

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PURWARUPA SISTEM
PEMANAS AIR MENGGUNAKAN METODE KONTROL
*PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID)***

(Skripsi)

Oleh

ARDA PAITAMA

NPM. 2015031044



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2024

ABSTRAK

Perancangan dan Implementasi Purwarupa Sistem Pemanas Air Menggunakan Metode Kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID)

Oleh

Arda Paitama

Kebutuhan air panas untuk berbagai keperluan sehari-hari, khususnya bagi ibu rumah tangga yang mempunyai bayi untuk memandikannya dan untuk keperluan kesehatan tubuh manusia. Air panas memiliki manfaat untuk melancarkan sirkulasi darah, menstabilkan aliran darah, kerja jantung, membantu merangsang motorik bayi, dan membuat tubuh menjadi rileks, lalu keterbatasan penggunaan sistem kontrol suhu air dari penelitian sebelumnya yang menggunakan kontrol *on-off* dan logika *fuzzy* dari respon yang dihasilkan kurang baik.

Penelitian ini melakukan perancangan dan implementasi purwarupa sistem pemanas air menggunakan metode kontrol PID, dengan menggunakan sensor suhu dan jarak level air, serta dua aktuator, yaitu elemen pemanas 350 watt dan *solenoid valve*. Data dari sensor diproses oleh Arduino Uno R3 dan ditampilkan di LCD. Sistem ini menerapkan metode kontrol PID untuk menjaga kestabilan suhu air, dengan nilai *set point* yang ditentukan yaitu 37°C.

Nilai parameter PID dengan respon terbaik yaitu $K_p = 3$, $K_i = 4$, dan $K_d = 5$, mampu mencapai akurasi pengendalian suhu air sebesar 100%, dengan nilai *rise time* 331 s, *settling time* 332 s, *overshoot* 0,68%, dan *kesalahan steady state* 0,054%. Sistem ini memiliki fungsi transfer dengan akurasi 85,69%. Selain itu, pengujian implementasi dari sistem menunjukkan akurasi sebesar 81,81%.

Kata Kunci: Pemanas air, *Proportional Integral Derivative* (PID), Otomatisasi, *Solenoid Valve*.

ABSTRACT

Design and Implementation of Water Heating System Prototype Using Proportional Integral Derivative (PID) Control Method

By

Arda Paitama

The need for hot water for various daily needs, especially for housewives who have babies to bathe them and for the health needs of the human body. Hot water has benefits for blood circulation, stabilizes blood flow, heart work, helps stimulate baby's motor skills, and relaxes the body, so the limitations of using a water temperature control system from previous research using on-off control and fuzzy logic from the resulting response are not good.

This research designs and implements a prototype water heating system using the PID control method, using temperature and water level distance sensors, as well as two actuators, namely a 350 watt heating element and a solenoid valve. The data from the sensors is processed by Arduino Uno R3 and displayed on the LCD. This system applies the PID control method to maintain the stability of the water temperature, with a specified set point value of 37°C.

The PID parameter values with the best response, namely $K_p = 3$, $K_i = 4$, and $K_d = 5$, are able to achieve water temperature control accuracy of 100%, with a rise time of 331 s, settling time of 332 s, overshoot of 0.68%, and steady state error of 0.054%. This system has a transfer function with an accuracy of 85.69%. In addition, the implementation test of the system shows an accuracy of 81.81%.

Keywords: Water heater, Proportional Integral Derivative (PID), Automation, Solenoid Valve.

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PURWARUPA SISTEM
PEMANAS AIR MENGGUNAKAN METODE KONTROL
*PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID)***

Oleh
ARDA PAITAMA
Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI
PURWARUPA SISTEM PEMANAS AIR
MENGUNAKAN METODE KONTROL
PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE
(PID)**

Nama Mahasiswa : Arda Paitama

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031044

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T.
NIP. 199106102019032024


Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T.
NIP. 197310041998032001

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro


Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 197103141999032001

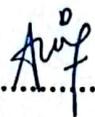
Ketua Program Studi Teknik Elektro


Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 197311042000031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T.


.....

Sekretaris : Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T.

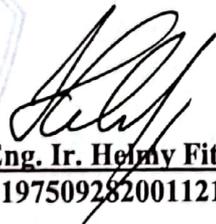

.....

Penguji Utama : Umi Murdika, S.T., M.T.


.....



2. Dekan Fakultas Teknik :


Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 Agustus 2024

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini yang berjudul “Perancangan dan Implementasi Purwarupa Sistem Pemanas Air Menggunakan Metode Kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID)” tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atas diterbitkannya oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri. Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi akademik sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 27 September 2024



Arda Paitama

NPM. 2015031044

RIWAYAT HIDUP



Saya lahir di Jati Baru, pada tanggal 03 Oktober 2001 sebagai anak pertama dari 1 bersaudara, anak dari Bapak Sudaryono dan Ibu Yuni Novita Sari. Pendidikan sekolah dasar diselesaikan di SDN 2 Jati Baru pada tahun 2014, sekolah menengah pertama di MTs Al-Ikhlas Tanjung Bintang diselesaikan pada tahun 2017, dan sekolah menengah atas di SMAN 1 Tanjung Bintang diselesaikan pada tahun 2020. Pada tahun 2020, saya terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Saya telah aktif terlibat dalam berbagai kegiatan akademik dan organisasi. Selama 2 periode kepengurusan, saya menjabat sebagai ketua pelaksana kegiatan taklim himatro periode 2021 dan koordinator perlengkapan di acara nasional yaitu *Electrical Engineering In Action* di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) Universitas Lampung Periode 2022. Selain itu, saya juga menjadi beswan aktif di Kartu Indonesia Pintar. Sebagai anggota aktif, saya turut aktif di Laboratorium Teknik Kendali Teknik Elektro Universitas Lampung sebagai asisten selama tahun 2022 s.d. 2024 serta sebagai koordinator praktikum Dasar Sistem Kendali dan Sistem Kendali Lanjut.

Penulis pada semester 5 mengikuti program MBKM KKN Tematik Membangun Desa Cerdas Digital Tahun 2022. Selain itu, penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Matanusa Energi Utama PLTMG Sutami 30 MW dalam divisi *electrical* pada tanggal 31 Juli sampai dengan 25 Agustus 2023. Laporan kerja praktik yang disusun berjudul “Perancangan Sistem Kontrol Radiator Pendingin Air Berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)* Pada *KU30GSI Diesel Gas Engine* di PLTMG Sutami 30 MW “.



PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan Ridho Allah SWT

Teriring shalawat kepada Nabi Muhammad SAW

Karya Tulis ini ku persembahkan untuk:

Ayah dan Ibuku Tercinta

SUDARYONO DAN YUNI NOVITA SARI

Serta Adikku Tersayang

DIKA RIZKY HERLAMBAANG

Terimakasih untuk semua dukungan dan doa selama ini

Sehingga aku dapat menyelesaikan hasil karyaku ini.





