 |
| BAB 5 | 77 |
| KESIMPULAN DAN SARAN..... | 77 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 77 |
| 5.2 Saran..... | 78 |
| DAFTAR PUSTAKA | 79 |
| Lampiran 1 | 81 |
| Lampiran 2 | 82 |
| Lampiran 3 | 83 |
| Lampiran 4 | 85 |
| Lampiran 5 | 95 |
| BIODATA PENULIS..... | 97 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Contoh Perbandingan hasil Model Driven PID & PID | 5 |
| Gambar 2.2 Data Perbandingan MD PID & PID..... | 6 |
| Gambar 2.3 Perpindahan Panas Secara Konveksi (Incropera et al., 2015) | 7 |
| Gambar 2.4 Perpindahan panas konveksi dari permukaan media padat ke fluida yang mengalir | 8 |
| Gambar 2.5 Domain Response | 9 |
| Gambar 2.6 Bentuk Sinyal Respon Transien..... | 10 |
| Gambar 2.7 Sistem Orde 1 (Ogata & Brewer, 2010)..... | 13 |
| Gambar 2.8 Respon Impuls Sistem Orde 2 | 14 |
| Gambar 2.9 Spesifikasi Respon Step Sistem Orde 1 | 15 |
| Gambar 2.10 Blok diagram untuk Unity Feedback Systems..... | 17 |
| Gambar 2. 11 Respon Sistem Dengan Unit Step Input | 20 |
| Gambar 2.12 Respon Sistem Tertutup Menggunakan P Controller | 22 |
| Gambar 2.13 Respon Sistem Tertutup Menggunakan PI | 23 |
| Gambar 2.14 Respon Sistem Tertutup Menggunakan PID Controller | 25 |
| Gambar 2.15 PID Control of a plant (Ogata & Brewer, 2010).... | 26 |
| Gambar 2.16 Respon Unit Step dari Plant | 27 |
| Gambar 2.17 S-shaped response curve | 28 |
| Gambar 2.18 Sistem Closed loop dengan Proportional Controller | 29 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian | 34 |
| Gambar 3.2 Flowchart Simulasi | 35 |
| Gambar 3.3 Blok Diagram | 38 |
| Gambar 3. 4 Assembly 2D dan Komponen Water Heater | 39 |
| Gambar 3.5 Desain Elemen Pemanas Air | 39 |
| Gambar 4.1 Laju Aliran panas..... | 42 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.2 Thermal System..... | 42 |
| Gambar 4.3 Volume Kontrol untuk Pertimbangan Energi pada Lapisan batas Thermal | 43 |
| Gambar 4.4 Input Nilai Resistansi dan Kapasitansi..... | 48 |
| Gambar 4.5 Simulasi Open Loop | 48 |
| Gambar 4.6 Grafik Open Loop Hasil Plotting Data | 49 |
| Gambar 4.7 Metode Pencarian Nilai K,T,L dengan Metode Pertama Ziegler-Nichols | 49 |
| Gambar 4.8 Pencarian Nilai K,T,L dengan Matlab | 50 |
| Gambar 4.9 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler P Ziegler-Nichols | 52 |
| Gambar 4.10 Percobaan 2 Variasi Nilai P..... | 52 |
| Gambar 4.11 Percobaan 3 Variasi Nilai P..... | 53 |
| Gambar 4.12 Perbandingan Nilai P Ziegler Nichols dan Variasi P | 53 |
| Gambar 4.13 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler PI Ziegler-Nichols | 54 |
| Gambar 4.14 Percobaan 2 Variasi Nilai PI | 54 |
| Gambar 4.15 Percobaan 3 Variasi Nilai PI | 55 |
| Gambar 4.16 Perbandingan Nilai PI Ziegler Nichols dan Variasi PI | 55 |
| Gambar 4.17 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler PID Ziegler-Nichols | 56 |
| Gambar 4.18 Percobaan 2 Variasi Nilai PID..... | 56 |
| Gambar 4.19 Percobaan 3 Variasi Nilai PID..... | 57 |
| Gambar 4.20 Perbandingan Nilai PID Ziegler Nichols dan Variasi PID..... | 57 |
| Gambar 4.21 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler P Ziegler-Nichols | 58 |
| Gambar 4.22 Percobaan 2 Variasi Nilai P..... | 58 |
| Gambar 4.23 Percobaan 3 Variasi Nilai P..... | 59 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.24 Perbandingan Nilai P Ziegler Nichols dan Variasi P | 59 |
| Gambar 4.25 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler PI Ziegler-Nichols | 60 |
| Gambar 4.26 Percobaan 2 Variasi Nilai PI | 60 |
| Gambar 4.27 Percobaan 3 Variasi Nilai PI | 61 |
| Gambar 4.28 Perbandingan Nilai PI Ziegler Nichols dan Variasi PI..... | 61 |
| Gambar 4.29 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler PI Ziegler-Nichols | 62 |
| Gambar 4.30 Percobaan 2 Variasi Nilai PID..... | 62 |
| Gambar 4.31 Percobaan 3 Variasi Nilai PID..... | 63 |
| Gambar 4.32 Perbandingan Nilai PID Ziegler Nichols dan Variasi PID..... | 63 |
| Gambar 4.33 Nilai PID yang di-input ke dalam sistem pemanas air otomatis..... | 64 |
| Gambar 4.34 Pengujian Sistem Kendali PID pada Pemanas Air Otomatis | 66 |
| Gambar 4.35 Fungsi Solenoid Valve | 71 |
| Gambar 4.36 Breakdown Part of Water Heater Heater Electric .. | 71 |
| Gambar 4.37 Bagian Sensor Suhu dan level air | 72 |
| Gambar 4.38 Masukan nilai kendali PID Controller pada software arduino hasil pemodelan untuk performa sistem pemanas air | 73 |
| Gambar 4.39 Aplikasi BLYNK pada Smartphone berfungsi sebagai IOT | 74 |

DAFTAR TABEL

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Penurunan Nilai Eksponensial sebagai fungsi dari Konstanta Waktu | 13 |
| Tabel 2.2 Respon PID Controller terhadap perubahan konstanta | 18 |
| Tabel 2.3 Ziegler–Nichols Tuning Rule Based on Step Response of Plant (First Method)..... | 28 |
| Tabel 2. 4 Ziegler–Nichols Tuning Rule Based on Critical Gain | 29 |
| Tabel 3. 1 Timeline Pengerjaan Proyek Akhir | 40 |
| Tabel 4.1 Data Percobaan Simulasi Variasi Nilai PID | 51 |
| Tabel 4.2 Tabel Percobaan Kontroler P Suhu 40°C..... | 53 |
| Tabel 4. 3 Tabel Percobaan Kontroler PI Suhu 40°C..... | 55 |
| Tabel 4. 4 Tabel Percobaan Kontroler PID Suhu 40°C..... | 57 |
| Tabel 4.5 Tabel Percobaan Kontroler P Suhu 45°C..... | 59 |
| Tabel 4.6 Tabel Percobaan Kontroler PI Suhu 45°C..... | 62 |
| Tabel 4.7 Tabel Percobaan Kontroler PID Suhu 45°C..... | 63 |
| Tabel 4.10 Hasil Variasi Nilai PID dan Lama Waktu Pemanasan | 66 |
| Tabel 4.11 Pengujian Ketelitian Sensor Suhu terhadap Suhu Aktual | 69 |
| Tabel 4. 12 Data Pengujian Water Level Sensor | 70 |

DAFTAR SIMBOL

| | |
|----------------|-------------------------------------------------------|
| q_{konv} | = Laju perpindahan panas konveksi (W) |
| h | = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2K) |
| A | = Luas permukaan perpindahan panas (m^2) |
| T_c | = Temperatur permukaan (K) |
| T_{∞} | = Temperatur fluida (K) |
| Pr | = Prandtl Number |
| β | = Expansion Coefficient ($1/K$) |
| k | = konduktivitas termal ($W/m \cdot ^\circ C$) |
| μ | = Viskositas kinematic |
| Gr | = Grashoff Number |
| Ra | = Rayleigh Number |
| Nu | = Nusselt Number |
| R | = Resistansi Thermal ($^\circ C/kcal \cdot s^{-1}$) |
| C | = Kapasitansi Thermal ($kcal/^\circ C$) |
| Q | = Energi (J) |
| P | = Daya (watt) |
| m | = massa fluida (kg) |
| C_p | = kalor spesifik air (J/kgK) |
| $T_{\infty 1}$ | = Suhu Heating Element (K) |
| $T_{\infty 2}$ | = Suhu Air (K) |
| w | = Energi Listrik (J) |
| t | = Waktu (s) |
| \dot{m} | = Laju Aliran Massa (kg/s) |
| ρ | = massa jenis air (kg/m^3) |
| A | = Luas Pipa (m^2) |
| V | = Kecepatan Aliran Fluida (m/s) |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air panas merupakan salah satu kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari keperluan rumah tangga seperti menyeduh minuman sampai dengan mandi. Terutama pada dataran tinggi karena pada kondisi tersebut suhu akan lebih cepat menurun dan air panas lebih cepat dingin. Kebutuhan akan air hangat pada dataran tinggi begitu banyak. Daerah Batu misalnya, suhu udara disana berkisar 18 – 23 °C (BMKG, 2021)

Pemanas air (water heater) merupakan alat yang digunakan untuk memanaskan air yang menggunakan energi sebagai sumber pemanas. metode penggunaan Pemanas air (water heater) yang digunakan pada saat ini masih menggunakan indera perasa untuk mengetahui seberapa besar suhu air hangat yang diinginkan dan penggunaannya pun masih dengan cara manual yaitu dengan mengkombinasikan keran air panas dengan keran air normal untuk mendapatkan suhu air hangat yang diinginkan. Pada idealnya suhu air panas untuk mandi berkisar 40°C - 45°C (Bathing, 2021). Ada juga yang memverifikasi bahwa suhu air panas optimal untuk mandi berkisar 95°F - 115°F (For & Elderly, 2004).

Temperatur yang dihasilkan oleh water heater tidak bisa selalu konstan nilainya, karena pengaruh udara akhirnya terjadi penurunan suhu. Jika suhu tidak konstan maka suhu air akan turun pada saat dipakai mandi jadi air tidak hangat lagi. Menurut Jurnal yang ditulis oleh (Rokhandi et al., 2017) bahwa ada beberapa faktor dalam ketidakstabilan suhu yaitu alat pengukur suhu, volume air, dan sensor yang digunakan. Oleh karena itu diperlukan adanya sistem kendali. Dalam jurnal

(Rokhandi et al., 2017) mengatur suhu air pada $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ menggunakan kontroler. Jika suhu pada kondisi 37°C maka heater akan mati, jika suhu dibawah itu maka heater akan menyala.

Menurut (Sampurno et al., 2016) bahwasanya sistem pengaturan suhu yang konstan bisa didapatkan dengan PID Controller. Sistem kendali PID merupakan salah satu pengatur yang banyak digunakan, yaitu kegunaannya untuk pengendali properti industri. Penyetelan PID tidaklah sederhana dan juga memiliki beberapa masalah dalam menangani respon yang lambat. Kontroler ini memiliki parameter-parameter seperti K_p , T_i , dan T_d . Kesulitan timbul bila plant tidak menggunakan kontroler, Maka dari itu, diperlukan metode tuning PID yang dapat diterapkan dalam sistem ini yang bertujuan untuk menangani respon yang lambat. Pada kasus ini PID Controller digunakan untuk memanaskan sari jagung pada suhu yang konstan yaitu 110°C pada waktu 2 jam.

Untuk saat ini PID (Proporsional Integral Derivative) produk PID komersil muncul di pasaran dalam beragam model dan bentuk, yaitu dari sekedar 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). Bahkan perkembangan terakhir, modul PID ini juga umum dijumpai dalam bentuk modul independen pada sistem PLC (Programmable Logic Controller) (Iwan Setiawan, 2008).

Dalam Proyek Akhir ini alasan menggunakan PID Controller karena untuk memperbaiki kestabilan dari alat Pemanas Air Otomatis yang mana akan digunakan di dataran tinggi, dimana akan terjadi banyak gangguan yaitu seperti tekanan yang rendah akan berakibat cepatnya penurunan suhu, penggunaan air yang berlebihan juga akan menurunkan suhu

air. Dua hal diatas yang nantinya akan menyebabkan gangguan pada respon sinyal menyebabkan osilasi atau gelombang pada grafik. Oleh karena itu PID Controller diperlukan dalam hal ini untuk pengaturan suhu yang konstan dalam tanki air. Untuk mengetahui performance dari sistem kendali yang diterapkan, maka perlu adanya simulasi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun Permasalahan yang ditinjau dari penelitian ini diantaranya:

1. Bagaimana Melakukan Pemodelan dan bentuk pemodelan sistem pemanas air?
2. Bagaimana Merancang sistem kendali dan mensimulasikan dengan MATLAB ?
3. Bagaimana memperoleh mode kontrol yang tepat agar Rise Time & Settling Time Rendah, Minimum Overshoot, Steady State Error mendekati Nol ?
4. Berapa laju aliran massa fluida yang dapat diatasi oleh pemanas air dan daya yang dihasilkan?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dijelaskan merupakan substansi dari rumusan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Pada Proyek Akhir ini hanya terbatas pada pemodelan sistem thermal, simulasi dan implementasi sistem kendali.
2. *Tuning PID* menggunakan Ziegler-Nichols first method tuning rules.
3. Kontroler yang disimulasikan berupa P, Pi, dan PID dengan tuning melalui hasil Ziegler-Nichols maupun trial-error
4. Perhitungan kesetimbangan energi dan massa pada daya heating element 375 watt.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh model matematika sebagai pendekatan terhadap kontrol otomatis pemanas air
2. Menghasilkan simulator sistem kendali thermal yang dapat diakses di MATLAB
3. Memperoleh kontrol PID yang tepat seperti nilai K_p , K_i , K_d agar rise time & settling time rendah, minimum overshoot, steady state error mendekati Nol saat di implementasikan terhadap alat
4. Mengetahui kemampuan pemanas air dalam mengatasi aliran fluida yang masuk dan nilai dayanya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari Proyek Akhir ini adalah sebagai wawasan dan pengetahuan agar kedepannya menjadi acuan dalam melakukan perencanaan alat yang menggunakan kontroler agar dapat hasil yang optimal dan hasil keluaran sinyal responnya. Mahasiswa menjadi mengerti dalam mengidentifikasi permasalahan dalam kontroler dan mencari solusi dalam pengendalian kontroler yang optimal. Serta diharapkan dapat melakukan inovasi yang lebih baik agar dapat bisa berkontribusi dalam pemanas air yang optimal.

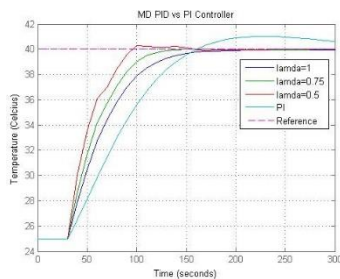
1. Dapat memahami bagaimana melakukan perencanaan sistem pemodelan dan implementasinya.
2. Dapat memberikan wawasan bagaimana konsep PID kontroler dan aplikasinya.
3. Memberikan wawasan dalam dunia pengendalian khususnya dalam aplikasi MATLAB.
4. Dapat mengetahui unjuk kerja dari pemanas air yang dibuat dengan sistem kendali, kesetimbangan energi serta otomatisasinya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Pemodelan dan analisis memainkan peran mendasar dalam bidang kontrol otomatis, karena tidak mungkin untuk melakukan desain sistem kontrol tanpa memiliki model yang menggambarkan dinamika proses yang akan dikontrol. Model matematika adalah elemen kunci dalam bidang kontrol otomatis. Mereka diperlukan untuk simulasi juga desain dalam pengembangan sistem kontrol yang khas. Model tidak dapat mewakili setiap aspek realitas dan karenanya asumsi harus dibuat untuk menggunakannya untuk tujuan pengendalian (A. Suthar & J. Gadit, 2011). Dalam perkembangannya PID Controller telah banyak digunakan dalam penelitian. Sistem kontrol PID loop tunggal telah banyak digunakan untuk sistem kontrol regulasi dalam Sistem Kontrol Terdistribusi (DCS) meskipun sebagian besar proses industri pada dasarnya adalah sistem multivariabel (Hondianto et al., 2016). Dalam Penelitian *Model Driven PID Controller* menggunakan perbandingan PI Control.



Gambar 2.1 Contoh Perbandingan hasil Model Driven PID & PID

| Step Info | PI | MD | | |
|---------------|-----------|-------------|----------------|---------------|
| | | $\lambda=1$ | $\lambda=0.75$ | $\lambda=0.5$ |
| Rise-Time | 92.0164s | 74.5786s | 59.4621s | 47.7017s |
| Settling Time | 351.0197s | 152.7577s | 117.9946s | 106.7900s |
| Overshoot | 6.8929% | 0% | 0.0645% | 2.3073% |
| Undershoot | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Peak | 1.0689 | 0.9994 | 1.0006 | 1.0231 |

Gambar 2.2 Data Perbandingan MD PID & PID

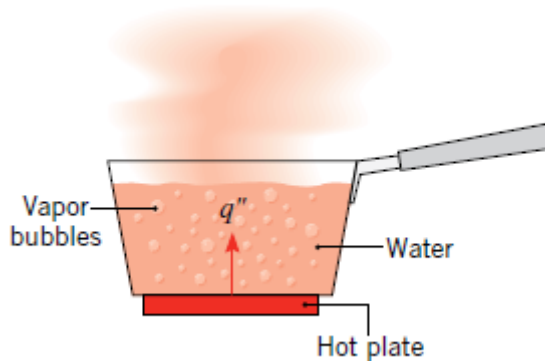
Gambar 2.6 merupakan hasil Tuning menggunakan Model Driven PID dengan menginput data $\lambda=1$, $\lambda=0.75$, $\lambda=0.5$. Nilai λ diperoleh dari kasus percobaan (Shigemasa & Yukitomo, 2001). λ berperan sebagai respon kecepatan dari sistem kontrol. Pada percobaan PI yang telah dilakukan menggunakan nilai $K_p=0.2178$, $K_i=0.003866$ didapatkan hasil Settling Time sebesar 351 detik, *rise time* 92.0164 detik, dan *overshoot* 6.8929% pada suhu 25°C - 40°C.

Pada penelitian *Model Following PID Control* ditulis dan dikenalkan oleh (Shigemasa & Yukitomo, 2001). Pada penelitian *Model Driven PID Control* dapat dilihat percobaan λ lebih cepat karena berperan sebagai respon kecepatan dari sistem kontrol yang mana semakin kecil nilai λ maka respon transien yang dihasilkan seperti *rise time* dan *settling time* akan lebih cepat dengan *overshoot* yang lebih kecil.

2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses berpindahnya energi kalor atau panas (*heat*) karena adanya perbedaan temperatur. Dimana, energi kalor akan berpindah dari temperatur media yang lebih tinggi ke temperatur media yang lebih rendah. Proses perpindahan panas akan terus berlangsung sampai ada kesetimbangan temperatur yang terjadi pada kedua media tersebut. Proses terjadinya perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi (Incropera et al., 2015).

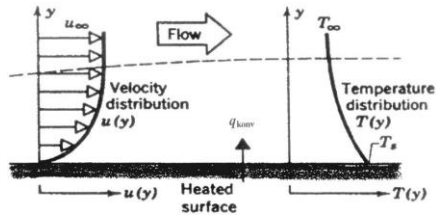
Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir atau bergerak, begitu pula sebaliknya, yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Ilustrasi perpindahan panas secara konveksi digambarkan seperti Gambar 2.2



Gambar 2.3 Perpindahan Panas Secara Konveksi (Incropera et al., 2015)

Suatu fluida memiliki temperatur (T) yang bergerak dengan kecepatan (V), diatas permukaan benda padat (Gambar 2.4). Temperatur media padat lebih tinggi dari temperatur fluida, maka akan terjadi perpindahan panas secara konveksi dari benda padat ke fluida yang mengalir. Gambar 2.4 Perpindahan panas konveksi dari permukaan media padat ke fluida yang mengalir Laju perpindahan panas konveksi mengacu pada Hukum Newton tentang pendinginan (Newton's Law of Cooling) (Incropera and De Witt), dimana:

$$q_{konv} = h \cdot A_c \cdot (T_c - T_{\infty}) \quad (2.1)$$



Gambar 2.4 Perpindahan panas konveksi dari permukaan media padat ke fluida yang mengalir

Dimana:

q_{konv} = Laju perpindahan panas konveksi (W)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

A = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)

T_c = Temperatur permukaan (K)

T_{∞} = Temperatur fluida (K)

Menurut perpindahan panas konveksi, aliran fluida dapat diklasifikasikan menjadi:

- a. Konveksi paksa (forced convection). Terjadi bila aliran fluida disebabkan oleh gaya luar. Seperti: blower, pompa, dan kipas angin.
- b. Konveksi alamiah (natural convection). Terjadi bila aliran fluida disebabkan oleh efek gaya apungnya (buoyancy forced effect). Pada fluida, temperatur berbanding terbalik dengan massa jenis (density). Dimana, semakin tinggi temperatur suatu fluida maka massa jenisnya akan semakin rendah, begitu pula sebaliknya.

2.3 Karakteristik Sistem

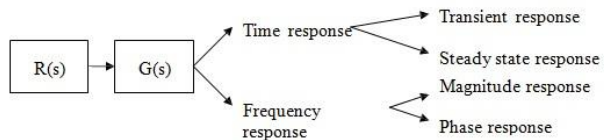
1. Tanggapan Sistem

Respon sistem atau tanggapan sistem adalah perubahan perilaku output terhadap perubahan sinyal input. Respon sistem berupa kurva ini akan menjadi dasar untuk menganalisa karakteristik system selain menggunakan persamaan atau model matematika. Bentuk kurva respon sistem dapat dilihat setelah mendapatkan sinyal input. Sinyal input yang diberikan untuk mengetahui karakteristik system disebut sinyal test (Ogata & Brewer, 2010). Ada 3 tipe input sinyal test yang digunakan untuk menganalisa system dari bentuk kurva response:

- Impulse signal, sinyal kejut sesaat.
- Step signal, sinyal input tetap DC secara mendadak.
- Ramp signal, sinyal yang berubah mendadak (sin, cos).

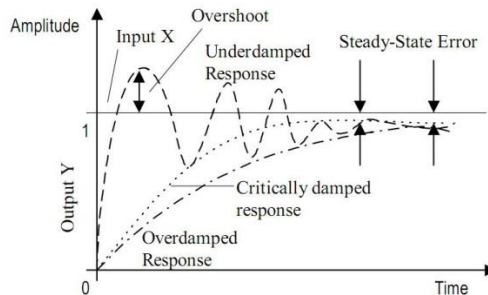
Respon sistem terbagi menjadi 2 Domain yaitu:

- Domain Waktu (Time Response)
- Domain Frequency (Frequency Domain)



Gambar 2.5 Domain Response

Transien Response adalah ketika sebuah input sistem berubah secara tiba-tiba. keluaran atau output membutuhkan waktu untuk merespon perubahan itu. Bentuk respon transient atau peralihan bisa digambarkan seperti berikut:



Gambar 2.6 Bentuk Sinyal Respon Transien

Bentuk sinyal respon transient ada 3:

- 1) *Underdamped response*, output melesat naik untuk mencapai input kemudian turun dari nilai yang kemudian berhenti pada kisaran nilai input. Respon ini memiliki efek osilasi
- 2) *Critically damped response*, output tidak melewati nilai input tapi butuh waktu lama untuk mencapai target akhirnya.
- 3) *Overdamped response*, respon yang dapat mencapai nilai input dengan cepat dan tidak melewati batas input.

Fasa peralihan ini kemudian akan berhenti pada nilai dikisaran input/target dimana selisih nilai akhir dengan target disebut steady state error. Jika dengan input atau gangguan yang diberikan pada fasa transient kemudian tercapai output steady state maka dikatakan sistem ini stabil. Jika sistem tidak stabil, output akan meningkat terus tanpa batas sampai sistem merusak diri sendiri atau terdapat rangkaian pengaman yang memutus sistem.

Sensitifitas sistem adalah perbandingan antara persentase perubahan output dengan persentase perubahan input. Perubahan pada input bisa normal atau ada gangguan dimana parameter proses akan berubah

seiring dengan usia, lingkungan, kesalahan kalibrasi dsb. Pada sistem siklus tertutup tidak terlalu sensitif terhadap hal ini karena adanya proses monitoring balik/feedback. Kondisi sebaliknya terjadi pada sistem siklus terbuka. Pemilihan sistem siklus terbuka harus memperhatikan spesifikasi beban dan kapasitas sistem.

2. Klasifikasi Respon Sistem

a. *Time Response*

Time Response adalah karakteristik respon yang spesifikasi performansinya didasarkan pada pengamatan bentuk respon output sistem terhadap berubahnya waktu. Secara umum spesifikasi performansi respon waktu dapat dibagi atas dua tahapan pengamatan, yaitu;

- Respon Transient

Merupakan spesifikasi respon sistem yang diamati mulai saat terjadinya perubahan sinyal input/gangguan/beban sampai respon masuk dalam keadaan steady state. Tolak ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon transient ini antara lain; rise time, delay time, peak time, settling time, dan overshoot.

- Respon Steady State

Merupakan spesifikasi respon sistem yang diamati mulai saat respon masuk dalam keadaan steady state sampai waktu tak terbatas (dalam praktek waktu pengamatan dilakukan saat TS t $5TS$). Tolak ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon steady state ini antara lain; eror steady state baik untuk eror posisi, eror kecepatan maupun eror percepatan

b. *Frequency Response*

Karakter respon frekuensi adalah karakteristik respon yang spesifikasi performansinya didasarkan pengamatan magnitude dan sudut fase dari penguatan/gain (output/input) sistem untuk masukan sinyal sinus ($A \sin$

t). Tolak ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon frekuensi ini antara lain;

- Frequency Gain Cross Over,
- Frequency Phase Cross Over,
- Frequency Cut-Off (filter),
- Frequency Band-Width (filter),
- Gain Margin,
- Phase Margin,
- Slew-Rate Gain dan lain-lain.

c. Karakteristik Respon Sistem Orde I dan Orde II

Respon output sistem orde I dan orde II, untuk masukan fungsi Impulsa, step, ramp dan kuadratik memiliki bentuk yang khas sehingga mudah diukur kualitas responnya (menggunakan tolok ukur yang ada). Pada sistem orde tinggi umumnya memiliki bentuk respon yang kompleks atau tidak memiliki bentuk respon yang khas, sehingga ukuran kualitas sulit ditentukan. Meskipun demikian, untuk sistem orde tinggi yang ada dalam praktek (sistem yang ada di industri), umumnya memiliki respon menyerupai atau dapat didekati dengan respon orde I dan II. Untuk sistem yang demikian dapatlah dipandang sebagai sistem orde I atau II, sehingga ukuran kualitas sistem dapat diukur dengan tolok ukur yang ada.

d. Karakteristik Respon Impulsa (Impuls Respon)

Merupakan karakteristik sistem yang didapatkan dari spesifikasi respon output terhadap masukan impuls

➤ Respon Impulsa sistem orde I

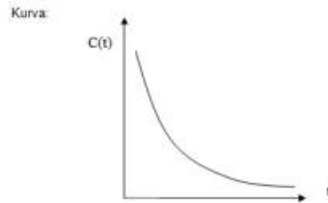
Suatu sistem orde I, dapat digambarkan sebagai berikut :

Persamaan system : $G(s) = \frac{1}{s+1}$

Sinyal input test: impuls $r(t) = \delta(t) - 1, t = t_0$
 $= 0, t \neq t_0$

Tanggapan system: $C(s) = G(s) R(s) = \frac{1}{(s+1)}$
 $C(t) = e^{-t}, t \geq 0$

Bentuk Laplace $R(s)=1$ dan $r =$ konstanta waktu



Gambar 2.7 Sistem Orde 1 (Ogata & Brewer, 2010)

Dimana :

$C(s)$: fungsi masukan

$R(s)$: fungsi keluaran

Tabel 2.1 Penurunan Nilai Eksponensial sebagai fungsi dari Konstanta Waktu

| T | $e^{1/T}$ |
|----|-----------|
| 0 | 1.0000 |
| T | 0.3679 |
| 2T | 0.1353 |
| 3T | 0.0498 |
| 4T | 0.0183 |
| 5T | 0.0067 |

- Respon Impulsa sistem orde II
 Suatu sistem orde II, dapat digambarkan sebagai berikut:

Persamaan system : $G(s) = \frac{\omega_n}{(s-s_1)(s-s_2)}$

Sinyal input test: impuls $r(t) = \delta(t) = 1, t = t_0$
 $= 0, t \neq t_0$

Tanggapan system: $C(s) = G(s) \cdot R(s) = \frac{\omega_n}{(s-s_1)(s-s_2)}$ Bentuk Laplace $R(s)=1$

Dengan mencari faktornya didapat:

$$C(s) = G(s) R(s) = \frac{A}{(s-s_1)} + \frac{B}{(s-s_2)}$$

Dengan transformasi balik laplace didapat output $c(t)$

$$c(t) = Ae^{s_1 t} + Be^{s_2 t} = Ae^{(-\sigma + j\omega_d)t} + Be^{(-\sigma - j\omega_d)t}$$

Nilai A dan B didapat dari syarat batas awal dan akhir atau dengan menggunakan pecahan parsial.

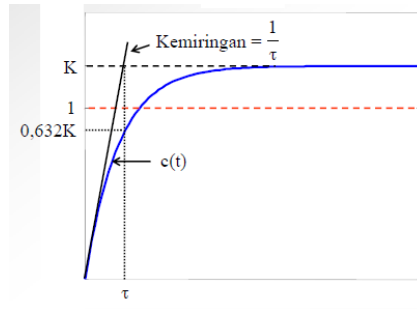
Gambar 2.8 Respon Impuls Sistem Orde 2

e. Karakteristik Respon Step (Step Respon)

Merupakan karakteristik sistem yang didapatkan dari spesifikasi respon output terhadap masukan Step.

- Spesifikasi Respon Step Sistem Orde I

Spesifikasi respon step sistem orde I dapat dinyatakan dalam dua macam spesifikasi yaitu: spesifikasi respon transient dan spesifikasi respon steady state yang diukur melalui posisi pada keadaan tunak (steady state). Secara umum respon step sistem orde I dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.9 Spesifikasi Respon Step Sistem Orde 1
 Dalam buku Modern Control Engineering edisi ke 5
 (Ogata & Brewer, 2010) menspesifikasikan Respon
 Transient Orde 1 sebagai berikut:

a. Time Constant

Ukuran waktu yang menyatakan kecepatan respon, yang di ukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 63,2% ($e^{-1} \times 100\%$) dari respon steady state.

b. Rise Time

Ukuran waktu yang menyatakan keberadaan suatu respon, yang di ukur mulai respon 5% s/d 95% dari respon steady state (dapat pula 10% s/d 90%).

c. Settling Time

Ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk 5% atau 2% atau 0,5% dari respon steady state.

d. Delay Time

Ukuran waktu yang menyatakan faktor keterlambatan respon output terhadap input, di ukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 50% dari respon steady state.

➤ Spesifikasi Respon Transient Sistem Orde II

a. Time Constant

Ukuran waktu yang di ukur melalui respon fungsi selubung yaitu mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 63,2% ($e^{-1} \times 100\%$) dari respon steady state. $t = 1/XW N$

b. Rise Time

Ukuran waktu yang di ukur mulai respon mulai $t = 0$ s/d respon memotong sumbu steady state yang pertama.

c. Settling Time

Ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk 5% atau 2% atau 0,5% dari respon steady state

d. Delay Time

Ukuran waktu yang menyatakan faktor keterlambatan respon output terhadap input, di ukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 50% dari respon steady state.

e. Overshoot

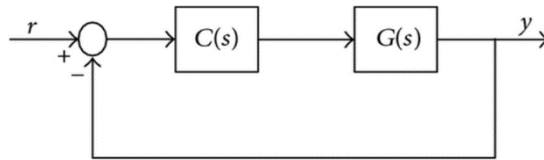
Nilai relatif yang menyatakan perbandingan harga maksimum respon yang melampaui harga steady state dibanding dengan nilai steady state.

f. Time Peak

Ukuran waktu diukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai puncak yang pertama kali (paling besar).

2.4 PID Controller

PID Controller merupakan salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan. Selain itu sistem ini mudah digabungkan dengan metoda pengaturan yang lain seperti Fuzzy dan Robust. Sehingga akan menjadi suatu sistem pengatur yang semakin baik. Tulisan ini dibatasi pada sistem dengan Unity Feedback System.



Gambar 2.10 Blok diagram untuk Unity Feedback Systems

Keterangan Gambar :

$C(s)$: Controller

$G(s)$: Plant

PID Controller memiliki transfer function sebagai sebagai berikut:

$$H(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s^3 + K_D s^2 + K_P s + K_I} \quad (2.2)$$

PID Controller sebenarnya terdiri dari 3 jenis cara pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu P (Proportional) Controller, D (Derivative) Controller, dan I (Integral) Controller. Masing-masing memiliki parameter tertentu yang harus diset untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai konstanta (Siagian, 2011). Berikut adalah respon PID Controller terhadap perubahan konstanta.

Tabel 2.2 Respon PID Controller terhadap perubahan konstanta

| Closed-Loop Response | Rise Time | Overshoot | Settling Time | SS Error |
|-----------------------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------|
| Kp | Decrease | Increase | Small change | Decrease |
| Ki | Decrease | Increase | Increase | Eliminate |
| Kd | Small change | Decrease | Decrease | Small change |

Parameter-parameter tersebut, tidak bersifat independen, sehingga pada saat salah satu nilai konstantanya diubah, maka mungkin sistem tidak akan bereaksi seperti yang diinginkan. Tabel di atas hanya dipergunakan sebagai pedoman jika akan melakukan perubahan konstanta. Untuk merancang suatu PID Controller, biasanya dipergunakan metoda trial & error. Sehingga perancang harus mencoba kombinasi pengatur beserta konstantanya untuk mendapatkan hasil terbaik yang paling sederhana (Siagian, 2011).

a. Metode Simulasi Menggunakan Komputer atau Software

Perkembangan teori kontrol juga diikuti oleh software pendukungnya. Mulai dari software untuk pemrograman sistem, sampai dengan software untuk proses simulasinya. Salah satu software yang dapat dipergunakan untuk simulasi tersebut adalah MatLab dari Mathworks, Inc. Software ini dilengkapi dengan berbagai toolbox yang memudahkan pemakai untuk melakukan perhitungan-perhitungan tertentu. Bahkan saat ini sudah dikembangkan toolbox khusus untuk simulasi yang diberi nama Simulink. Aplikasi MatLab dalam bidang pengaturan dilengkapi

Control Toolbox. Toolbox ini sudah dilengkapi dengan berbagai macam fungsi pendukung yang dipergunakan dalam analisa sistem kontrol. Beberapa fungsi pendukung yang sering dipergunakan untuk menganalisa suatu sistem adalah : feedback, step, rlocus, series, dan lain-lain. Untuk menganalisa suatu sistem, software hanya memerlukan masukan berupa transfer function yang ditulis dalam Laplace Transform (dalam s-domain) atau matriks. Untuk selanjutnya, pemakai tinggal memilih analisa yang akan dipergunakan. Tulisan ini akan membahas penggunaannya secara khusus untuk merancang PID Controller pada suatu sistem. Sebagai contoh, suatu sistem kontrol memiliki transfer function sebagai berikut :

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + 10s + 20} \quad (2.3)$$

Di dalam buku Ogata edisi ke 5 berjudul “Modern Control Engineering” desain PID Controller yang baik ialah dengan kriteria perancangan sebagai berikut :

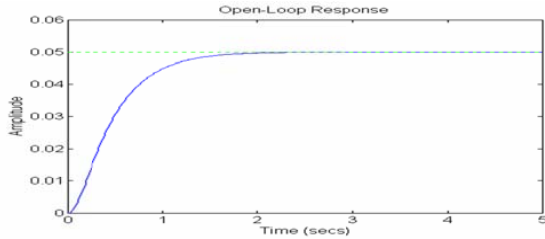
1. memiliki rise time yang cepat
2. overshoot sekecil mungkin
3. tidak memiliki steady state error.