Motto

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada tuhanmulah engkau berharap”

(QS. Al-Insyirah, 6-8)

“Terlambat bukan berarti gagal, cepat bukan berarti hebat. Terlambat bukan menjadi alasan untuk menyerah, setiap orang memiliki proses yang berbeda. PERCAYA PROSES itu yang paling penting karena Allah SWT telah mempersiapkan hal baik dibalik kata proses yang kamu anggap rumit”

(Edwar Satria)

“Keberhasilan bukanlah milik orang pintar, keberhasilan adalah milik mereka yang senantiasa berusaha”

(BJ Habibie)

SANWACANA

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala karunia, hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis, sehingga laporan skripsi ini yang berjudul “Perancangan dan Implementasi Purwarupa Sistem Pemanas Air Menggunakan Metode Kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID)” dapat selesai tepat pada waktunya. Yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW. sahabatnya, serta para pengikutnya yang selalu istiqomah diatas jalan agama islam hingga hari akhir zaman. Selama menjalani pengerjaan Skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan pemikiran maupun dorongan moril dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Ibu Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T. selaku pembimbing utama tugas akhir bagi penulis, yang telah membantu, membimbing, memberi motivasi, dan memberi dukungan kepada penulis.
6. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping tugas akhir bagi penulis, yang telah membantu, membimbing, dan memberikan dukungan kepada penulis.

7. Ibu Umi Murdika, S.T., M.T. selaku dosen penguji bagi penulis yang telah membantu memberikan saran untuk tugas akhir bagi penulis dan juga selaku Kepala Laboratorium Teknik Kendali yang telah memberikan banyak dukungan serta motivasi saat sebagai asisten lab kepada penulis.
8. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. sebagai dosen pembimbing akademik, yang telah banyak membimbing dan membantu penulis selama menjalani kuliah.
9. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama menjalani masa studi perkuliahan.
10. Kak Perdana Agung Nugraha, S.T. selaku PLP Laboratorium Teknik Kendali yang telah membantu memberi arahan dan motivasi dalam mengerjakan skripsi.
11. Ayahanda Sudaryono, Ibunda Yuni Novita Sari, Adik Dika Rizky Herlambang, sebagai orang yang selalu mendukung dan mendoakan penulis.
12. Keluarga rekan-rekan di Laboratorium Teknik Kendali, Amal, Refli, Ahmad, Adhiva, Arif, Anita, Anna, Tegar, dll yang selalu memberikan dukungan, pertolongan, canda tawa, membantu dalam setiap proses selama menjadi asisten laboratorium Teknik kendali
13. Keluarga penampungan rumah amal, Ibu, Ayah, Bang Arif, Amal, Taza, Saka, Ahmad, Auliya, Akmal, Refli, Rizki, Alfin, Reyzal, Herly, dan Zulizar yang telah memberikan dukungan, pertolongan, tempat cerita, canda tawa, membantu setiap proses selama mengerjakan tugas akhir.
14. Teruntuk pemilik NPM 2111100280 terimakasih untuk dukungan, doa, semangat, serta menjadi tempat berkeluh kesah dari awal perkuliahan hingga akhir proses penyusunan skripsi.
15. Keluarga besar Hellios Angkatan 2020, yang telah memberikan banyak motivasi, canda tawa, dan bantuan dalam kondisi apapun.
16. Keluarga besar HIMATRO yang telah menjadi wadah untuk mengembangkan skill bagi penulis.

17. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan terlibat langsung maupun tidak langsung yang telah membantu penulis dalam perkuliahan maupun pembuatan skripsi.

Semoga Allah SWT membalas semua perbuatan dan kebaikan yang telah diberikan kepada Penulis sampai dengan terselesaikannya Skripsi ini. Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari segi penyusunan maupun pemilihan kata. Maka dari itu penulis terbuka untuk menerima masukan kritik dan saran yang dapat membangun Penulis kedepannya. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 27 September 2024

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Arda Paitama', written over a horizontal line.

Arda Paitama

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	ix
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 <i>Proportional Integral Derivative (PID)</i>	8
2.3 Sistem Kontrol <i>On/Off (Two Position)</i>	11
2.4 <i>Heater</i>	13
2.5 Arduino Uno R3	14
2.6 Sensor Termokopel tipe K	14

2.7 Sensor Ultrasonik HC-SR04	15
2.8 <i>Relay</i> 5 VDC	17
2.9 <i>Solenoid Valve</i>	17
2.10 <i>Liquid Crystal Display (LCD)</i>	18
2.11 <i>Optocoupler Triac</i>	18
2.12 Pengujian <i>Error</i>	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.3 Tahapan Penelitian	20
3.3.1 Studi Literatur	21
3.3.2 Studi Bimbingan	21
3.3.3 Perancangan Sistem	21
3.3.4 Pengujian Sistem.....	22
3.3.4.1 Pengujian Sensor Termokopel tipe K	23
3.3.4.2 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04	23
3.3.4.3 Pengujian Kontrol <i>Proportional Integral Derivative (PID) Trial and Error</i>	23
3.3.4.4 Pengujian <i>Relay</i>	24
3.3.4.5 Pengujian <i>Optocoupler Triac (Driver Heater)</i>	24
3.3.4.6 Pengujian Potensiometer Sebagai Pengaturan <i>Set point</i>	25
3.3.4.7 Pengujian Suhu Awal Air Terhadap <i>Rise Time</i>	25
3.3.4.8 Pengujian Pengaruh Suhu Lingkungan Terhadap <i>Rise Time</i>	25
3.3.4.9 Pengujian <i>Delay Solenoid Valve</i> Hidup Mengisi Air Tangki Pemanas.....	26
3.3.5 Pengolahan Data.....	26
3.3.6 Pembuatan Laporan.....	26
3.4 Perancangan Sistem	26
3.5 Perancangan Alat	29
3.6 Perancangan Metode Kontrol <i>Proportional Integral Derivative (PID)</i>	30
3.7 Perancangan Metode Kontrol <i>On-off</i> Otomatisasi Pengisian Air	31

3.8 Sketsa Penempatan Alat.....	31
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Prinsip Kerja Alat.....	33
4.2 Hasil Pengujian Komponen dan Respon Sistem pada Media Air.....	34
4.2.1 Data Hasil Pengujian Sensor Termokopel tipe K	34
4.2.2 Data Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04	37
4.2.3 Pengujian Rangkaian <i>Relay Solenoid Valve</i>	38
4.2.4 Pengujian Rangkaian <i>Optocoupler Triac (Driver Heater)</i>	40
4.2.5 Pengujian Potensiometer sebagai Pengaturan <i>Set point</i>	41
4.2.6 Pengujian <i>Delay Solenoid Valve</i> Hidup Mengisi Air Pada Tangki.....	42
Pemanas.....	42
4.2.7 Pengujian Pengaruh Suhu Awal Air Terhadap <i>Rise Time</i>	43
4.2.8 Pengujian Pengaruh Suhu Lingkungan Terhadap <i>Rise Time</i>	45
4.2.9 Model Matematis <i>Plant Water Heater</i>	46
4.2.10 Pengujian Parameter PID Dengan Metode <i>Trial and Error</i>	50
4.2.9.1 Pengujian Parameter K_p	50
4.2.9.2 Pengujian Parameter K_i	53
4.2.9.3 Pengujian Parameter K_d	56
4.3 Pengujian Keseluruhan.....	59
4.3.1 <i>Water Heater</i> Volume Air.....	59
4.3.2 Hasil Pengujian Respon Terbaik.....	60
4.3.3 Implementasi Keseluruhan Sistem.....	64
V. KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	72

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Blok Diagram Kontrol PID	8
Gambar 2.2 Diagram blok kontrol <i>on-off</i>	12
Gambar 2.3 Respon kontrol <i>on-off</i>	12
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	21
Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem	27
Gambar 3.3 Diagram blok alat	28
Gambar 3.4 Skema Rangkaian Alat	29
Gambar 3.5 Diagram blok perancangan kendali PID	30
Gambar 3.6 Diagram blok kontrol <i>on-off</i> otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas.....	31
Gambar 3.7 Sketsa penempatan alat	32
Gambar 4.1 Implementasi Alat	33
Gambar 4.2 Pengujian sensor termokopel tipe K.....	35
Gambar 4.3 Grafik regresi linier sensor termokopel tipe K.....	36
Gambar 4.4 Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04.....	37
Gambar 4.5 Pengujian Respon <i>Relay Solenoid valve</i>	39
Gambar 4.6 Grafik respon kontrol <i>on-off</i>	40
Gambar 4.7 Grafik respon hubungan suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan <i>output</i> PID.....	40
Gambar 4.8 Pengujian potensiometer sebagai pengaturan <i>set point</i> suhu	41
Gambar 4.9 Skema otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas.....	42
Gambar 4.10 <i>Plant</i>	46
Gambar 4.11 Blok identifikasi <i>plant</i>	47
Gambar 4.12 Blok identifikasi plant dengan <i>software</i>	47
Gambar 4.13 Model <i>output</i> nilai akurasi.....	48
Gambar 4.14 Hasil <i>auto tuning</i> nilai parameter PID.....	48

Gambar 4.15 <i>Simulink</i>	49
Gambar 4.16 Respon <i>plant</i> menggunakan PID.....	49
Gambar 4.17 Grafik respon suhu terhadap waktu pengujian parameter Kp 1 – 7	53
Gambar 4.18 Grafik respon suhu terhadap waktu pengujian parameter Ki 1 – 7.	56
Gambar 4.19 Grafik respon suhu terhadap waktu pengujian parameter Kd 1 – 7	59
Gambar 4.20 Tangki pemanas.....	59
Gambar 4.21 Grafik parameter PID dari hasil respon terbaik.	61
Gambar 4.22 Hasil pengujian implementasi alat	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Penelitian Terkait	6
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno R3	14
Tabel 2.3 Spesifikasi sensor termokopel tipe K.....	15
Tabel 2.4 spesifikasi sensor ultrasonik HC-SR04.....	16
Tabel 3.1 Alat dan Bahan.....	20
Tabel 4.1 Pengujian sensor termokopel tipe K dengan termometer	35
Tabel 4.2 Hasil pengujian sensor termokopel tipe K dengan termometer setelah dikalibrasi.....	36
Tabel 4.3 Hasil pengujian sensor ultrasonik HC-SR04	38
Tabel 4.4 hasil pengujian respon <i>relay solenoid valve</i>	39
Tabel 4.5 Pengujian delay <i>solenoid valve</i> hidup mengisi air pada tangki pemanas	43
Tabel 4.6 Hasil pengujian kontrol suhu air dengan media air kran	43
Tabel 4.7 Hasil pengujian kontrol suhu air dengan media air es	44
Tabel 4.8 Data hasil pengujian apakah suhu lingkungan mempengaruhi pembacaan sensor termokopel di dalam air.	45
Tabel 4.9 Pengujian parameter Kp.....	50
Tabel 4.10 Pengujian Parameter Ki	53
Tabel 4.11 Pengujian Parameter Kd.....	56
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Respon Terbaik.....	61
Tabel 4.13 Hasil Pengujian implementasi dari pengujian implementasi dari purwarupa sistem pemanas air menggunakan metode PID	65

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanas air listrik berfungsi untuk proses pemanasan air melibatkan pemanfaatan elemen pemanas listrik. Sebagai komponen dari proses pemanasan ini, suhu air akan berhubungan langsung dengan jumlah energi listrik yang dimasukkan ke dalam sistem dan selanjutnya diubah menjadi energi panas [1]. Air panas merupakan salah satu kebutuhan manusia untuk keperluan sehari-hari, misalnya untuk mandi, cuci muka, cuci tangan dan merendam kaki untuk keperluan pengobatan atau kesehatan, yaitu meningkatkan kesehatan pembuluh darah dengan meningkatkan sirkulasi darah, menstabilkan aliran darah, dan meningkatkan fungsi jantung. Air panas atau hangat juga dapat memberikan efek positif pada bayi, seperti meningkatkan sirkulasi darah, merangsang perkembangan motorik, dan meningkatkan relaksasi dalam tubuh [2]. Ada berbagai pilihan yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan ini, seperti memanaskan air di atas kompor atau menggunakan pemanas air.

Water heater umumnya digunakan untuk menghasilkan air panas yang diperlukan pada saat mandi, dan beberapa aktivitas lainnya [3]. Meskipun *water heater* telah menjadi perangkat yang umum digunakan di banyak rumah tangga, teknologi ini terus berkembang untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan pengguna. Pemanas air tidak hanya digunakan untuk mandi, tetapi juga untuk berbagai tugas rumah tangga lainnya. Selain itu, penggunaan *water heater* dapat membantu menghemat waktu dan tenaga serta memberikan kenyamanan tambahan dalam kehidupan sehari-hari. Dengan adanya sistem pemanas air menggunakan metode kontrol PID kebutuhan akan air panas dapat terpenuhi untuk keperluan ibu rumah tangga yang mempunyai bayi [4]. *Water*

heater sebagai alat elektronik tentunya memiliki komponen elektronika didalamnya seperti *thermostat*, elemen pemanas dan lain-lain [5].