Dari fungsi di atas, maka parameter-parameter yang dimasukkan berupa koefisien pembilang dan penyebutnya. Biasanya dipergunakan variabel num untuk pembilang dan den untuk penyebut. Kedua nama variabel tersebut tidak mutlak, jadi penggunaan nama variabel yang lain juga diperbolehkan. Setelah itu komputer sudah siap untuk menganalisa sistem kontrol. Langkah kedua yang perlu dilakukan adalah memilih jenis input yang akan dimasukkan ke dalam sistem. Input ini bisa berupa step, pulse, ramp, sinus dan sebagainya. Sebagai dasar analisa akan diperlunakan fungsi step.

Fungsi dasar yang akan sering dipergunakan ada ah step, dengan syntax : `step(num,den,t)` untuk s-domain atau `step(A,B,C,D)` untuk state space. Fungsi ini menghasilkan gambar respon sistem bila diberi input unit step dalam t-domain.

```
num = [1];
den = [1 10 20];
step(num,den)
title('Open Loop Response')
```

Respon sistem terbuka (open loop response) dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. 11 Respon Sistem Dengan Unit Step Input

Sistem di atas memiliki steady state error yang tinggi, yaitu 0,95. Sebab respon tertinggi hanya didapatkan pada amplitudo 0,05. Selain itu, sistem tersebut memiliki rise time yang cukup besar (sekitar 1,5 detik). Hal tersebut jelas tidak menguntungkan. Untuk menghasilkan sistem kontrol yang baik, diperlukan sistem yang tertutup (close loop system). Sistem ini memiliki feedback, yang akan membandingkan kondisi sesungguhnya dengan seting poin yang diberikan.

b. Proporsional Kontroler

Dari tabel 1 diketahui bahwa P Controller dapat mengurangi rise time, menambah overshoot, dan mengurangi steady state error (Ogata, 2010). Closed-loop transfer function sistem di atas dengan menggunakan P Controller adalah sebagai berikut :

$$H(s) = \frac{K_p}{s^2 + 10s + (20 + K_p)} \quad (2.4)$$

Misal, diambil konstanta $K_p = 300$, maka :

$K_p = 300$;

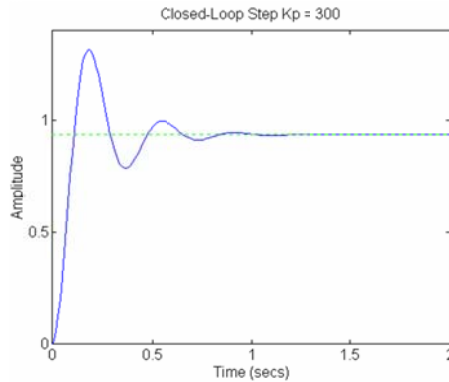
$\text{num} = [K_p]$;

$\text{den} = [1 \ 10 \ 20+K_p]$;

$t = 0 : 0.01 : 2$;

$\text{step}(\text{num}, \text{den})$

$\text{title}(\text{'Closed-Loop Step } K_p = 300\text{'})$



Gambar 2.12 Respon Sistem Tertutup Menggunakan P Controller

Penambahan variabel $t=0:0.01:2$ $t=0$ s/d $t=2$, dengan step 0,01 detik. dimaksudkan untuk melihat respon sistem dari Dari gambar 9 di atas, dapat dilihat bahwa penambahan Proportional Controller mengurangi rise time dan steady state error, tetapi menambah overshoot pada grafik. Namun, overshoot yang terjadi masih terlalu besar sekitar 40%. Jika konstanta K_p diperbesar, maka overshoot yang terjadi juga semakin besar, settling time juga semakin besar, tetapi rise timenya menjadi kecil. Kebalikan dari keadaan itu terjadi jika konstanta K_p diperkecil (Siagian, 2011).

c. Proporsional-Integral Kontroler

Closed-Loop transfer function sistem di atas dengan PI Controller adalah :

Integral Controller memiliki karakteristik mengurangi rise time, menambah overshoot dan settling time, serta menghilangkan steady state error (karakteristik ini tidak dimiliki oleh jenis yang lain).

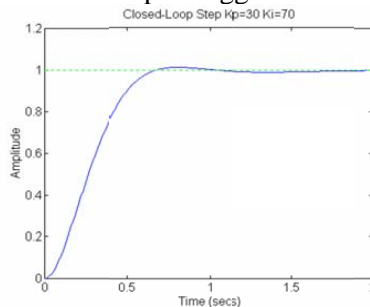
```

Misal,  $K_p = 30$  dan  $K_i = 70$ , maka :
 $K_p = 300$ ;
 $K_i = 70$ ;
num = [ $K_p$   $K_i$ ];
den = [ $1$   $10$   $20+K_p$   $K_i$ ];
t = 0 : 0.01 : 2;
step(num,den)
title('Closed-Loop Step  $K_p=30$   $K_i=70$ ')

```

P dan I Controller memiliki karakteristik yang sama dalam hal rise time dan overshoot. Oleh karena itu, nilai K_p harus dikurangi untuk menghindari overshoot yang berlebihan. Nilai K_i diambil lebih besar dari K_p karena diinginkan untuk meniadakan steady state error. Jika $K_p > K_i$, maka steady state errornya tidak dapat dihilangkan. Gambar di bawah ini memperlihatkan respon sistem dengan PI Controller

Respon Sistem Tertutup Menggunakan PI Controller



Gambar 2.13 Respon Sistem Tertutup Menggunakan PI

Dari gambar di atas terlihat bahwa rise time sistem menurun atau dari grafik bisa dilihat delay lebih besar dengan overshoot yang kecil, serta steady state errornya dapat mendekati “Nol” (Siagian, 2011)

d. Proporsional-Integral-Derivative Kontroler

Tindakan Kontrol Proporsional-Plus-Integral-Plus-Derivatif. Kombinasi dari tindakan kontrol proporsional, tindakan kontrol integral, dan tindakan kontrol turunan adalah disebut tindakan kontrol proporsional-plus-integral-plus-derivatif. Masing-masing Kontroler mempunyai kelebihanannya (Ogata, 1971). Persamaan pengontrol dengan ini aksi gabungan diberikan oleh.

$$u(t) = K_p e + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Keterangan :

U(t) : Sinyal keluaran pengendali PID

K_p : Konstanta Proporsional

T_i : Waktu Integral

T_d : Waktu Turunan

K_i : Konstanta Integral

K_d : Konstanta Turunan

e(t) : sinyal error (kesalahan)

Persamaan Transfer Function :

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Contoh Coding Program

```
Kp = 350;
```

```
Ki = 300;
```

```
Kd = 50;
```

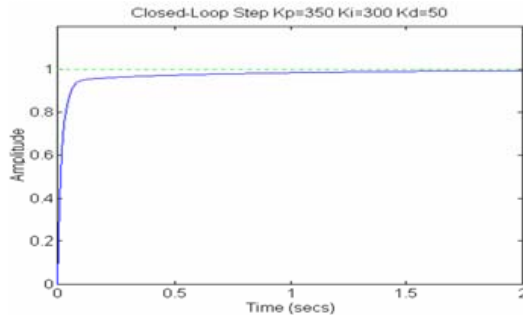
```
num = [Kp, Ki, Kd]
```

```
den = [1 10+kd 20+Kp Ki];
```

```
t = 0 : 0.01 : 2;
```

```
step(num,den)
```

```
title('Closed-Loop Step Kp=350 Ki=300 Kd=50')
```



Gambar 2.14 Respon Sistem Tertutup Menggunakan PID Controller

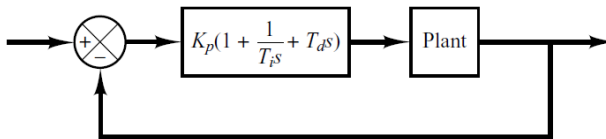
Dari gambar di atas terlihat bahwa kriteria sistem yang diinginkan sudah terpenuhi, yaitu tidak memiliki overshoot, rise time yang cepat, dan tidak memiliki steady state error. Nilai-nilai konstanta yang terdapat pada tulisan ini diperoleh dari percobaan (trial and error). Sehingga perancang yang berb da akan mendapatkan nilai yang berlainan, untuk memenuhi kriteria di atas. Hal itu terjadi karena perubahan pada salah satu konstanta akan berpengaruh pada konstanta yang lain. (Setiawan, 2008) dalam bukunya berjudul “Kontrol PID untuk Proses Industri” menyatakan bahwa beberapa tips yang dapat dipergunakan untuk mendapatkan respon yang diinginkan:

1. Dapatkan respon sistem terbuka sistem (open-loop) untuk menentukan bagian mana yang harus diperbaiki (rise time, settling time, overshoot, steady state error)
2. Tambahkan P Controller untuk memperbaiki rise time.
3. Tambahkan D Controller untuk memperbaiki overshoot.
4. Tambahkan I Controller untuk menghilangkan steady state error.
5. Kombinasikan konstanta yang ada untuk mendapatkan respon yang diinginkan.

Dalam mengimplementasikan sistem kontrol, sebenarnya tidak perlu menggunakan PID Controller. Jika sistem sudah memberikan respon yang cukup baik hanya dengan PI Controller, maka tidak perlu menambahkan D Controller ke dalamnya. Sehingga sistem menjadi lebih sederhana (kombinasi yang main banyak membuat sistem menjadi makin kompleks). Analisa pada contoh di atas, dilakukan dengan input unit step. Apabila diinginkan analisa dengan input yang berbeda, maka harus dilakukan modifikasi transfer function, Untuk menganalisa sistem dengan input impulse function, maka transfer function dikalikan dengan faktor s . Demikian juga untuk input ramp function, perlu dikalikan dengan faktor $1/s$.

2.5 Ziegler-Nichols

Dalam proses tuning Ziegler-Nichols ada aturan berlaku yang disebut *Ziegler-Nichols Tuning Rules*. Dalam menyeleksi parameter kontroler untuk menemukan performa yang diharapkan atau bisa dikenal *tuning*, Ziegler-Nichols menyarankan penentuan set value yaitu K_p , T_i , dan T_d .



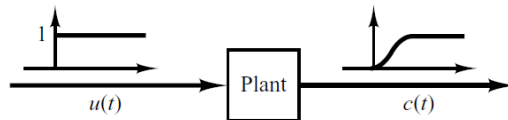
Gambar 2.15 PID Control of a plant (Ogata & Brewer, 2010)

Berdasarkan eksperimen yang ada pada buku Ogata (2010) memberikan *set value* K_p memberikan marginal stability. Tetapi faktanya dalam aturan ziegler-nichols menyarankan rumus tertentu yang mana akan memberikan desain dari sistem yang diketahui model matematikanya. Aturan seperti itu menyarankan sekumpulan nilai dan itu akan

memberikan operasi yang stabil dari sistem. Dalam penentuan aturan ziegler-nichols yaitu penentuan nilai K_p , T_i , T_d berdasar pada karakter *Transient Response* yang diberikan Plant tertentu. Pada aturan Ziegler-Nichols memperkenalkan 2 metode tuning yaitu *First Method* dan *Second Method* yang akan dijelaskan di bawah ini.

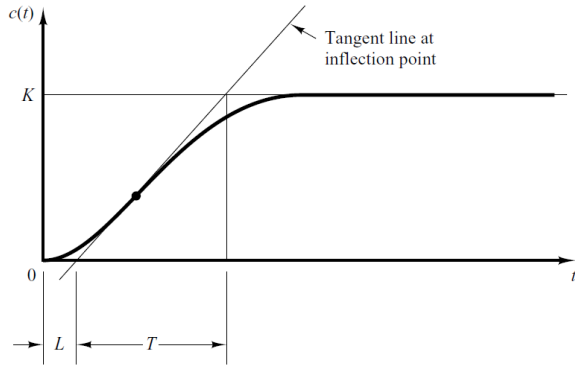
a. First Method

(Ogata & Brewer, 2010) menyatakan bahwa eksperimen dengan menanamkan *plant to unit step* pada sistem mendapatkan respon pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.16 Respon Unit Step dari Plant

Jika menambahkan Proportional tanpa Integrator dan kutub konjugasi yang kompleks maka akan dihasilkan *Shaped Curve* Metode ini berlaku jika respons terhadap suatu langkah input menunjukkan kurva berbentuk S. Kurva respons-langkah seperti itu dapat dibuat secara eksperimental atau dari simulasi (Ogata & Brewer, 2010).



Gambar 2.17 S-shaped response curve

Tabel 2.3 Ziegler–Nichols Tuning Rule Based on Step Response of Plant (First Method)

| Type of Controller | K_p | T_i | T_d |
|--------------------|-------------------|-----------------|--------|
| P | $\frac{T}{L}$ | ∞ | 0 |
| PI | $0,9 \frac{T}{L}$ | $\frac{L}{0,3}$ | 0 |
| PID | $1,2 \frac{T}{L}$ | $2L$ | $0,5L$ |

Fungsi $C(s) / U(s)$ kemudian dapat didekati oleh sistem orde pertama dengan transport lag sebagai berikut:

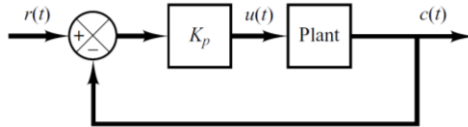
$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-Ls}}{Ts+1}$$

Ogata (2010) menyatakan bahwa metode pertama Ziegler Nichols didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 G_{cs} &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \\
 &= 1,2 \frac{T}{L} \left(+ \frac{1}{2Ls} + 0,5Ls \right) \\
 &= 0,6T \frac{\left(s + \frac{1}{L} \right)^2}{s}
 \end{aligned}$$

b. Second Method

Pada metode kedua, pertama kita mengatur dan Menggunakan tindakan kontrol proporsional saja, tingkatan K_p dari 0 ke nilai kritis K_{cr} di mana keluaran pertama menunjukkan osilasi berkelanjutan. (Jika output tidak menunjukkan osilasi berkelanjutan untuk nilai apa pun yang diambil K_p , maka metode ini tidak berlaku.) Jadi, gain kritis K_{cr} dan periode yang sesuai P_{cr} secara eksperimental (Ogata, 2010).



Gambar 2. 18 Sistem Closed loop dengan Proportional Controller

Tabel 2. 4 Ziegler–Nichols Tuning Rule Based on Critical Gain

| Tipe Kendali | K_p | T_i | T_d |
|--------------|---------------|------------------------|----------------|
| P | $0,5 K_{cr}$ | ∞ | 0 |
| PI | $0,45 K_{cr}$ | $\frac{1}{1,2} P_{cr}$ | 0 |
| PID | $0,6 K_{cr}$ | $0,5 P_{cr}$ | $0,125 P_{cr}$ |

Ogata (2010) menyatakan bahwa metode pertama Ziegler Nichols didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 G_{cs} &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \\
 &= 0,6 K_{cr} \left(1 + \frac{1}{0,5 P_{cr} s} + 0,25 P_{cr} s \right) \\
 &= 0,075 K_{cr} P_{cr} \frac{\left(s + \frac{4}{P_{cr}} \right)^2}{s}
 \end{aligned}$$