Penggunaan kontrol dalam mengatur suhu telah dilakukan dalam beberapa penelitian. Salah satu penelitian yang dilakukan berfokus pada penggunaan kontrol *on-off* untuk mengatur suhu air pada pemanas air listrik, karena metode ini lebih sederhana dan ekonomis. Namun, sistem kontrol *on-off* memiliki kekurangan, seperti tidak efisien dalam penggunaan energi listrik dan kurangnya stabilitas suhu, yang disebabkan oleh fluktuasi suhu. Ketika suhu berada di bawah *set point*, elemen pemanas aktif, sehingga suhu air terus meningkat hingga mencapai *set point*. Setelah itu, elemen pemanas mati, menyebabkan penurunan suhu di bawah nilai *set point*. Ini mengakibatkan siklus *on-off* yang terus berulang, menghasilkan fluktuasi suhu air. Kontrol *on-off* hanya memiliki dua kondisi, yaitu aktif dan tidak aktif. Selain itu, penting untuk mempertimbangkan frekuensi osilasi respon, yang dapat mempengaruhi ketahanan komponen aktuator [6].

Penelitian selanjutnya penggunaan kontrol logika *fuzzy* dalam pengendalian suhu air. Kontrol logika *fuzzy* dalam pengendalian suhu air merupakan pendekatan yang menggunakan logika *fuzzy* untuk mengatur sistem pemanasan air. Dalam penelitian tersebut melakukan perbandingan antara sistem kontrol PID dan kontrol logika *fuzzy* untuk pengaturan suhu air. Kontrol PID menghasilkan respon kontrol yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol logika *fuzzy* karena respon yang dihasilkan oleh kontrol logika *fuzzy* lebih lambat. Alasannya adalah karena kontrol PID memiliki nilai *overshoot*, kesalahan *steady state*, dan *rise time* yang lebih kecil dibandingkan dengan logika *fuzzy*. Kendali logika *fuzzy* kurang efektif dalam menghadapi perubahan kondisi ekstrem dalam lingkungan suhu air yang dapat mempengaruhi kinerja sistem [7].

Alasan dipilihnya penggunaan kendali *Proportional Integral Derivative* (PID) pada penelitian ini adalah kestabilannya yang sangat baik dalam mengatur suhu air, karena menggunakan algoritma yang lebih sederhana dan mudah diprediksi [8]. Kontrol PID memiliki akurasi dikarenakan dapat merespon dengan cepat dan akurat terhadap perubahan suhu air dan mengukur kesalahan sistem dan memanfaatkan komponen *proportional*, *integral* dan *derivative*. Selain itu, kontrol PID mudah diimplementasikan dalam mengendalikan suhu air karena hanya

membutuhkan tiga parameter yang dapat ditentukan dengan mudah melalui eksperimen, melalui tiga parameter tersebut dapat menghasilkan pengendalian suhu air yang stabil dan ideal [9].

Dari permasalahan yang sudah dijelaskan, maka diperlukan adanya solusi untuk memenuhi kebutuhan akan pemanasan air dan menggunakan metode kontrol yang lebih baik untuk menjaga kestabilan suhu. Salah satu cara untuk mencapai hal tersebut adalah dengan adanya perancangan dan implementasi purwarupa sistem pemanas air menggunakan metode kendali *Proportional Integral Derivative* (PID) dan otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas. Salah satu kelebihan alat yang akan dibuat adalah suhu air yang dihasilkan bisa diatur sesuai kebutuhan. Sehingga bisa mudah digunakan ibu rumah tangga yang mempunyai bayi sesuai dengan keperluannya, dengan standar suhu mandi bayi yaitu 37 derajat. Dalam pembuatan purwarupa sistem pemanas air menggunakan metode PID ini diharapkan mampu memberikan kinerja pemanasan air yang optimal dan menjaga stabilitas suhu air.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat perancangan purwarupa sistem pemanas air menggunakan metode kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) dan otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengembangan teknologi akan pemanas air melalui penerapan kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) dengan lebih efisien dan stabil. Suhu dapat diatur sesuai kebutuhan sehingga mudah digunakan ibu rumah tangga yang mempunyai bayi untuk keperluannya dan terdapat otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas.

1.4 Rumusan Masalah

Dari permasalahan telah diuraikan, maka permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan mengimplementasikan purwarupa

sistem pemanas air dengan menggunakan metode kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) untuk mengontrol suhu air dengan menggunakan *driver heater*. Merancang otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas, saat air di dalam tangki berkurang lebih dari 10 cm maka secara otomatis *solenoid valve* terbuka mengisi air pada tangki untuk menjaga level air. Kelebihan alat yang akan dibuat adalah suhu air yang dihasilkan bisa diatur sesuai kebutuhan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peralatan tersebut hanya mengatur suhu air dalam wadah 7 – 10 liter.
2. Sistem kontrol digunakan khusus untuk mengatur suhu air selama proses pemanasan berkelanjutan menggunakan pemanas listrik 350 *Watt*.
3. Efek perpindahan panas antara sistem dan lingkungan tidak dipertimbangkan.
4. Terjadinya pemadaman listrik tidak dibahas dalam penelitian ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian dan struktur penulisan penelitian ini.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai penelitian terdahulu dan teori terkait, yang berfungsi sebagai landasan untuk memahami dan relevan dengan materi penelitian yang dikumpulkan dari berbagai sumber seperti buku, jurnal dan penelitian terdahulu.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian, termasuk waktu dan lokasi penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta metode dan prosedur penelitian yang diterapkan dalam penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pengumpulan data, hasil yang didapatkan dari penelitian dan analisis hasil penelitian.

BAB V. PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan dan saran yang didasarkan pada hasil data dan pembahasan.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisi referensi yang digunakan dalam penulisan dan pelaksanaan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Dalam beberapa tahun terakhir, sejumlah penelitian telah meneliti mengenai perancangan dan implementasi purwarupa sistem pemanas air menggunakan metode kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID). Dalam rentang waktu tahun 2005 hingga 2023. Pada Tabel 2.1 adalah beberapa artikel tersebut digunakan sebagai referensi.

Tabel 2.1 Penelitian Terkait

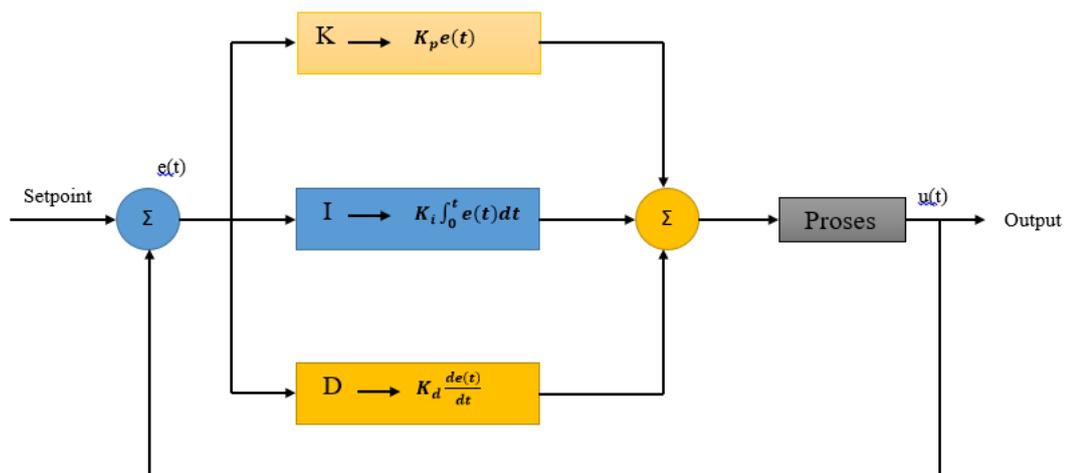
No	Judul	Nama Penulis	Kelebihan/kekurangan
1.	Sistem Kontrol Temperatur Air Pada Proses Pemanasan dan Pendinginan dengan Pompa sebagai Pengoptimal [10].	Heru Sagito Palka dan Meqorry Yusfi dari program studi Fisika Universitas Andalas 2016.	<ul style="list-style-type: none">• Sistem ini mengendalikan suhu air dengan 2 elemen <i>peltier</i> dengan pompa sebagai pengoptimal, untuk mengontrol suhu selama pendinginan dan pemanasan air.• Menggunakan sensor LM35 sebagai pendeteksi nilai temperatur air• Menggunakan kontrol <i>on-off</i> untuk mengontrol temperatur air• Semakin banyak air, semakin sedikit kapasitas untuk pendinginan dan pemanasan.
2.	Karakteristik Sistem Kendali <i>On-Off</i> Suhu Cairan Berbasis Mikrokontroler AT90S8535 [11].	Muchlas, Nuryono Satya Widodo, dan Wisnu Wulur Program studi Teknik Elektro Universitas Ahmad Dahlan 2005.	<ul style="list-style-type: none">• Menggunakan mikrokontroler AT90S8535 sebagai pengendali• Menggunakan 2 tombol <i>push button</i> sebagai pengatur <i>set point</i> suhu• Menggunakan kontrol <i>on-off</i> untuk mengendalikan suhu cairan• Alat ini dimanfaatkan sebagai termometer digital

No	Judul	Nama Penulis	Kelebihan/kekurangan
3.	Pengatur Temperatur Pada Dispenser Berbasis Arduino Mega 2560 [12].	Yuspa Adi Putra dan Kiki Prawiroredjo dari Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti 2017.	<ul style="list-style-type: none"> • Jenis sensor yang digunakan adalah detector suhu resistansi PT-100, sedangkan mikrokontrolernya adalah Arduino mega 2560 • Menekan <i>push button</i> untuk memilih jenis minuman
4.	Pembuatan Alat Control Suhu Air di Dalam Bak Mandi Berbasis Arduino Uno [13].	Armansyah, R. Harahap, dan Rilvan Mook Zega dari Program studi Teknik Elektro Universitas Islam Sumatera Utara 2023	<ul style="list-style-type: none"> • Arduino Uno sebagai pengendali • Sensor suhu menggunakan sensor suhu DS18B20
5.	Perbandingan Sistem Kendali PID dan Kendali Logika <i>Fuzzy</i> Pada Pengendalian Suhu Sistem Pemanas Induksi	Muhtarom dan Sujono Program Studi Teknik Elektro Universitas Budi Luhur 2019	<ul style="list-style-type: none"> • Dilakukannya perbandingan antara kendali PID dan Kendali Logika <i>Fuzzy</i> hasil yang didapatkan Kendali PID memiliki nilai <i>rise time</i>, <i>overshoot</i>, <i>settling time</i>, kesalahan <i>steady state</i> kecil dibandingkan dengan kendali logika <i>fuzzy</i>

Berdasarkan sumber yang didapat, perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penggunaan dua jenis sensor yang berbeda, sensor termokopel tipe K dan sensor ultrasonik HC-SR04. Sensor termokopel tipe K digunakan untuk mengukur suhu air yang dipanaskan oleh elemen pemanas berdaya 350 watt. menggunakan metode kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID). Lalu, sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mengukur level air, jika level air dalam tangki pemanas berkurang lebih dari 10 cm, katup *solenoid* akan terbuka secara otomatis untuk memastikan level air di dalam tangki pemanas tetap stabil.

2.2 Proportional Integral Derivative (PID)

Pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) adalah suatu sistem kontrol yang digunakan untuk mengatur tingkat akurasi sistem. Salah satu karakteristiknya adalah adanya mekanisme umpan balik pada sistem. PID terdiri dari tiga jenis pengendali, yaitu pengendali *Proportional*, pengendali *Integral*, dan pengendali *Derivative*. Setiap pengendali memiliki keunggulan masing-masing, dimana pengendali *Proportional* memiliki keunggulan waktu *rise time* yang cepat, pengendali *Integral* membantu mengurangi kesalahan *steady state*, lalu pengendali *Derivative* berguna untuk mengurangi *overshoot* atau *undershoot*. Dengan menggabungkan ketiga jenis pengendali ini, dapat dihasilkan keluaran yang memiliki *rise time* yang cepat serta *error* yang minimal [14]. Pada Gambar 2.1 merupakan blok diagram kontrol PID.



Gambar 2.1 Blok Diagram Kontrol PID

Suatu pengendalian PID memiliki karakteristik memanfaatkan umpan balik sistem untuk membandingkan dengan nilai *set point* dan berjalan secara kontinu serta pengendali mencoba untuk meminimalkan nilai kesalahan sehingga dapat mempengaruhi respon sistem [15].

Saat melakukan perancangan sistem kendali PID ini, penting untuk dilakukannya penyesuaian parameter K_p , K_i , dan K_d untuk menyelaraskan respon sinyal keluaran sistem sesuai dengan nilai masukan [16]. Persamaan PID dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$mv(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.1)$$

dengan:

$mv(t)$: *Output* dari pengontrol PID

K_p : Konstanta *Proportional*

T_i : Konstanta *Integral*

T_d : Konstanta *Derivative*

$e(t)$: Kesalahan (*error*)

Kontrol *Proportional* menghasilkan keluaran yang sesuai dengan ukuran kesalahan (yaitu perbedaan antara nilai yang diharapkan dan nilai aktual, atau kesalahan). Sinyal masukan akan secara langsung dipengaruhi sinyal keluaran berdasarkan faktor perkaliannya [17]. Keunggulan kontrol *Proportional* adalah waktu *rise time* yang cepat, namun memiliki kelemahan karena mudah mengalami *overshoot*. Persamaan untuk kontrol *Proportional* ditunjukkan pada Persamaan 2.2.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.2)$$

dengan:

K_p : *Gain proportional*

e : Kesalahan (*error*)

u : Nilai *output* relatif terhadap waktu

Kontrol *integral* digunakan untuk menghilangkan kesalahan *steady state* hingga mencapai nol, atau dengan kata lain, memiliki keunggulan dalam meredam kesalahan. Jika suatu *plant* tidak memiliki unsur integrator (1/s), kontrol *Proportional* saja tidak cukup untuk memastikan bahwa keluaran sistem akan sesuai dengan respon yang diharapkan, sehingga diperlukan kontrol *integral*. Dalam kontrol *integral*, laju perubahan keluaran kontroler $y(t)$ berbanding lurus dengan sinyal kesalahan $e(t)$. Nilai konstanta *integral* yang besar akan mempercepat penghilangan *offset* [17].