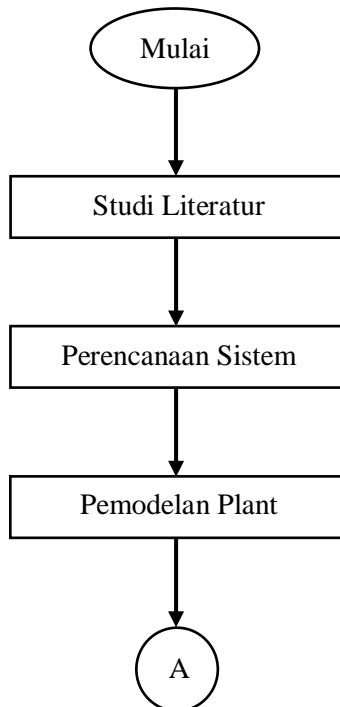
BAB 3

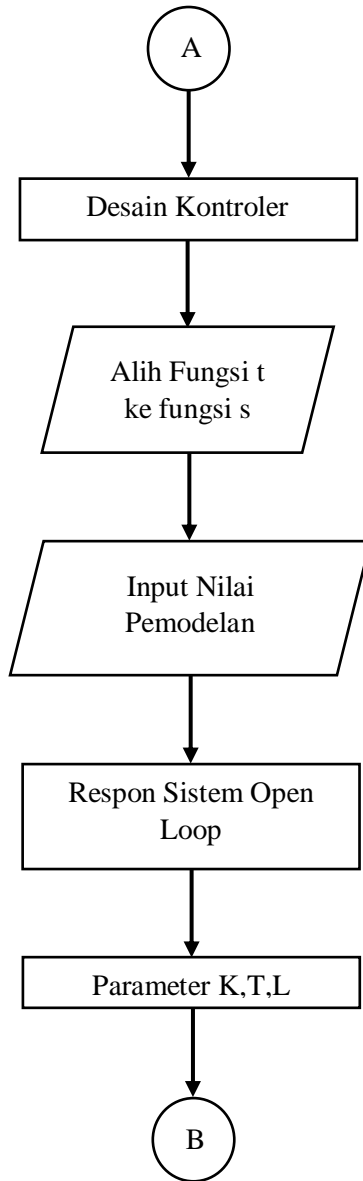
METODOLOGI

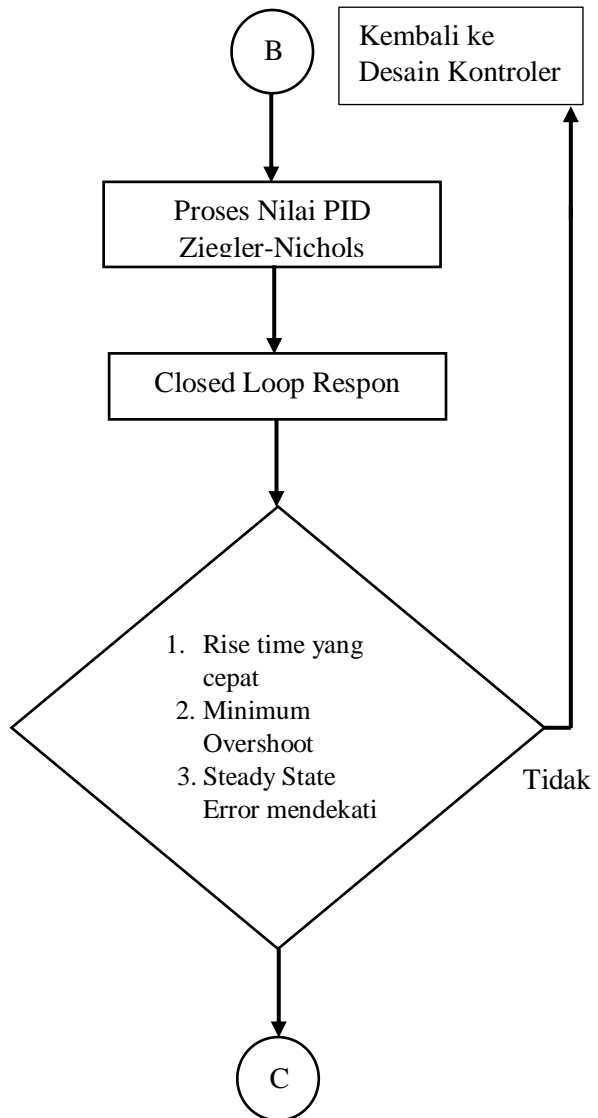
3.1 Urutan Pengerjaan

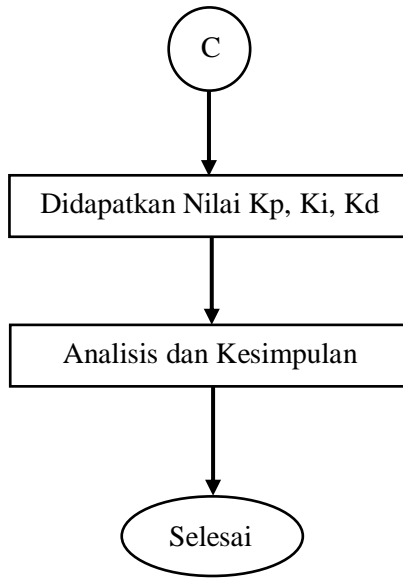
a. Flowchart

Dalam pengerjaan Proyek Akhir ini terdapat beberapa aspek yang perlu di perhatikan. Proyek Akhir ini membahas mengenai masalah pada proses Rise Time yang cepat ketika set poin diatur, Minimum Overshoot, dan Minimum Steady State Error ketika sedang dilakukan proses pengukuran sinyal respons Pemanas Air. Berikut adalah flow-chart perancangan Proyek Akhir ini, adalah sebagai berikut:



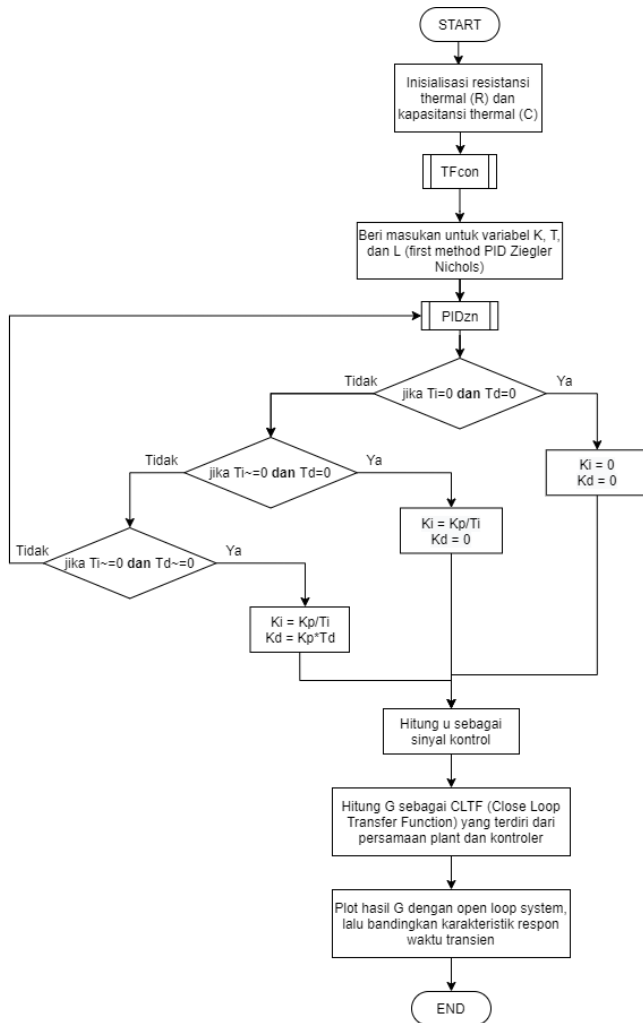






Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

b. Flowchart Simulasi Kontroler



Gambar 3.2 Flowchart Simulasi

c. Uraian Pengerjaan

1. Studi Literatur

Studi Literatur, mengumpulkan jurnal dan makalah yang berkaitan dengan Modelling dan Simulasi yang digunakan untuk pengaturan suhu guna mengendalikan suhu. Pada studi literatur ini fungsinya untuk mendapatkan data hasil banding yang akan di evaluasi dalam Proyek Akhir ini yaitu : Kepresisian atau ketelitian sensor dalam pembacaan suhu, Mempelajari seberapa cepat sistem pemanas air dalam menaikkan suhu ke steady state (set poin), Memperdalam teori *PID Controller* dan mempelajari pengaruhnya terhadap sistem.

2. Perencanaan Sistem

Perencanaan sistem mencakup output suhu yang akan dikendalikan pada pemanas air pada set poin tertentu dengan beberapa parameter yaitu :

1. Pemodelan Plant

Pada pemodelan mencakup pengukuran dimensi pemanas air yang selanjutnya dari pemodelan tersebut akan diterjemahkan ke bahasa kontroler yaitu *Laplace Transform* guna mengatur sistem sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Jadi fungsi pemodelan disini juga akan mempengaruhi dari otak instrumentasi yang ada yaitu *microcontroller* supaya memberi perintah seberapa besar energi yang diperlukan untuk memanaskan air dalam jumlah volume yang bervariasi lewat pembacaan sensor.

2. Respon yang cepat

Dari Pemodelan Diharapkan sistem dapat mempunyai *Settling time* atau pemanasan air menuju kondisi konstan yang dibutuhkan untuk pemanasan pada suhu batas maksimum dan

minimum sebesar 450 detik pada kondisi suhu lingkungan 18-23°C.

3. Minimum Overshoot

Pada saat sistem beroperasi diharapkan mempunyai overshoot maksimal 5°C dari set poin suhu yang diinginkan karena semakin besar overshoot maka error pembacaan suhu akan semakin bertambah.

4. Steady State Error mendekati Nol

Toleransi error pembacaan suhu pada alat yang akan dirancang maksimal 1°C dari set poin suhu yang telah ditetapkan. Jika semakin besar Steady State Error maka akan berpengaruh pada pembacaan ketelitian sensor yang mana untuk mengatur kondisi On/Off pada pemanas air.

3. Desain Sistem

Desain sistem yang akan di implementasikan memerlukan bahan untuk mendukung kriteria perencanaan sistem sebagai berikut:

1. Sensor DS18B20

DS18B20 adalah sensor suhu digital yang mempunyai ketelitian pembacaan $\pm 0.0625^\circ\text{C}$ yang mana akan sesuai dengan kriteria pembacaan error pada perencanaan sistem.

2. Microcontroller ESP 32

Microcontroller ESP 32 adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik yang dibekali dengan perangkat Wi-Fi dan bluetooth didalamnya guna untuk memasukkan nilai input K_p , K_i , dan K_d yang akan mengendalikan kriteria dari perencanaan sistem

3. Solid State Relay

Relay berfungsi untuk pemisah tegangan AC dan DC yang mana pada kasus ini digunakan Solid State

Relay untuk pengatur On/Off perintah dari microcontroller.

4. Power Supply Unit 5V

Mengubah tegangan 220VAC menjadi 5VDC terhadap microcontroller.

4. Metode Proses

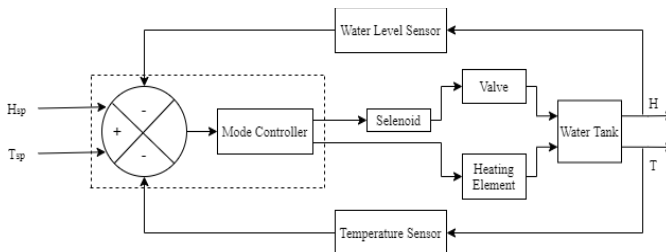
Metode dalam tuning yang dilakukan adalah Metode Pertama Ziegler Nichols yang dijelaskan pada subbab 2.6 dengan hasil pemodelan yang akan digunakan untuk pencarian nilai Proportional, Integral, dan Derivative (PID) yang nantinya akan menjadi acuan dari range nilai yang akan diuji coba dengan berbagai variasi suhu 45°C, 50°C, 55°C, 60°C dan variasi kontroler PID seperti penggunaan P, PI, PD, dan kombinasi ketiganya PID.

5. Kesimpulan

Menarik kesimpulan dari percobaan yang sudah dilakukan yaitu pengaruh pemodelan terhadap sistem dengan variasi suhu dan kontroler kemudian dibandingkan hasil dengan memuat data rise time, overshoot, settling time, dan steady state error.

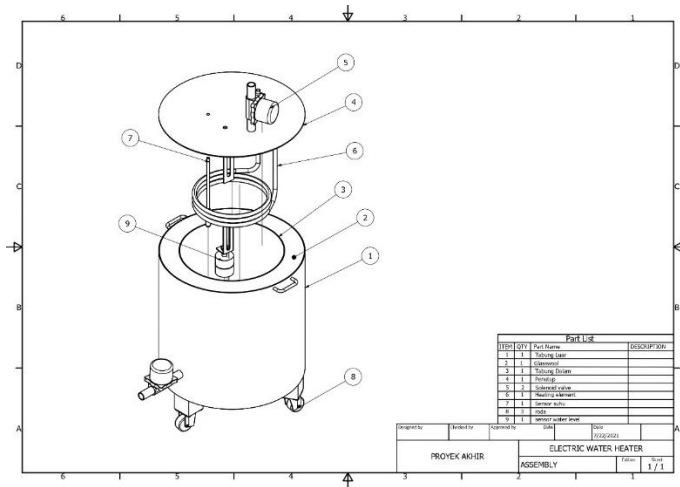
3.2 Desain Sistem

a. Blok Diagram



Gambar 3.3 Blok Diagram

b. Perencanaan *Electric Water Heater*



Gambar 3. 4 Assembly 2D dan Komponen Water Heater



Gambar 3.5 Desain Elemen Pemanas Air

3.3 Metodologi Penelitian

Berikut Metodologi yang dilakukan pada Proyek Akhir ini:

1. Permodelan Plant didasarkan pada model alih fungsi *thermal system* yang terdiri dari *resistance thermal* dan *capacitancy thermal*.
2. Penentuan Spesifikasi yang ingin dicapai yaitu *rise time* yang cepat, *minimum overshoot*, *steady state error* mendekati nol.
3. Perancangan Kontroler PID menggunakan metode pertama Ziegler-Nichols.
4. Membandingkan Respon Transient sistem ketika diberikan nilai PID menggunakan metode Ziegler-Nichols terhadap kondisi pada saat implementasi serta melakukan analisis data.
5. Kesimpulan dan Saran.

3.4 Jadwal Pengerjaan Proyek Akhir

Tabel 3. 1 Timeline Pengerjaan Proyek Akhir

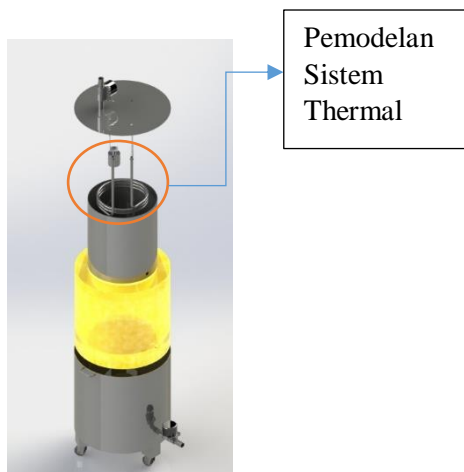
| No | Rangkaian Kegiatan | Maret | | | | April | | | | Mei | | | | Juni | | | |
|-----|------------------------------------------------|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-----|---|---|---|------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | Identifikasi masalah | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 2. | Studi literatur | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 3. | Pengumpulan data | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 4. | Penyusunan tujuan | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 5. | Pemodelan Plant | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 6. | Simulasi Kontroler | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| 7. | Analisis Hasil | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| 10. | Penyusunan, dan Penulisan Laporan Proyek Akhir | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

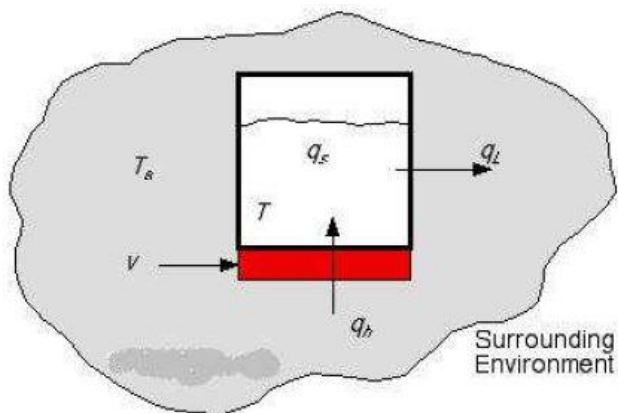
4.1 Perencanaan Sistem

Pada saat melakukan pemodelan sebelumnya kita harus mengidentifikasi karakteristik sistem kita bagaimana cara kerja dan pemodelan apa yang cocok untuk digunakan. Di dalam pemodelan sistem ini digunakan supaya pemanas air otomatis dapat memaksimalkan kinerja dalam memanaskan air yang mana akan di input kedalam pemrograman berupa nilai PID Controller yang berfungsi untuk mengatur keluaran sinyal kepada PWM yang mana akan merubah sinyal dari Digital ke analog berupa kebutuhan energi dalam kecepatan memanaskan air yang ada dalam pemanas air sesuai kriteria dan suhu yang sudah ditetapkan. Pemodelan yang digunakan yaitu Thermal System. Sistem termal adalah sistem yang melibatkan perpindahan panas dari satu zat ke lain. Sistem termal dapat dianalisis dalam hal resistansi dan kapasitansi, meskipun kapasitansi termal dan resistansi termal mungkin tidak diwakili akurat sebagai parameter yang disamakan, karena mereka biasanya didistribusikan ke seluruh zat. Untuk analisis yang tepat, model parameter terdistribusi harus digunakan. Di sini, bagaimanapun, untuk menyederhanakan analisis kita akan mengasumsikan bahwa sistem termal dapat diwakili oleh model parameter yang disamakan, yaitu zat yang dicirikan oleh ketahanan terhadap panas aliran memiliki kapasitansi panas yang dapat diabaikan, dan zat yang dicirikan oleh panas kapasitansi memiliki resistensi yang dapat diabaikan terhadap aliran panas (Ogata & Brewer, 2010).



Gambar 4.1 Laju Aliran panas

(Sumber: Dokumen Penulis)

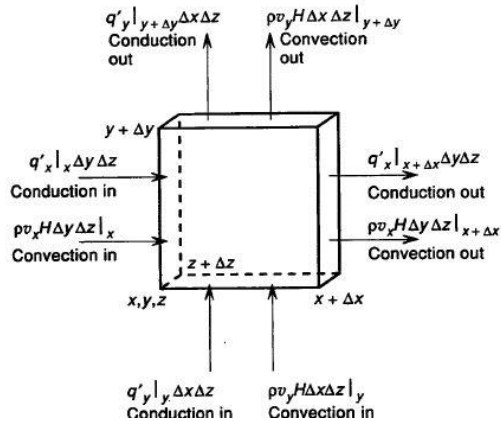


Gambar 4.2 Thermal System

(Sumber : (A. Suthar & J. Gadit, 2011))

Dimana, V = Tegangan yang diterapkan pada pemanas (masukan), T = Suhu air, (keluaran), T_a = Suhu lingkungan,

Q_h =Energi yang disuplai oleh pemanas, Q_s =Energi yang disimpan oleh cairan, Q_L =Energi yang hilang ke lingkungan sekitar oleh konduksi. Ada 3 cara yang berbeda panas dapat mengalir dari satu zat ke zat lain konduksi, konveksi, dan radiasi. Di sini kita hanya mempertimbangkan konveksi. (Perpindahan panas radiasi cukup besar hanya jika suhu emitor sangat tinggi dibandingkan dengan penerima). Pada prinsipnya energi masuk sama dengan energi yang dikeluarkan oleh karena itu dengan berbagai sumber literatur maupun konsultasi dengan dosen maka disepakati dengan konveksi sudah bisa mewakili pemodelan.



Gambar 4.3 Volume Kontrol untuk Pertimbangan Energi pada Lapisan batas Thermal

(Sumber: Buku An introduction to transport phenomena in materials engineering by (D.R.Gaskell, 1992))

Pada dasarnya q masuk sama dengan q keluar seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Selain itu Sebagian besar proses termal dalam sistem kontrol proses tidak melibatkan perpindahan panas radiasi (Ogata & Brewer, 2010). Mengacu pada buku Ogata pada subbab *Thermal System*, maka dibutuhkan 2 variabel *Heat Transfer* untuk alih fungsi *Thermal System* yaitu

kapasitansi dan tahanan thermal. Walaupun 2 variabel model tidak bisa dikatakan bulat dalam pendekatan tetapi dapat dianggap sistem thermal dapat digambarkan dengan model parameter bulat (*lumped*) bahwa bahan yang dikarakteristikan dengan kapasitansi panas mempunyai tahanan yang dapat diabaikan terhadap arus panas. Selain itu tentunya dalam pemodelan juga bisa menentukan kinerja dari komponen *Internet of Things* yang mana dari hasil nilai K_p , K_i , dan K_d akan menentukan kinerja PWM (*Pulse With Modulation*) dalam menentukan seberapa lama sinyal yang akan diberikan ke kontaktor (relay).

4.2 Pemodelan Sistem Thermal

Dalam Perhitungan sistem thermal yang mengandung koefisien konveksi disini menggunakan acuan buku dan tabel dari *Fundamental of Heat and Mass Transfer* karangan incropera et. al. yang mana dapat di definisikan sebagai berikut:

Diketahui :

Kasus Vertical Cylinder

Suhu Heating Element = $300^{\circ}\text{C} = 573 \text{ K}$ (berdasarkan data Apec Enginered Technology physical properties Stainless Steel 304 (Technologies, 2021))

Suhu Air = $45^{\circ}\text{C} = 333 \text{ K}$

Dimensi Chamber(Silinder)

Diameter Lingkaran = $27 \text{ cm} = 0.27 \text{ m}$

Tinggi = $30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m}$

Luas Permukaan Silinder= 0.3778 m^2

Tabel A6 Thermophysical Properties of saturated water

Prandtl Number = 3.926

$$\text{Expansion Coefficient} = 422.18 \times 10^{-6} \text{ K}$$

$$\text{Kinematic Viscosity} = 0.5986 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{Thermal Conductivity} = 0.6376 \frac{\text{W}}{\text{Km}^2}$$

$$\text{Ditanya : h} \quad h = \text{Nu} \frac{k}{L}$$

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{Gr} &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \\ &= 7.9578 \times 10^{10} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ra} &= \text{Gr} \times \text{Pr} \\ &= 3.124 \times 10^{11} \quad (\text{Turbulen}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nu} &= 0.1 \text{Ra}^{1/3} \\ &= 672.59 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= \text{Nu} \frac{k}{L} \\ &= 1429.479 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= hA\Delta T \\ &= 1429.479 \times 0.3778 \times (300-45) \\ &= 137714.6 \text{ W} \\ &= 32.9146 \frac{\text{kcal}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{R} &= \frac{\Delta T}{q} \\ &= 0.6988 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C &= Wc_p \\
 &= 5 \text{ kg } 1000 \frac{\text{kcal}}{\text{kgK}} && \text{untuk Kalor air } 4.185 \frac{\text{J}}{\text{gK}} \\
 &= 5000
 \end{aligned}$$

4.3 Alih Fungsi t ke Fungsi s

Dalam pemodelannya pasti perlu perubahan dari hasil yang kita hitung dalam matematika ke bahasa kontroler yaitu fungsi (s). Sudah disebutkan sebelumnya bahwasanya pemodelan yang dipakai pada proyek akhir ini mengacu pada buku *modern control engineering* dari Katsuhiko Ogata yang mana dikatakan bahwa sistem thermal adalah sistem yang melibatkan pemindahan panas dari bahan yang satu ke yang lain. Selain itu sistem thermal dapat dianalisis dengan dua pendekatan yaitu tahanan dan kapasitansi.

$$h_o = Gc\theta$$

$$C = Mc$$

$$R = \frac{\theta}{h_o} = \frac{1}{Gc}$$

Dalam prakteknya, suhu aliran zat cair masuk dapat berfluktuasi dan mungkin sangat berperan sebagai gangguan kepada sistem. Jika suhu aliran keluar ditentukan maka dapat dibuat kontroler otomatis untuk mengatur laju panas masuk untuk mengatasi fluktuasi suhu aliran zat cair masuk, maka persamaan diferensial untuk sistem ini

$$C \frac{d\theta}{dt} = Gc\theta_i - h_o \quad (4.1)$$

Persamaan diatas dapat ditetapkan jika aliran masuk zat cair tiba-tiba berubah. Sementara laju panas masuk dan laju aliran zat cair

dijaga tetap, maka laju panas keluar akan berubah dan suhu aliran zat cair keluar akan berubah. Dari persamaan 4.1 dapat diturunkan seperti dibawah ini

$$C \frac{d\theta}{dt} = Gc\theta_i - \frac{\theta}{R}$$

$$C \frac{d\theta}{dt} = \frac{Gc\theta_i - \theta}{R}$$

$$RC \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_i$$

Dari penurunan rumus diatas maka didapatkan fungsi alih (s) yang menghubungkan θ dan θ_i diberikan oleh

$$\frac{\vartheta(s)}{\vartheta_i(s)} = \frac{1}{RCs+1} \quad (4.2)$$

Dimana R sebagai resistansi thermal dan C sebagai kapasitansi thermal.

4.4 Simulasi menggunakan MATLAB

4.4.1 Plot Data Open Loop

Dalam memperoleh data open loop diawali dengan input nilai resistansi dan kapasitansi thermal pada software matrix laboratory di command window.

```

Command Window

nilai thermal resistance : 0.6988
nilai thermal capacitance : 5000

y =

    0.6988
    -----
    3494 s + 1

Continuous-time transfer function.

parameter K : 31.44
parameter T : 4220.75
parameter L : 29.25
Pilih jenis kontroler \n
1 : Proporsional
2 : Proporsional I
3 : Proporsional I D
pilihan kontroler yang digunakan : 3

x =

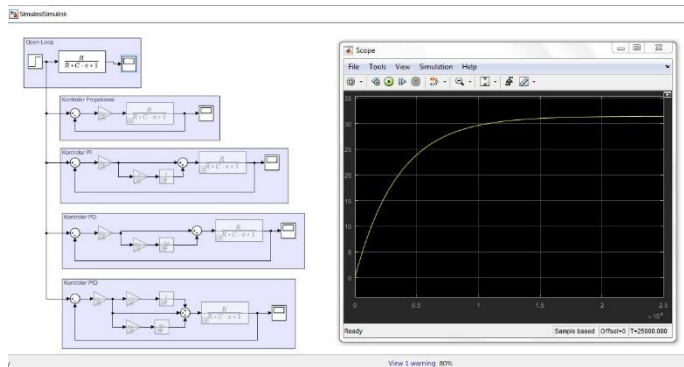
    3

Kp =

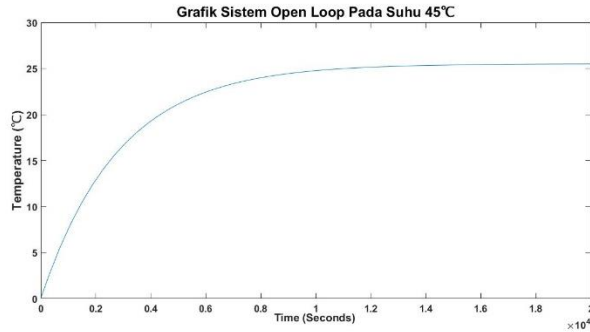
    173.1590

```

Gambar 4.4 Input Nilai Resistansi dan Kapasitansi Setelah itu dilakukan running persamaan open loop (y) pada simulink guna mendapatkan data yang akan di plot pada command window yang mana akan menghasilkan grafik open loop dan selanjutnya akan dilakukan pencarian parameter K,T,L Ziegler-Nichols.



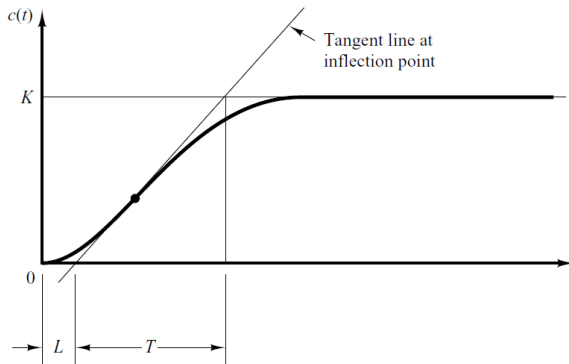
Gambar 4.5 Simulasi Open Loop



Gambar 4.6 Grafik Open Loop Hasil Plotting Data

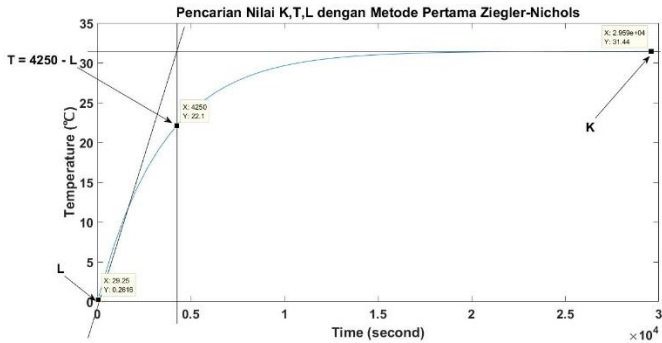
4.4.2 Nilai Parameter K,T,L Ziegler-Nichols

Pencarian nilai K,T,L mengacu pada metode pertama Ziegler-Nichols kurva S dan untuk grafiknya dari hasil running data open loop.



Gambar 4.7 Metode Pencarian Nilai K,T,L dengan Metode Pertama Ziegler-Nichols

(Sumber: Buku *Modern Control Engineering* Katsuhiko Ogata)



Gambar 4.8 Pencarian Nilai K,T,L dengan Matlab

4.4.3 Input Nilai

Pada fase ini kita menginput nilai Resistensi, kapasitansi, dan parameter KTL guna untuk mendapatkan hasil dari simulasi dengan input suhu yang ditetapkan setelah itu akan mendapatkan hasil yang akan dicocokkan dengan kriteria sistem.

4.4.4 Hasil Simulasi

Hasil dari simulasi akan didapatkan nilai *rise time*, *settling time*, *overshoot*, *peak*, dan *steady state* yang mana nilai tersebut akan ditentukan dari hasil tuning PID dan nantinya akan di implementasikan pada alat.

4.5 Simulasi dan Hasil Nilai P, PI, PID

Dalam subbab ini dibahas simulasi pada keadaanya aktual yang mana pengujian alat dilakukan di daerah Surabaya yang mana pada cuaca berawan memiliki suhu air yang masuk sebesar 30°C.

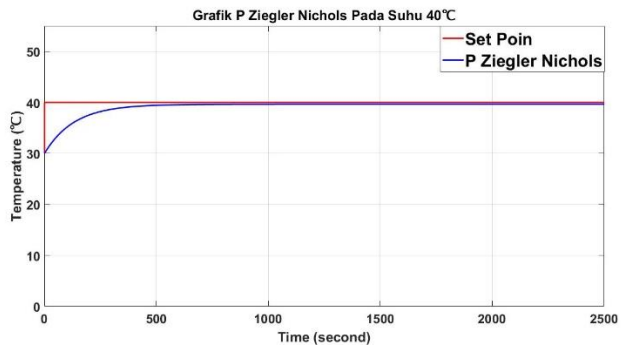
Tabel 4.1 Data Percobaan Simulasi Variasi Nilai PID

| No | Suhu (°C) | R ($\frac{^{\circ}\text{C}^2}{\text{kcal}}$) | C ($\frac{\text{kcal}}{^{\circ}\text{C}}$) | Parameter Ziegler-Nichols | | | Kp | τ_i | τ_d |
|----|--------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------|--------|-------|-----|----------|----------|
| | | | | K | T | L | | | |
| 1 | 45 | 0.6988 | 5000 | 53.16 | 5189.5 | 149.5 | 250 | 500 | 0.5 |
| 2 | 50 | 0.67448 | | 53.44 | 3747.7 | 124.3 | 300 | 800 | 0.5 |
| 3 | 55 | 0.655 | | 51.47 | 4219.5 | 151.5 | 600 | 800 | 0.5 |
| 4 | 60 | 0.639 | | 50.75 | 3941.9 | 162.1 | 800 | 800 | 0.5 |

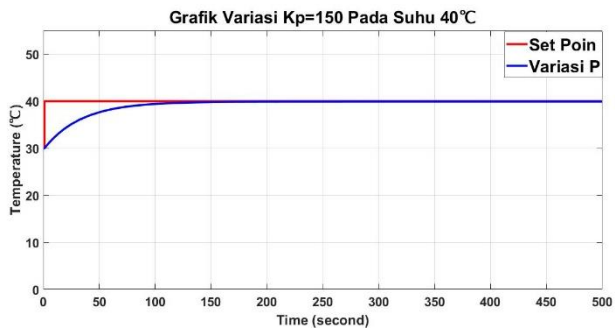
$$\begin{aligned}
 G_{cs} &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (4.3) \\
 &= 1,2 \frac{T}{L} \left(+ \frac{1}{2Ls} + 0,5Ls \right) \\
 &= 0,6T \frac{(s + \frac{1}{L})^2}{s}
 \end{aligned}$$

Pada tabel 4.3 terdapat T_i dan T_d yang selanjutnya dapat dihubungkan dengan persamaan 4.4 untuk mengetahui nilai K_p , K_i , dan K_d . Dalam simulasi ini dilakukan perbandingan hasil nilai Variasi PID terhadap nilai PID Ziegler-Nichols.

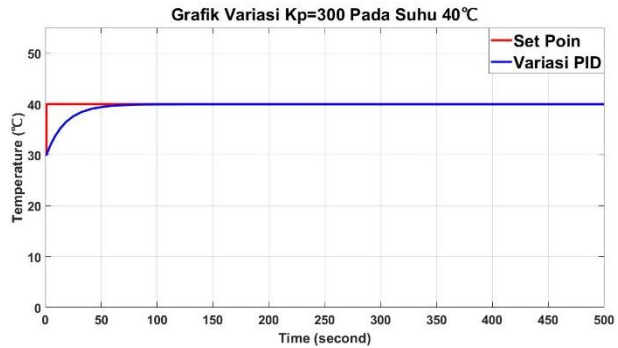
4.5.1 Simulasi Kontroler P Pada Suhu 40°C



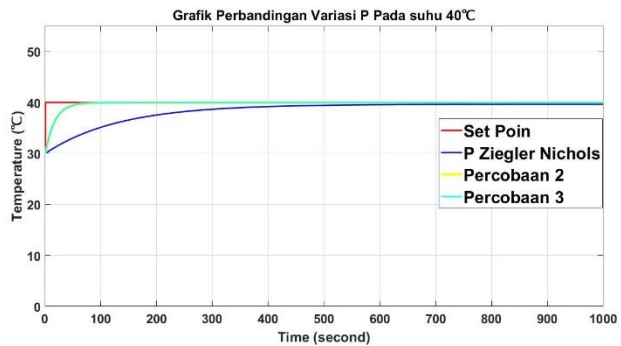
Gambar 4.9 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler P Ziegler-Nichols



Gambar 4.10 Percobaan 2 Variasi Nilai P



Gambar 4.11 Percobaan 3 Variasi Nilai P

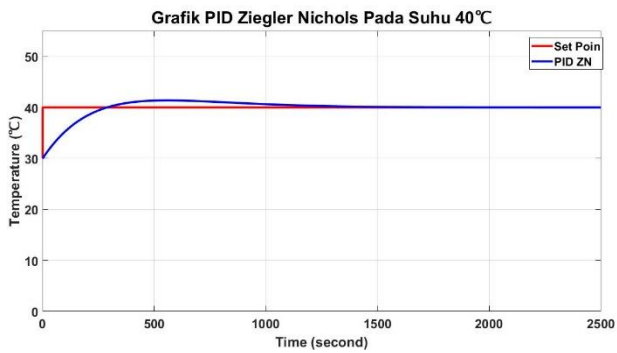


Gambar 4.12 Perbandingan Nilai P Ziegler Nichols dan Variasi P

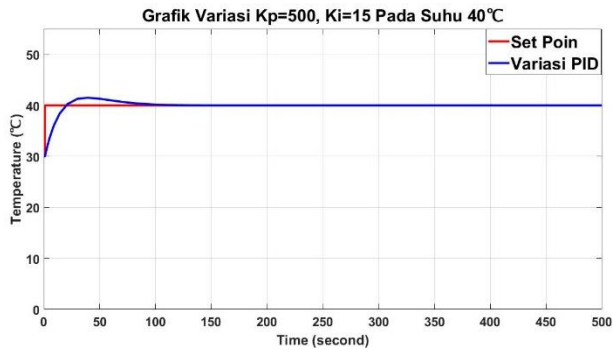
Tabel 4.2 Tabel Percobaan Kontroler P Suhu 40°C

| No | Kp | Ki | Kd | Rise Time (s) | Overshoot (%) | Settling Time |
|----|------|----|----|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 36.6 | 0 | 0 | 46.846 | 0 | 405 |
| 2 | 150 | 0 | 0 | 13.226 | 0 | 66.226 |
| 3 | 300 | 0 | 0 | 6.9 | 0 | 43.4 |