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) \quad (2.3)$$

dengan:

K_i : *Gain integral*

e : Kesalahan (*error*)

u : Nilai *output* relatif terhadap waktu

Kontroler *derivative* berperilaku mirip dengan operasi diferensial, di mana perubahan mendadak pada masukan kontroler akan mengakibatkan reaksi cepat dan signifikan. Pengontrol *derivative* umumnya digunakan untuk merespons perubahan sinyal kesalahan dengan cepat dengan menyesuaikan parameter kontrol. Jika tidak sinyal kesalahan tidak berubah, *output* pengontrol *derivative* tetap konstan dan tidak mengoreksi kesalahan dalam kondisi sistem saat itu. Keunggulan utama kontroler *derivative* adalah kemampuannya untuk mengurangi *error* atau mengurangi *overshoot* [17].

$$u(t) = Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (2.4)$$

dengan:

Kd : Gain *derivative*

e : Kesalahan (*error*)

u : Nilai *output* relatif terhadap waktu

Metode *Trial and Error* merupakan cara untuk menentukan nilai parameter dengan mencoba berbagai nilai hingga diperoleh performa kontrol PID yang optimal. Untuk memperoleh pengendalian yang efektif, perlu dilakukan proses eksperimen menggunakan campuran parameter P, I, dan D hingga nilai K_p , K_i , dan K_d yang ditentukan. Tahap awal penyesuaian parameter PID dilakukan dengan menetapkan konstanta *Integral* dan *Derivative* pada nilai nol, kemudian meningkatkan konstanta *Proportional* hingga menghasilkan respon cepat dengan kesalahan *steady state* yang kecil. Setelah itu, konstanta *Integral* ditambahkan hingga *plant* mendekati atau melampaui nilai *set point* bertujuan untuk kesalahan *steady state* bernilai kecil. Terakhir, konstanta *Derivative* ditingkatkan untuk mencapai *set point* tanpa *overshoot* atau *overshoot* kecil. Setelah nilai awal parameter kontrol ditentukan, sistem akan dievaluasi dan parameter dapat disesuaikan untuk mencapai keluaran yang diinginkan. [18]. Berikut cara mencari nilai *rise time*, *overshoot*, *settling time* dan kesalahan *steady state* dengan perhitungan secara manual menggunakan Persamaan 2.5 sampai 2.15:

$$T_{10\%} = T_0 + 0,1 \times (T_{ss} - T_0) \quad (2.5)$$

$$T_{90\%} = T_0 + 0,9 \times (T_{ss} - T_0) \quad (2.6)$$

$$\text{Rise time} = t_2 - t_1 \quad (2.7)$$

dengan:

T_0 : Nilai awal

T_{ss} : Nilai akhir

t_1 : $T_{10\%}$

t_2 : $T_{90\%}$

$$M_p = \frac{y_{max} - y_{ss}}{y_{ss}} \times 100\% \quad (2.8)$$

dengan:

M_p : *Overshoot*

y_{max} : Nilai puncak pertama sebelum *steady state*

y_{ss} : Nilai rata-rata *steady state*

$$\text{Rata - rata} = \frac{\text{jumlah semua nilai}}{\text{jumlah nilai data respon}} \quad (2.9)$$

$$\text{Error steady state} = \text{setpoint} - \text{nilai rata - rata} \quad (2.10)$$

$$\text{Kesalahan persentase} = \left(\frac{\text{Steady state error}}{\text{Setpoint}} \right) \times 100\% \quad (2.11)$$

$$\zeta = \frac{-\ln(M_p)}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2(M_p)}} \quad (2.12)$$

$$\omega_n = \frac{\pi}{T_p \sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (2.13)$$

$$T_s = \frac{3}{\zeta \times \omega_n} \quad (2.14)$$

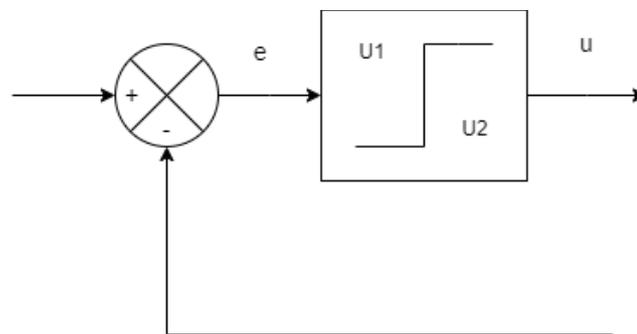
$$\text{Akurasi} = \frac{\Sigma \text{Data Uji Benar}}{\Sigma \text{Jumlah Data Uji}} \times 100\% \quad (2.15)$$

2.3 Sistem Kontrol On/Off (Two Position)

Sistem kontrol *on-off* merupakan sistem kendali yang paling dasar dan tahan lama, tetapi akurasinya terbatas karena variabel kendali sistem berisolasi secara

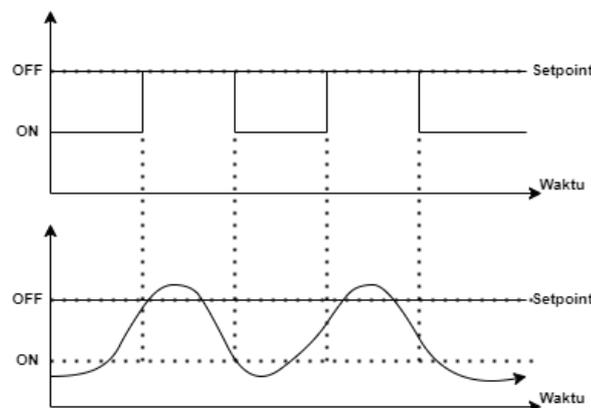
konsisten. Pada sistem kontrol dua posisi ini, aktuator hanya mempunyai dua posisi yaitu *on* dan *off*. Dalam aksi dari kontrol *on-off* memiliki beberapa simbol yang mewakili beberapa faktor yang mempengaruhi suatu proses pengontrolan. Pada Gambar 2.2 terdapat simbol terdiri dari:

- e = sinyal yang akan masuk pada suatu proses
- u = sinyal yang sudah terproses
- U_1 = suatu proses jika $e > 0$ maka $u = U_1$
- U_2 = suatu proses jika $e < 0$ maka $u = U_2$



Gambar 2.2 Diagram blok kontrol *on-off*

Respon sistem kontrol adalah keluaran yang dihasilkan oleh sistem ketika diberikan *input* tertentu. Sebagai contoh, jika *plant* yang dikendalikan adalah *valve*, maka *valve* tersebut tidak akan beroperasi dalam rentang 0-100%, melainkan bekerja secara *on-off*. Pada Gambar 2.3, hasil dari kontrol *on-off* ini menunjukkan bahwa *output* atau variabel proses akan berosilasi terus-menerus dan tidak pernah mencapai kondisi stabil.