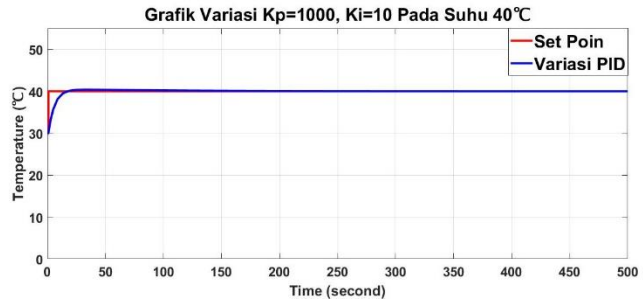
4.5.2 Simulasi Kontroler PI Pada Suhu 40°C



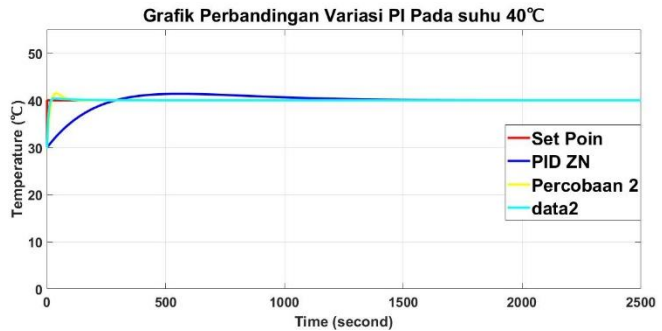
Gambar 4.13 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler PI Ziegler-Nichols



Gambar 4.14 Percobaan 2 Variasi Nilai PI



Gambar 4.15 Percobaan 3 Variasi Nilai PI

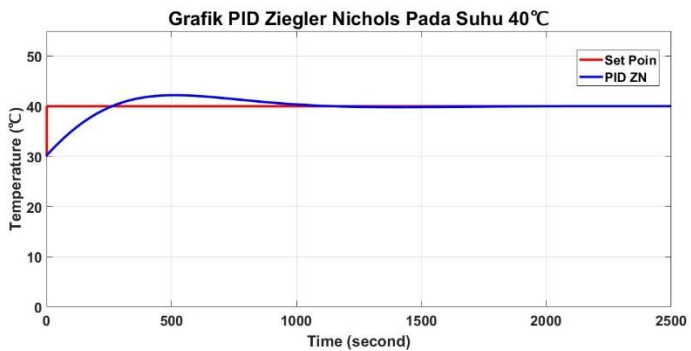


Gambar 4.16 Perbandingan Nilai PI Ziegler Nichols dan Variasi PI

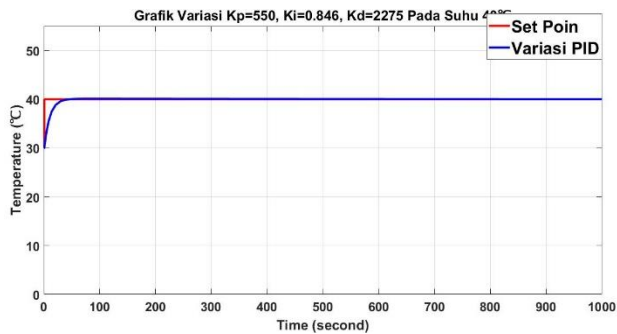
Tabel 4. 3 Tabel Percobaan Kontroler PI Suhu 40°C

| No | Kp | Ki | Kd | Rise Time (s) | Overshoot (%) | Settling Time (s) |
|----|------|-------|----|---------------|---------------|-------------------|
| 1 | 33.1 | 0.744 | 0 | 47.58 | 3.335 | 1339 |
| 2 | 500 | 15 | 0 | 3.404 | 3.614 | 94 |
| 3 | 1000 | 10 | 0 | 2 | 0.99 | 107 |

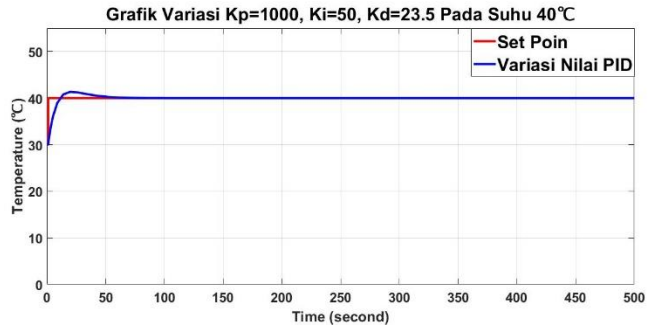
4.5.3 Simulasi Kontroler PID Pada Suhu 40°C



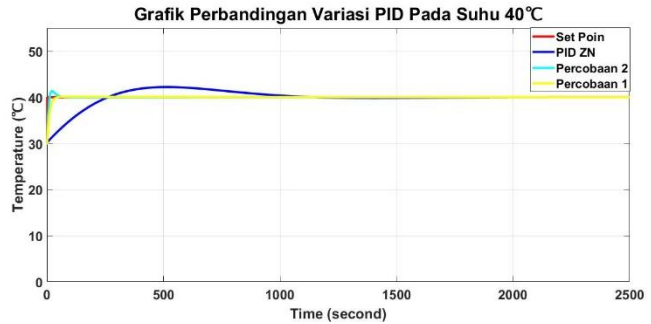
Gambar 4.17 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler PID Ziegler-Nichols



Gambar 4.18 Percobaan 2 Variasi Nilai PID



Gambar 4.19 Percobaan 3 Variasi Nilai PID

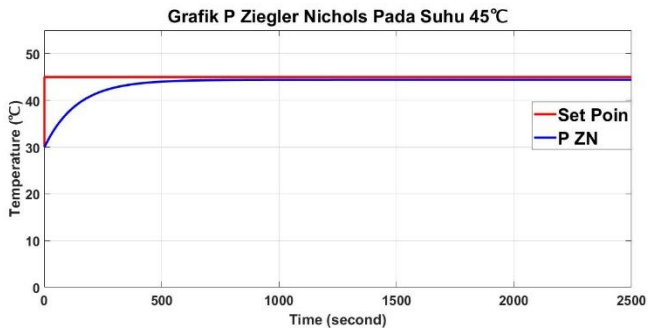


Gambar 4.20 Perbandingan Nilai PID Ziegler Nichols dan Variasi PID

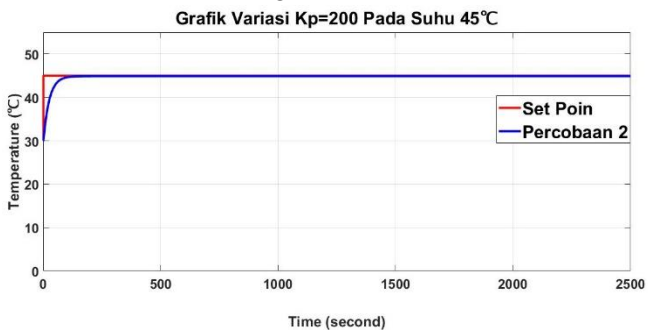
Tabel 4. 4 Tabel Percobaan Kontroler PID Suhu 40°C

| No | Kp | Ki | Kd | Rise Time (s) | Overshoot (%) | Settling Time (s) |
|----|------|-------|------|---------------|---------------|-------------------|
| 1 | 44.1 | 0.165 | 2940 | 53.537 | 5.08 | 1054 |
| 2 | 550 | 0.846 | 275 | 4.76 | 0.274 | 23 |
| 3 | 1000 | 50 | 23.5 | 2 | 3.218 | 57 |

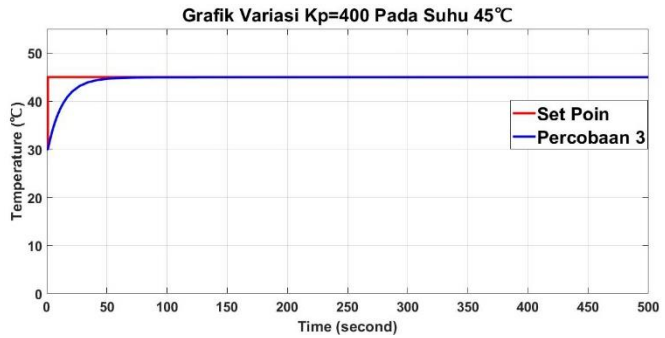
4.5.4 Simulasi Kontroler P Pada Suhu 45°C



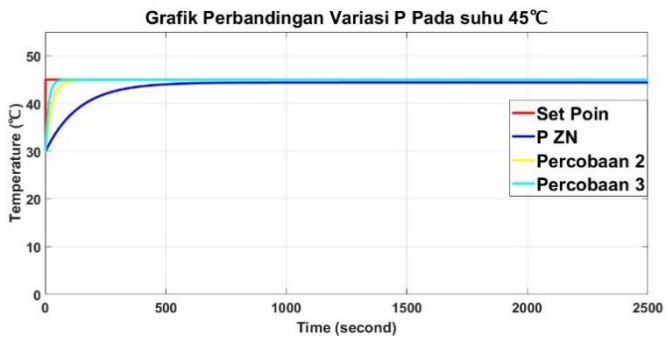
Gambar 4.21 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler P Ziegler-Nichols



Gambar 4.22 Percobaan 2 Variasi Nilai P



Gambar 4.23 Percobaan 3 Variasi Nilai P

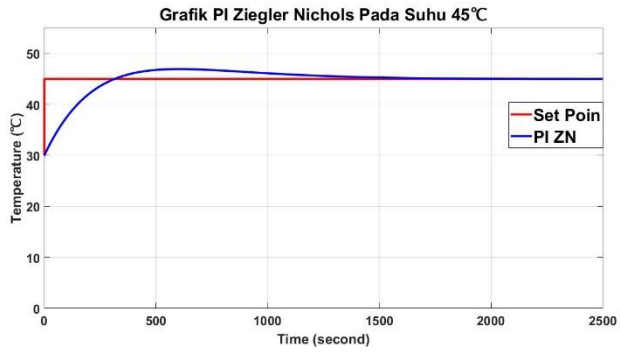


Gambar 4.24 Perbandingan Nilai P Ziegler Nichols dan Variasi P

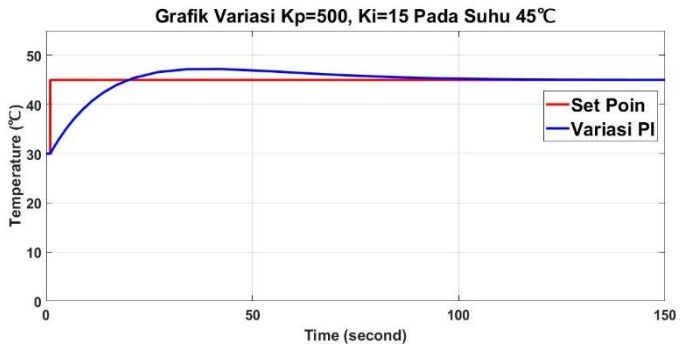
Tabel 4.5 Tabel Percobaan Kontroler P Suhu 45°C

| No | Kp | Ki | Kd | Rise Time (s) | Overshoot (%) | Settling Time (s) |
|----|------|----|----|---------------|---------------|-------------------|
| 1 | 34.7 | 0 | 0 | 303.929 | 0 | 541.188 |
| 2 | 200 | 0 | 0 | 21.5 | 0 | 59.7 |
| 3 | 400 | 0 | 0 | 10.75 | 0 | 33.867 |

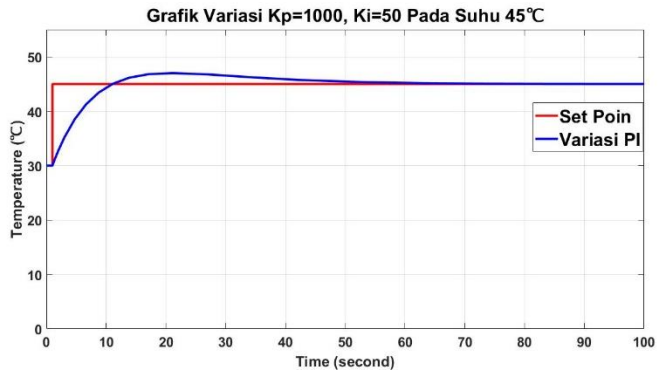
4.5.5 Simulasi Kontroler PI Pada Suhu 45°C



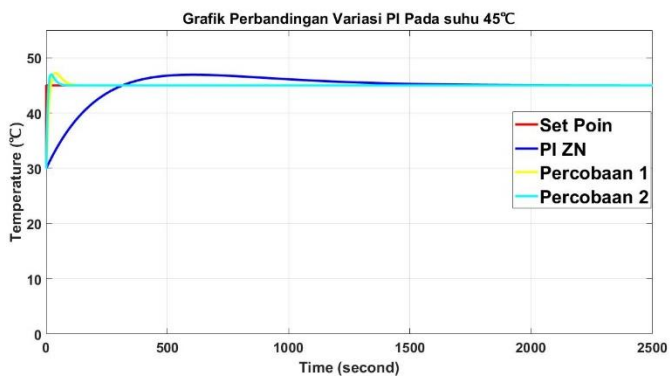
Gambar 4.25 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler PI Ziegler-Nichols



Gambar 4.26 Percobaan 2 Variasi Nilai PI



Gambar 4.27 Percobaan 3 Variasi Nilai PI

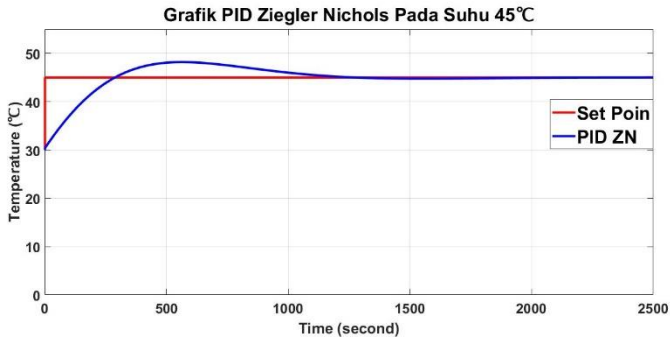


Gambar 4.28 Perbandingan Nilai PI Ziegler Nichols dan Variasi PI

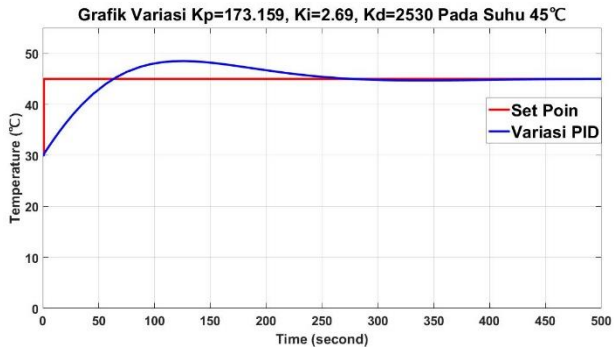
Tabel 4.6 Tabel Percobaan Kontroler PI Suhu 45°C

| No | Kp | Ki | Kd | Rise Time (s) | Overshoot (%) | Settling Time (s) |
|----|------|--------|----|---------------|---------------|-------------------|
| 1 | 31.2 | 0.0627 | 0 | 229.74 | 4.11 | 1465 |
| 2 | 500 | 15 | 0 | 12.5 | 4.68 | 89.093 |
| 3 | 1000 | 50 | 0 | 3.749 | 4.438 | 40.569 |

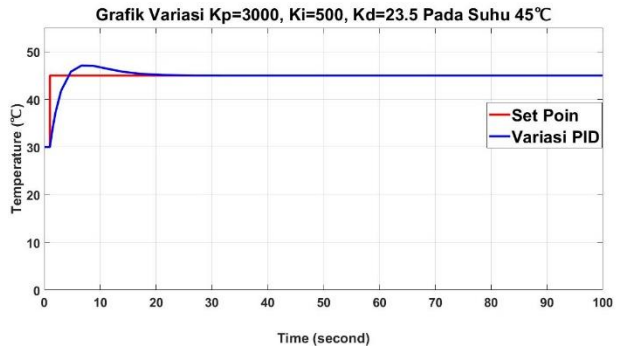
4.5.6 Simulasi Kontroler PID Pada Suhu 45°C



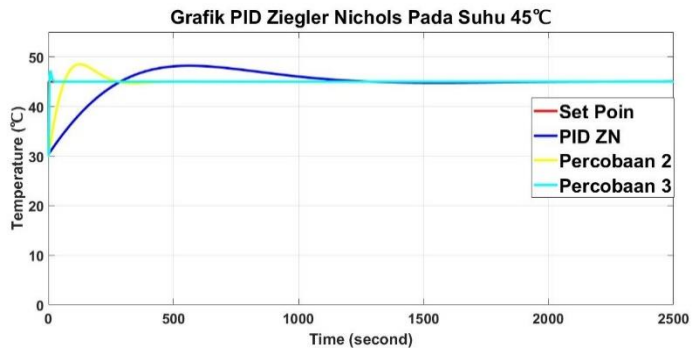
Gambar 4.29 Percobaan 1 Menggunakan Kontroler PI Ziegler-Nichols



Gambar 4.30 Percobaan 2 Variasi Nilai PID



Gambar 4.31 Percobaan 3 Variasi Nilai PID



Gambar 4.32 Perbandingan Nilai PID Ziegler Nichols dan Variasi PID

Tabel 4.7 Tabel Percobaan Kontroler PID Suhu 45°C

| No | Kp | Ki | Kd | Rise Time (s) | Overshoot (%) | Settling Time (s) |
|----|---------|-------|------|---------------|---------------|-------------------|
| 1 | 41.7 | 0.139 | 3110 | 106.5 | 6.39 | 1166 |
| 2 | 173.159 | 2.69 | 2530 | 46.017 | 7.21 | 354.8 |
| 3 | 3000 | 500 | 23.5 | 1.2 | 4.42 | 19.8 |

Controller terhadap sistem pemanas. Selain itu ada daya yang dihasilkan dari rumus persamaan kalor dan daya adalah sebagai berikut:

$$Q = m C_p \Delta T \quad (4.5)$$

$$P = \frac{W}{t} \quad (4.6)$$

Dimana m adalah massa dari fluida (kg), C_p kalo spesifik dari air (J/kgK), ΔT perbedaan suhu (K), W energi listrik (J), t waktu (s). Berikut hasil perhitungan:

Diketahui :

$$m_{air} = 5 \text{ kg}$$

$$C_p = 4185 \text{ J/kgK}$$

$$\begin{aligned} \Delta T &= 45^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 15^\circ\text{C} \\ &= 288 \text{ K} - 273 \text{ K} = 15 \text{ K} \end{aligned}$$

Ditanya : Q

Jawab :

$$\begin{aligned} Q &= 5 \text{ kg} \times 4185 \text{ J/kgK} \times 15 \text{ K} \\ &= 313875 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dengan dihubungkan ke persamaan daya maka kalor atau energi dari pemanas air yaitu 313875 Joule:

$$P = \frac{W}{t}$$

$$= \frac{313875 \text{ J}}{2400 \text{ s}}$$

$$= 130.78 \text{ watt}$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan daya pada percobaan ke 1 yaitu 130.78 watt. Berikut hasil percobaan nilai PID pada sistem pemanas .

Tabel 4.8 Hasil Variasi Nilai PID dan Lama Waktu Pemanasan

| Percobaan | Kp | Ki | Kd | Durasi (menit) | PWM (%) | Daya (watt) |
|-----------|---------|------|------|----------------|---------|-------------|
| 1 | 173.159 | 2.69 | 2530 | 40 | 40 | 130.78 |
| 2 | 500 | 15 | 0 | 20 | 100 | 261.56 |
| 3 | 1000 | 50 | 23.5 | 16 | 100 | 326.96 |
| 4 | 2000 | 150 | 23.5 | 14 | 100 | 373.66 |
| 5 | 3000 | 500 | 23.5 | 14 | 100 | 373.66 |



Gambar 4.34 Pengujian Sistem Kendali PID pada Pemanas Air Otomatis

Selama percobaan peneliti menemukan adanya pengaruh nilai PID terhadap kinerja PWM (*Pulse With Modulation*) yang mempengaruhi lama waktu pemanasan. Pada percobaan

ke 3 dan ke 4 kinerja PWM sama yaitu 100%, tetapi perbedaannya terletak pada nilai K_p dan K_i yang menunjukkan bahwa pengaruh nilai P_i terhadap kecepatan pemanasan. Pada percobaan ke 3 membutuhkan waktu 3 menit untuk menuju kinerja PWM 100%, sementara pada percobaan ke 4 hanya membutuhkan waktu 1 menit untuk kinerja PWM menuju 100%. Tetapi perlu diingat bahwasanya merujuk pada Tabel 2.2 pada subbab *PID Controller* bab 2 yang membahas tentang respon nilai K_p, K_i, K_d terhadap konstanta yaitu nilai K_i yang sangat mempengaruhi cepat atau tidaknya kinerja PWM. Dapat dilihat pada percobaan ke 3 dan ke 4 nilai K_i yang begitu berbeda bahkan sepertiganya.

Selain itu pada kenyataannya simulasi yang diharapkan juga belum menunjukkan kinerja yang baik walaupun sistem dari pemanas air otomatis sudah menunjukkan kinerja yang baik. Hal ini dikarenakan kemungkinan pendekatan dalam pemodelan yang dilakukan belum sempurna seperti yang dikutip dalam buku *modern control engineering* karangan Katsuhiko Ogata bahwa dalam sistem thermal yang digunakan untuk pemodelan kali ini mengandung tahanan dan kapasitansi thermal dianggap dapat terdistribusi di seluruh bagian tetapi dalam bukunya dikatakan bahwa untuk menyederhanakan dapat dianggap sistem termal dapat digambarkan dengan model parameter bulat, selain itu bahan yang dikarakteristikan dengan kapasitansi panas mempunyai tahanan yang dapat diabaikan terhadap arus.

4.6.3 Laju Aliran Massa

Berdasarkan data dari heating element terdapat daya maksimal 375 watt. Oleh karena itu dapat dihitung laju aliran massa maksimal yang dapat di handle oleh pemanas. Pada penelitian dari (Ir. I Dewa Gede Putra Swastika, 2017) maka besarnya laju alir massa fluida yang masuk dan keluar system adalah tetap (steady flow) dan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\dot{m} = \rho v A \quad (4.7)$$

ρ = massa jenis air pada temperatur (T_a)
 V = Luas pipa saluran masuk fluida
 A = Kecepatan Aliran fluida pada pipa saluran masuk (m/s)

Pada kasus ini yaitu menghitung laju aliran massa maksimal yang bisa di handle oleh 375 watt.

$$q_{in} = 375 \text{ watt} = 375 \text{ J/s}$$

$C_p \text{ air} = 4185 \text{ J/kgK}$ Pada Tabel Tabel A-19 Properties of Selected Solids and Liquids: cp, r, and k Termodinamika (Moran, 2014)

Untuk suhu dilakukan pemanasan menuju set point temperature 45°C dari ambient temperature 30°C maka:

$$\begin{aligned} \Delta T &= 45^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 15^\circ\text{C} && \text{atau} \\ &= 288 \text{ K} - 273 \text{ K} = 15 \text{ K} \end{aligned}$$

Ditanya : \dot{m} ?

Jawab :

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{q_{in}}{C_p \Delta T} \\ &= \frac{375 \text{ J/s}}{4185 \text{ J/kgK} (288\text{K} - 273\text{K})} \\ &= 0.005974 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Maka Laju aliran massa fluida maksimal yang bisa diatasi oleh 375 watt adalah 0.005974 kg/s

4.6.4 Pengujian Sensor Suhu terhadap Suhu Aktual

Dalam Penelitian ini dilakukan percobaan kepresisian sensor suhu terhadap suhu sebenarnya pada air. Dengan melakukan percobaan 10 kali sebagai sampel. Datanya sebagai berikut.

Tabel 4.9 Pengujian Ketelitian Sensor Suhu terhadap Suhu Aktual

| No | Suhu Pada Sensor (°C) | Suhu Aktual (°C) | Selisih (°C) |
|----|-----------------------|------------------|--------------|
| 1 | 32 | 32.3 | 0.3 |
| 2 | 36 | 36.3 | 0.3 |
| 3 | 40 | 40.8 | 0.8 |
| 4 | 44 | 44.5 | 0.5 |
| 5 | 48 | 48 | 0 |
| 6 | 52 | 52.5 | 0.5 |
| 7 | 56 | 55.6 | -0.4 |
| 8 | 60 | 59.6 | -0.4 |
| 9 | 64 | 63.4 | -0.6 |
| 10 | 68 | 67.4 | -0.6 |

Pada percobaan ini peneliti menggunakan sensor ds18b20. Berdasarkan datasheet dari sensor suhu ds18b20 yang didapatkan dari (DallaDS18B20 Temperature Sensors Semiconductor Datasheet, 2002) dan (Shan, 2017) dituliskan bahwa ketelitian sensor suhu ds18b20 yaitu $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Pada kenyataannya berbeda, dapat dilihat pada data diatas bahwa pada percobaan yang dilakukan sensor suhu ds18b20 memiliki ketelitian $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Hal ini bisa disebabkan oleh tingkat kepresisian alat pengukur suhu, *human error*, maupun gangguan dari lingkungan luar dari pemanas air.

4.6.5 Water Level Sensor

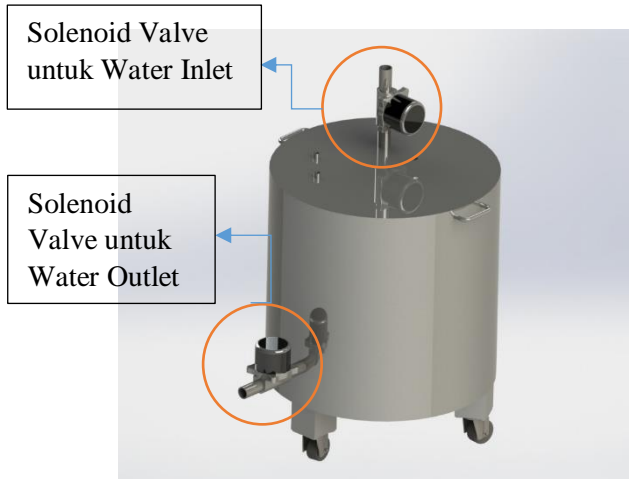
Prinsip kerja dari water level sensor yaitu dengan menggunakan Switch On dan OFF yang dikontrol oleh pelampung. Bila pelampung berada diposisi bawah, maka Switch ON dan sebaliknya, jika pelampung berada diposisi atas maka Switch OFF.

Tabel 4. 10 Data Pengujian Water Level Sensor

| No | Set Point > 9.6 cm | Output Sensor Water Level (Volt) | Keterangan |
|----|--------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 1. | 4 cm | 3.299 | Solenoid Valve aktif |
| 2. | 6 cm | 3.299 | Solenoid Valve aktif |
| 3. | 8 cm | 3.299 | Solenoid Valve aktif |
| 4. | 9.6 cm | 0.016 | Solenoid Valve tidak aktif |

Jika volume air kurang dari set point yang telah ditentukan, maka solenoid water valve akan aktif dan membuka katup agar air masuk kedalam tabung Electric Water Heater.

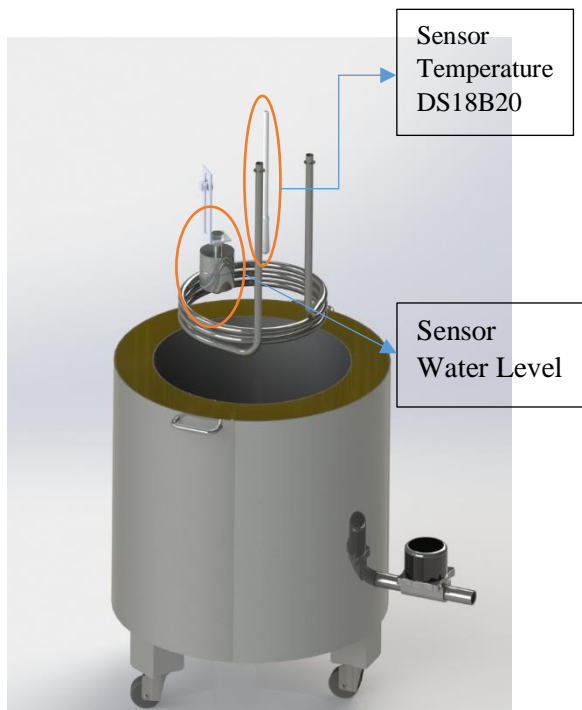
4.7 Cara Kerja Pemanas Air Listrik Otomatis



Gambar 4.35 Fungsi Solenoid Valve



Gambar 4.36 Breakdown Part of Water Heater Heater Electric



Gambar 4.37 Bagian Sensor Suhu dan level air



```

Heater_300W | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help
Heater_300W
double nowTemp, out, setTempVal, Kp = 3000, Ki = 500, Kd = 0, psmChrTVal;
PID myPID(nowTemp, &out, &setTempVal, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
OneWire oneWire(tempPin);
DallasTemperature tempSensor(oneWire);

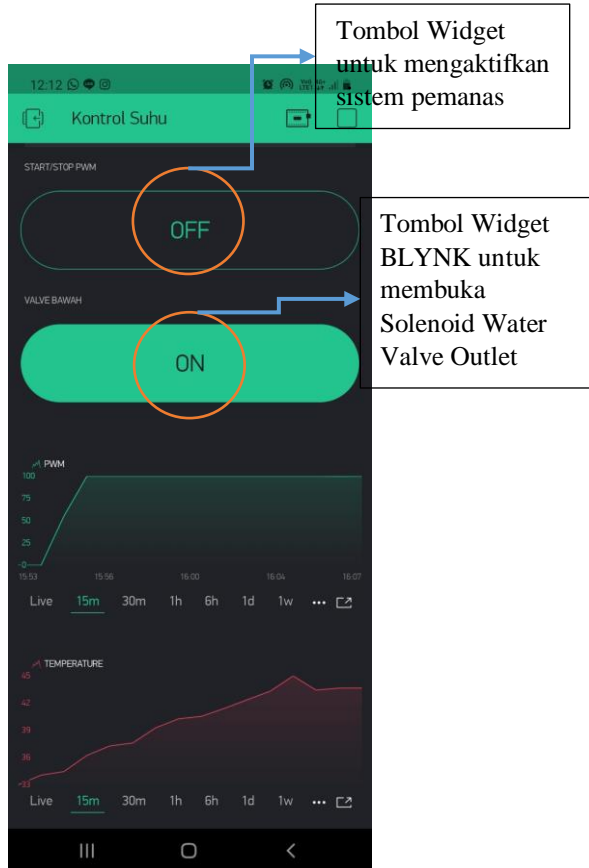
BLYNK_WRITE(V_setTempPin) {
  setTempVal = param.asInt(); // assigning incoming value from pin V1 to a variable
  // You can also use:
  // String i = param.asStr();
  // double d = param.asDouble();
}
BLYNK_WRITE(V_buttonSetValPin) //active high
  btnSetVal = param.asInt(); // assigning incoming value from pin V1 to a variable
}
BLYNK_WRITE(V_valveButton) //active high
  valveHawahVal = param.asInt(); // assigning incoming value from pin V1 to a variable
}

void readData() {
  nowTemp = getValue();

  waterPinVal = digitalRead(waterPin);
  if (waterPinVal) {
    valveAtasVal = 1;
  }
}

```

Gambar 4.38 Masukan nilai kendali PID Controller pada software arduino hasil pemodelan untuk performa sistem pemanas air



Gambar 4.39 Aplikasi BLYNK pada Smartphone berfungsi sebagai IOT

Cara kerja dari water heaternya yaitu full otomatisasi menggunakan prinsip *Internet of Things* yang mana bisa dikendalikan dari jarak jauh asalkan ada sinyal internet yang menghubungkan dengan menggunakan software BLYNK dengan kendali PID dari air yang masuk dianggap dari tandon air dikendalikan oleh water level sensor yang mana sudah diukur sesuai dimensi dengan ketinggian 9.6 cm untuk kapasitas volume 5 liter air, dimana jika pada ketinggian 9.6 cm solenoid valve water inlet akan tertutup. Kemudian program

otomatisasi di upload pada sistem pemanas. Setelah itu mengaktifkan sistem pemanas dengan widget yang ada pada software BLYNK, kemudian heater menyala.

Pada saat nyala cepat atau tidaknya pemanasan air pada otomatisasi dipengaruhi oleh masukan nilai *PID Controller* yang mana sebagai kontrol atau juga bisa sebagai pemberi perintah masukan pintar seberapa cepat untuk memanaskan air di dalam silinder. Jadi pada 375 watt tanpa controller pada uji coba pemanasan air volume 5 liter selama 1 jam maka jika dengan PID controller bisa untuk mempercepat sistem karena pada otomatisasi ini bisa meminimalisir gangguan yang ada seperti pengaruh lingkungan luar. Setelah suhu air mencapai set poin maka heater akan mati, untuk hidup lagi setelah turun 3 derajat celcius dari set poin. Misalkan set poin suhu 45°C maka sistem pemanas akan aktif kembali pada suhu 42°C. Ini untuk mencegah pemborosan listrik dalam pemanasan. pada saat pemilik ingin menggunakan air pada water heater yang hangat maka pencet tombol widget pada BLYNK untuk membuka solenoid water valve outlet guna mengeluarkan air yang sudah dipanaskan. Jika ingin menutup solenoid valve outlet maka tinggal memencet kembali tombol widget pada

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berbagai percobaan telah dilakukan yang mana selanjutnya adalah pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil dan analisis dari data percobaan dan simulasi yaitu sebagai berikut:

1. Pada simulasi kriteria sistem bekerja dengan baik, tetapi pada kenyataannya hasil nilai PID dari pemodelan sistem thermal masih dirasa kurang dalam melakukan pendekatannya.
2. Dapat diperoleh simulator untuk simulasi pada MATLAB yaitu dengan coding dan simulink yang sudah terlampir pada lampiran 5.
3. Pada nilai PID yang menggunakan metode pertama Ziegler-Nichols yaitu $K_p = 173.159$, $K_i = 2.69$, $K_d = 2530$ didapatkan waktu pemanasan selama 40 menit. Sementara lama pemanasan air yang diinginkan selama 10-15 menit untuk percobaan ini.
4. Pada percobaan didapatkan nilai PID terbaik yaitu $K_p = 3000$, $K_i = 500$, $K_d = 23.5$ yang mana pada pemanasan air dari *ambient temperature* $30^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}$ hanya membutuhkan waktu selama 14 menit dengan kapasitas air dalam tanki 5 liter.
5. Dapat diketahui bahwa laju aliran massa fluida maksimal yang dapat diatasi oleh pemanas air 375 watt yaitu sebesar 0.005974 kg/s . Selain itu pada performa waktu terbaik dapat dihasilkan daya sebesar 373.66 watt.

5.2 Saran

Dalam percobaan ini ada berbagai saran yang diajukan oleh penulis yaitu sebagai berikut:

1. Dalam melakukan simulasi menggunakan MATLAB penulis hanya melakukan pendekatan dengan pemodelan sistem thermal yang ada pada buku *modern control engineering*, jika ingin lebih banyak melakukan pendekatan model disarankan menambahkan simulasi dengan tegangan yang dikeluarkan oleh microcontroller esp32 dan dilakukan simulasi hubungan tegangan keluaran (volt) dan arus (ampere) yang diatur oleh PWM dengan modulasinya yaitu cara kerja dalam simulasi seberapa besar modulasi yang dikeluarkan oleh sistem pemodelan dan hasil dari nilai PIDnya.
2. Dalam pencarian metode tuning atau metode pencarian nilai PID disarankan menambahkan Control Systems Analysis and Design by the Root-Locus Method agar lebih banyak dalam melakukan pendekatan simulasi supaya nilai PID yang dihasilkan lebih presisi terhadap aktual.
3. Dalam penelitian proyek akhir ini menyarankan untuk dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan kapasitas tanki air 10 liter dan 15 liter supaya di kemudian hari pemanas air otomatis dengan sentuhan *Internet of Things* dapat dipasarkan dan dapat bermanfaat bagi masyarakat terutama yang tinggal pada suhu yang dingin pada dataran tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Suthar, H., & J. Gadit, J. (2011). Modelling and Analysis of the Simple Water Heater System. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 1(1), 49–52. <https://doi.org/10.11591/ijece.v1i1.59>
- Bathing, P. C. I. (2021). *What is the ideal bath temperature?* <https://www.premiercareinbathing.co.uk/blog/walk-in-bath/what-ideal-bath-temperature/>
- BMKG. (2021). *Prakiraan Cuaca Batu*. <https://www.bmkg.go.id/cuaca/prakiraan-cuaca.bmkg?Kota=Batu&AreaID=501274&Prov=12>
- D.R.Gaskell. (1992). *An Introduction to Transport Phenomena in Materials Engineering*.
- DallaDS18B20 Temperature Sensors Semiconductor Datasheet. (2002). DS18B20 Temperature Sensor. *Dallas Semiconductor Datasheets*, 1–27. <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- For, B. S., & Elderly, T. H. E. (2004). *Safe Bathing Temperatures Bruce Fathers on*. 53, 4.
- Hondianto, T., Susanto, E., & Wibowo, A. S. (2016). Model driven PID controller in water heater system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(4), 1673–1680. <https://doi.org/10.11591/ijece.v6i4.9652>
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. L. (2015). Fundamentals Of Heat and Mass Transfer. In *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* (7 Edition, Vol. 53, Issue 9). John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030-5774, (201) 748-6011, fax (201) 748-6008. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/2>

45180.pdf%0Ahttps://hdl.handle.net/20.500.12380/245180
%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003%0Aht
tps://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001%0Ahttp://dx.doi.org/1
0.1016/j.precamres.2014.12

Ir. I Dewa Gede Putra Swastika, M. E. (2017). *STUDI UNJUK KERJA MESIN PENGERING MULTI MATERIAL UNTUK PENGERINGAN KEDELAI DENGAN BED BERPUTAR.*

Moran, M. J. (2014). Book Review: Fundamentals of Engineering Thermodynamics. In *International Journal of Mechanical Engineering Education* (Vol. 29, Issue 1). <https://doi.org/10.7227/ijmee.29.1.2>

Ogata, K., & Brewer, J. W. (2010). Modern Control Engineering. In *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* (Vol. 93, Issue 1). <https://doi.org/10.1115/1.3426465>

Sampurno, B., Abdurrahman, A., & Had, H. S. (2016). *Sistem Kendali PID pada Pengendalian Suhu untuk Kestabilan Proses Pemanasan Minuman Sari Jagung.* 242. <https://doi.org/10.5614/sniko.2015.34>

Shan, H. (2017). DS18B20 Waterproof Temperature Sensor Cable. *Terraelectronica.Ru*, 0–2. https://www.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf_file=%2Fz%2FDatasheet%2F1%2F1420644897.pdf

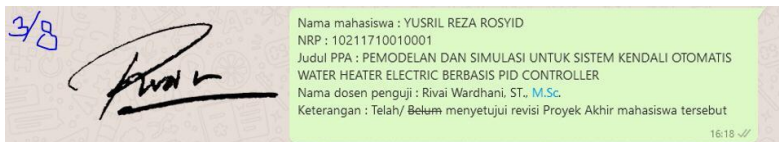
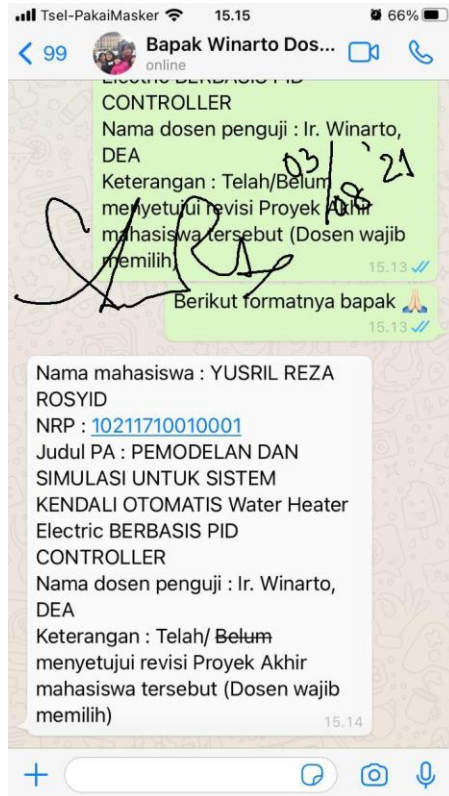
Shigemasa, T., & Yukitomo, M. (2001). *Model-Driven PID Control System, its properties and multivariable application.*

Siagian, P., & Pendahuluan, I. (2011). *ST, M.Eng.* 6(1), 51–60.

Technologies, A. E. (2021). *Flex Heater Element.* <https://www.epectec.com/flexible-heaters/flex-heater-elements.html>

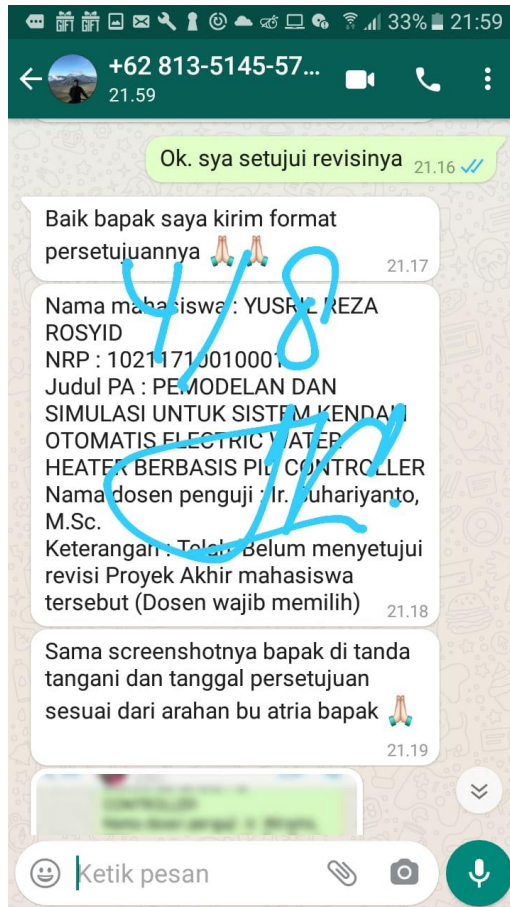
Lampiran 1

Persetujuan Dosen Penguji



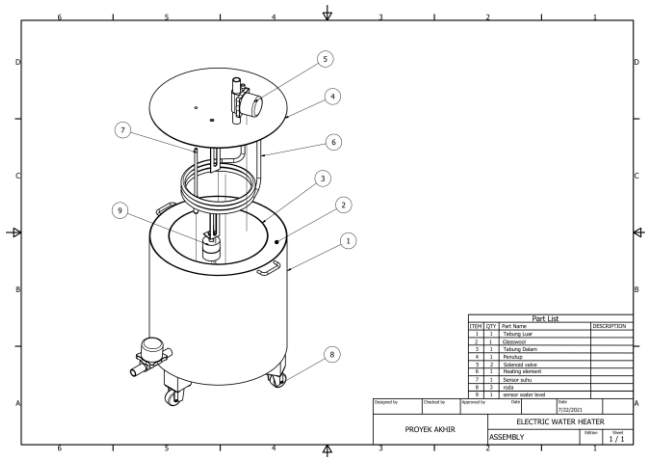
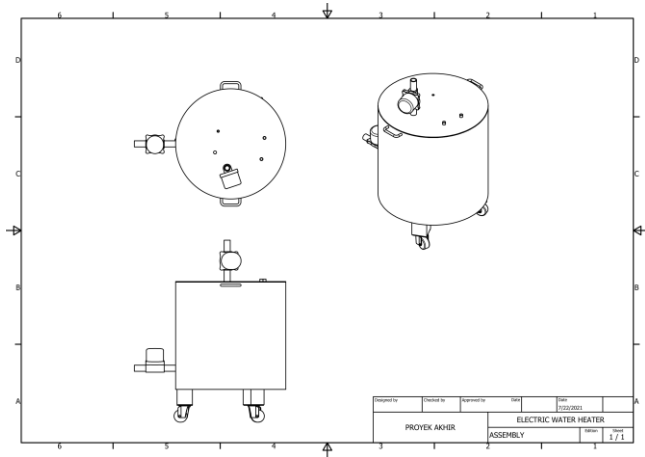
Lampiran 2

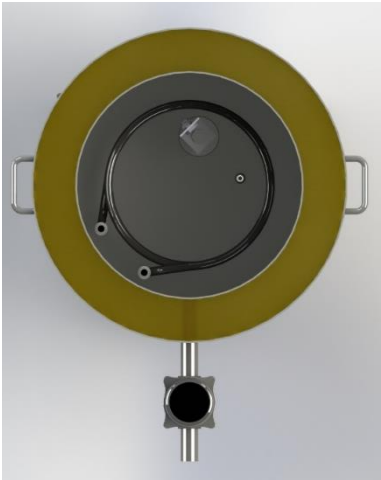
Persetujuan Dosen Penguji



Lampiran 3

Desain Electric Water Heater





Lampiran 4

Main Code Pemanas Air Otomatis

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include <PID_v1.h>

#define BLYNK_PRINT Serial

#define V_TempPin V0
#define V_valveButton V1
#define V_setTempPin V2
#define V_chrtPWMPin V3
#define V_chrtTempPin V4
#define V_buttonSetValPin V5

#define tempPin 13
#define ssrPin 26
#define waterPin 2
#define pwmChrtPin 25
```

```
#define valveAtasPin 14
```

```
#define valveBawahPin 27
```

```
#define pwmChannel 0
```

```
#define res 16
```

```
#define baseFreq 1
```

```
#define hysters 3
```

```
#define period 500
```

```
char buffer1[100];
```

```
//char auth[] = "OzqqKnXHMbQCAOXJJyVS7g-0kmhNDT3V";
```

```
char auth[] = "qOsS09EEeLZSyVrya5GN5c_xy89ts03F";
```

```
char ssid[] = "Galaxy A51";
```

```
char pass[] = "modaldong";
```

```
bool btnSetVal,
```

```
    logic,
```

```
    lastLogic,
```

```
    valveAtasVal,
```

```
    valveBawahVal,
```

```
waterPinVal;

int timeNow;

double nowTemp, out, setTempVal, Kp = 3000, Ki = 500, Kd =
0, pwmChrtVal;

PID myPID(&nowTemp, &out, &setTempVal, Kp, Ki, Kd,
DIRECT);

OneWire oneWire(tempPin);

DallasTemperature tempSensor(&oneWire);

BLYNK_WRITE(V_setTempPin) {
    setTempVal = param.asInt(); // assigning incoming value from
pin V1 to a variable
    // You can also use:
    // String i = param.asStr();
    // double d = param.asDouble();
}

BLYNK_WRITE(V_buttonSetValPin) { //active high
```

```
    btnSetVal = param.asInt(); // assigning incoming value from pin  
    V1 to a variable
```

```
}
```

```
BLYNK_WRITE(V_valveButton) { //active high
```

```
    valveBawahVal = param.asInt(); // assigning incoming value  
    from pin V1 to a variable
```

```
}
```

```
void readData() {
```

```
    nowTemp = getValue();
```

```
    waterPinVal = digitalRead(waterPin);
```

```
    if (waterPinVal) {
```

```
        valveAtasVal = 1;
```

```
    } else {
```

```
        valveAtasVal = 0;
```

```
}
```

```
    //pwmChrtVal = digitalRead(pwmChrtPin);
```

```
}
```

```
int qw;

void writeData() {
    qw = int(nowTemp);
    sprintf(buffer1, "%d °C", qw);

    if (millis() >= timeNow + period) {
        timeNow += period;
        writeDataSerial();
    }
    writeDataMicro();
    writeDataBlynk();
}

bool Histerysis(float temp) {
    if (temp >= setTempVal) {
        logic = false;
    } else if (temp <= (setTempVal - hysters)) {
        logic = true;
    } else {
        logic = lastLogic;
    }
}
```

90

```
    }  
    lastLogic = logic;  
    return logic;  
}
```

```
void AnalogWrite(uint8_t channel, uint32_t value, uint32_t  
valueMax = 65535) {  
    uint32_t duty = (65535 / valueMax) * min(value, valueMax);  
    ledcWrite(channel, duty);  
}
```

```
float getValue() {  
    tempSensor.requestTemperatures();  
    float temp = tempSensor.getTempCByIndex(0);  
    return temp;  
}
```

```
void writeDataSerial() {  
    Serial.println("////////////////////////////////////////");  
}
```

```
Serial.print("value set temp: ");
Serial.println(setTempVal);
Serial.print("value now temp: ");
Serial.println(buffer1);
Serial.print("value chart: ");
Serial.println(nowTemp);
Serial.print("value histerysis: ");
Serial.println(Histerysis(nowTemp));
Serial.print("value pwm: ");
Serial.println(long(out));
Serial.print("% pwm: ");
Serial.println(long(pwmChrtVal));
Serial.print("value valveA: ");
Serial.println(valveAtasVal);
Serial.print("value valveB: ");
Serial.println(valveBawahVal);
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
}
```

```
void writeDataMicro() {  
    digitalWrite(valveBawahPin, valveBawahVal);  
    digitalWrite(valveAtasPin, valveAtasVal);  
}
```

```
void writeDataBlynk() {  
    Blynk.virtualWrite(V_TempPin, buffer1);  
    Blynk.virtualWrite(V_chrtTempPin, qw);  
    Blynk.virtualWrite(V_chrtPWMPin, long(pwmChrtVal));  
}
```

```
void setup() {  
    Serial.begin(115200);  
    tempSensor.begin();  
    Blynk.begin(auth, ssid, pass);  
    ledcSetup(pwmChannel, baseFreq, res);  
    ledcAttachPin(ssrPin, pwmChannel);  
    myPID.SetMode(AUTOMATIC);  
    myPID.SetOutputLimits(0, 65535);
```



```
pinMode(waterPin, INPUT);
pinMode(pwmChrtPin, INPUT);
pinMode(valveAtasPin, OUTPUT);
pinMode(valveBawahPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  Blynk.run();
  readData();
  writeData();
  if (btnSetVal) {
    if (Histerysis(nowTemp)) {
      // out = (setTempVal - nowTemp) * kp;
      myPID.Compute();
      out = round(out);
      AnalogWrite(pwmChannel, out);
      pwmChrtVal = out / 65535.0 * 100.0;
    }
    else {
      pwmChrtVal = 0;
      out = 0;
      AnalogWrite(pwmChannel, 0);
    }
  }
}
```

```
    }  
  } else {  
    pwmChrtVal = 0;  
    out = 0;  
    AnalogWrite(pwmChannel, 0);  
  }  
}
```

Lampiran 5

Main Code Simulasi PID MatLab

```

clear all;clc;

s = tf('s');

R = input('nilai thermal resistanse : ');
C = input('nilai thermal capacitance : ');

y = TFcon(R,C);

% figure(1)

% step(y)

K = input('parameter K : ');
T = input('parameter T : ');
L = input('parameter L : ');
[Kp,Ti,Td] : PIDzn(K,T,L)

%Close Loop

if Ti==0 && Td==0

    Ki = 0;

    Kd = 0;

elseif Ti ~= 0 && Td:=0

    Ki = Kp/Ti;

    Kd = 0;

elseif Ti~=0 && Td~=0

    Ki = Kp/Ti;

```

```
Kd = Kp*Td;
end
u = pid(Kp,Ki,Kd)
G = feedback(y*u,1)
suhu = input('masukkan suhu referensi : ')
opt = stepDataOptions('StepAmplitude',suhu)
%Plotting figure
figure(1)
step(y,opt)
hold on
step(G,opt,'r')
grid on
legend('open loop response','close loop response')
stepinfo(G)
```

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Banyuwangi, 02 April 1998, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis saat ini telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Al-Huda Banyuwangi, SD Al Irsyad Al Islamiyyah Banyuwangi, SMPN 1 Banyuwangi, SMAN 1 Giri Banyuwangi. Setelah lulus dari jenjang SMA, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS pada tahun 2017 dengan NRP 10211710010001.

Pada Departemen Teknik Mesin Industri ini penulis mengambil Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Penulis aktif di kegiatan organisasi internal maupun eksternal seperti Himpunan Mahasiswa Diploma Mesin dan event departemen yaitu Student Engineering Challenge 2.0 sebagai koordinator acara dan servis gratis sebagai sie acara. Selain itu penulis juga aktif di eksternal kampus sebagai bendahara umum Komisariat Mesin Sepuluh Nopember (HMI Mesin SN) dan bendahara umum HMI Sepuluh Nopember.

Selama menempuh pendidikan penulis melakukan kegiatan magang 3 kali yaitu PT. Petrokimia Gresik periode 1 Juli – 31 Agustus 2019 pada Departemen Perencanaan dan Pengendalian, PT. Iroha Sidat Indonesia periode 1 Juni – 30 Juni 2020 pada unit mesin Boiler, PT. Petrokimia Gresik periode 1 Agustus – 30 November 2020 pada Departemen Pemeliharaan III tentang manajemen perawatan dan efisiensi pada Boiler utilitas batu bara. Penulis dapat dihubungi lewat email yusrilreza78@gmail.com.