Gambar 2.3 Respon kontrol *on-off*

2.4 Heater

Dalam sistem pemanas air (*water heater*), terdapat komponen utama yang berfungsi untuk memanaskan air, yaitu elemen pemanas. Elemen pemanas adalah jenis perangkat elektronik yang mengubah energi listrik menjadi panas menggunakan pemanasan *joule*, dimana arus listrik yang mengalir melalui konduktor menghasilkan panas karena hambatan dalam konduktor tersebut. Komponen ini berfungsi sebagai penghasil panas. Cara kerjanya adalah dengan menghadapi resistansi dari arus listrik saat mengalir melalui elemen. Elemen pemanas digunakan sebagai sumber panas dalam berbagai aplikasi, dengan bentuk yang beragam sesuai fungsi dan media yang dipanaskan. Panas yang dihasilkan berasal dari kawat atau pita dengan tahanan listrik tinggi, biasanya terbuat dari bahan niklin, dialiri arus listrik dikedua ujungnya. Elemen ini ditutupi dengan bahan isolasi yang memiliki konduktivitas panas yang baik, sehingga aman dipakai. Pada *water heater*, elemen pemanas berfungsi untuk memanaskan air dalam tangki menggunakan kawat sebagai sumber panas yang memiliki resistansi tinggi, umumnya terbuat dari niklin, yang dilapisi isolasi dan dialiri arus listrik [19]. Untuk mengetahui volume air yang digunakan saat pengujian dapat dihitung berdasarkan rumus memakai Persamaan 2.16 dan 2.17:

$$h = H - d \quad (2.16)$$

dengan:

h : Tinggi air dalam tangki

H : Tinggi tangki

d : Jarak antara deteksi sensor dan permukaan air

$$V = \pi \times r^2 \times h \quad (2.17)$$

dengan:

V : Volume air

r : Jari-jari tangki

h : Tinggi total tangki

d : Jarak antara sensor dan permukaan air

2.5 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 adalah papan mikrokontroler yang menggunakan *chip* Atmega328. Arduino Uno dilengkapi dengan 14 pin *input/output* digital, 6 di antaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM, serta 6 *input* analog. Selain itu, papan ini juga dilengkapi dengan isolator kristal 16 MHz, koneksi USB, *jack* daya, *header* ICSP, dan tombol *reset*. Arduino Uno dilengkapi dengan semua komponen yang diperlukan untuk mikrokontroler, yang memungkinkan koneksi mudah ke komputer melalui kabel USB, atau catu daya melalui adaptor AC ke DC atau baterai [20]. Pada Tabel 2.2 merupakan spesifikasi Arduino Uno R3.

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno R3

No	Parameter	Deskripsi
1	Mikrokontroler	13
2	Pin Digital I/O	14
3	Pin <i>Input</i> Analog	6
4	Pin PWM	6
5	UART	Ada
6	I2C	Ada
7	<i>I/O Voltage</i>	5V
8	<i>Input voltage</i> (nominal)	7-12V
9	DC <i>Current</i> per I/O Pin	20 mA
10	<i>Power Supply Connector</i>	<i>Barrel Plug</i>
11	<i>Main Processor</i>	ATmega328P 16 MHz
12	USB- <i>Serial Processor</i>	ATmega16U2 16 MHz
13	ATmega328P	2KB SRAM, 32KB FLASH, 1KB EEPROM

2.6 Sensor Termokopel tipe K

Sensor termokopel adalah perangkat yang mengubah suhu menjadi tegangan listrik. Sensor ini dibuat dari sambungan dua logam yang berbeda, di mana sambungan tersebut dikombinasikan dengan bahan kimia tertentu untuk menghasilkan perbedaan potensial yang berubah sesuai dengan suhu yang terdeteksi. Termokopel tipe K dihubungkan dengan modul MAX6675, yang berfungsi memproses sinyal suhu yang dikumpulkan oleh sensor tersebut. Modul ini mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital menggunakan konverter ADC

yang terdapat di dalamnya. MAX6675 berfungsi sebagai penguat dan konverter ADC, sehingga keluaran yang dihasilkan berupa data suhu dalam bentuk digital atau *digitalread*. Modul ini bekerja dengan Arduino dan dapat menyesuaikan sambungan dingin pada termokopel tipe K, serta mengukur suhu dari 0°C hingga 800°C [21]. Pada Tabel 2.3 merupakan spesifikasi dari sensor termokopel tipe K. Rumus untuk menghitung kesalahan dan akurasi dari membandingkan deteksi termometer dan sensor termokopel tipe K dapat dirumuskan menggunakan Persamaan 2.18 dan 2.19:

$$Error = \frac{X-Y}{Y} \times 100 \% \quad (2.18)$$

dengan:

X : Pengukuran deteksi sensor termokopel tipe K

Y : Pengukuran termometer

$$Akurasi = 100\% \left(\frac{X-Y}{Y} \times 100\% \right) \quad (2.19)$$

dengan:

X : Pengukuran deteksi sensor termokopel tipe K

Y : Pengukuran termometer

Tabel 2.3 Spesifikasi sensor termokopel tipe K

No	Parameter	Keterangan
1	Tegangan Kerja	3V – 5V
2	Fitur	Rangkaian kompensasi dan <i>cold junction</i>
3	<i>Output Data</i>	SPI
4	Rentang Pengukuran Suhu	0 °C – 800 °C
5	Akurasi Suhu	0.25 °C
6	Tipe Termokopel	<i>Type-K</i>

2.7 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki kemampuan untuk mengukur jarak. Sensor ini terdiri dari pemancar dan penerima yang bekerja sama untuk

memancarkan, menerima, dan mengendalikan gelombang ultrasonik. Cara kerjanya adalah *transmitter* mengirimkan gelombang ultrasonik, dan ketika Jika ada objek dilintasi sensor, gelombang akan memantul kembali. *Receiver* kemudian membaca pulsa yang dipantulkan dan mengukur perbedaan waktu antara pengiriman dan penerimaan gelombang. Sensor HC-SR04 mampu mengukur jarak 2 cm hingga 400 cm dengan presisi 3 mm. Sensor ini dilengkapi dengan empat pin, pin VCC untuk tegangan *input*, pin GND untuk *grounding*, pin *Trigger* untuk mengirim sinyal, dan pin *Echo* untuk menerima sinyal pantulan dari objek [22]. Spesifikasi sensor ultrasonik HC-SR04 disajikan pada Tabel 2.4 Rumus untuk menghitung kesalahan dan akurasi dari perbandingan pengukuran antara penggaris dan sensor ultrasonik dapat dirumuskan menggunakan Persamaan 2.20 dan 2.21:

$$Error = \frac{X-Y}{Y} \times 100 \% \quad (2.20)$$

dengan:

X : Pengukuran sensor ultrasonik

Y : Pengukuran penggaris

$$Akurasi = 100\% - \left(\frac{X-Y}{Y} \times 100\% \right) \quad (2.21)$$

dengan:

X : Pengukuran sensor ultrasonik

Y : Pengukuran penggaris

Tabel 2.4 spesifikasi sensor ultrasonik HC-SR04

No	Parameter	Keterangan
1	Dimensi	45 mm (P) x 20 mm (L) x 15 mm (T)
2	Tegangan	5 VDC
3	Arus pada mode siaga	< 2 mA
4	Arus pada saat deteksi	15 mA
5	Frekuensi	40 kHz
6	Jangkauan Minimum	2 cm
7	Jangkauan Maksimum	400 cm
8	<i>Input Trigger</i>	10 Ms minimum, pulsa level TTL

No	Parameter	Keterangan
9	Pulsa <i>Echo</i>	Sinyal level TTL positif, lebar berbanding proporsional dengan jarak yang dideteksi.

2.8 Relay 5 VDC

Relay adalah sakelar mekanis yang dioperasikan secara elektronik. *Relay* ini bekerja dengan menggunakan tegangan listrik yang diterapkan pada induktor untuk menghasilkan medan magnet yang menarik tuas armatur pada saklar. Alat ini memanfaatkan penggunaan gaya elektromagnetik untuk mengaktifkan kontak sakelar, yang memungkinkan arus listrik kecil mengalirkan listrik bertegangan lebih tinggi. Perangkat elektromekanis terdiri dari dua komponen utama, elektromagnet (kumparan) dan komponen mekanis (kumpulan kontak sakelar). *Relay 5V DC* memiliki tiga posisi kontak, yang berubah saat diberikan elektromagnet memerlukan sumber tegangan. Ketiga posisi kontak biasanya dalam keadaan terbuka (NO), di mana kontak terhubung ke terminal NO saat mendapatkan tegangan dari elektromagnet keadaan tertutup (NC), dimana kontak terhubung ke terminal NC saat tidak ada sumber tegangan dan *change over*, yang merupakan perubahan posisi kontak dari NC ke NO atau sebaliknya [23].

2.9 Solenoid Valve

Katup *solenoid* adalah jenis katup yang diaktifkan oleh listrik, memanfaatkan kumparan untuk menggerakkan piston. Katup ini kompatibel dengan arus AC dan DC. Katup *solenoid* terdiri dari dua saluran satu berfungsi sebagai saluran masuk air dan yang lainnya sebagai saluran keluar yang digunakan untuk mengalirkan cairan atau air. Katup ini diformulasikan dengan *solenoid* sebagai mekanisme kontrol, ini akan dipicu oleh minimal 12 volt dan arus 1,2 Ampere. Keran ini hanya dapat beroperasi dalam dua kondisi, yaitu *on* dan *off*, karena *solenoid* berfungsi pada prinsip kerja yang sama [24].

2.10 *Liquid Crystal Display (LCD)*

Liquid Crystal Display (LCD) digunakan untuk menampilkan informasi elektronik seperti teks, gambar, dan animasi. LCD berfungsi sebagai *output* dalam sistem mikrokontroler. LCD I2C adalah modul untuk mengendalikan LCD menggunakan protokol I2C, yang merupakan jenis komunikasi *serial* sinkron. Biasanya, modul LCD menggunakan kontrol paralel untuk jalur data dan jalur kontrol. Namun, penggunaan jalur paralel dapat mengakibatkan konsumsi sejumlah besar pin pada perangkat kontrol, seperti Arduino atau komputer. Sirkuit terpadu ini berfungsi sebagai perangkat *input/output* 8-bit pada bus I2C dan beroperasi serupa dengan register geser [25].

2.11 *Optocoupler Triac*

Optocoupler Triac adalah rangkaian yang mengendalikan tegangan AC 220 V atau digunakan untuk mencegah tegangan tinggi mempengaruhi sinyal kontrol yang dihasilkan oleh mikrokontroler. IC tipe MOC3021 merupakan komponen yang menghubungkan sinyal pemicu dari pengontrol. IC MOC3021 digunakan untuk meningkatkan arus keluaran dari pengontrol guna mengaktifkan *TRIAC* dan mengisolasi dua sirkuit elektronik, sehingga menciptakan konfigurasi *loop* terbuka. Rangkaian *optocoupler* ini berperan sebagai pemisah antara tegangan 220V AC dan 5V DC, guna melindungi mikrokontroler dari kerusakan. Cara kerja dari *optocoupler triac* yaitu mikrokontroler akan menghasilkan keluaran kendali PID yang akan dikonversi menjadi sinyal PWM ke LED dalam *optocoupler*, LED tersebut akan menyala, cahaya yang dipancarkan oleh LED ini diarahkan ke foto *triac*, cahaya dari LED membuat foto *triac* menghantarkan arus untuk memicu *TRIAC* yang terhubung dengan beban AC. Setelah *TRIAC* dipicu oleh sinyal dari foto *triac*, *TRIAC* akan mulai menghantarkan arus dari sumber daya AC ke beban elemen pemanas.

2.12 Pengujian *Error*

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai suhu aktual dan *set point* suhu, serta mencari nilai *error* dan akurasi. Berikut rumus untuk mencari nilai akurasi yang dihasilkan menggunakan Persamaan 2.22 sampai 2.23.

$$Akurasi = 100\% - \left(\frac{|X-Y|}{Y} \right) \times 100\% \quad (2.22)$$

$$Akurasi \text{ rata - rata} = \frac{100\% - \left(\frac{|X-Y|}{Y} \right) \times 100\%}{n} \quad (2.23)$$

dengan:

X : Pengukuran deteksi sensor termokopel tipe K

Y : Pengukuran termometer

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Kendali Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

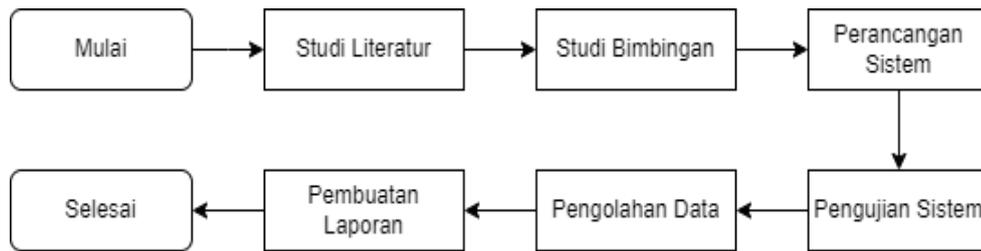
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Keterangan
1	Laptop	Sebagai perangkat keras untuk menjadi wadah desain sistem
2	Arduino Uno R3	Sebagai mikrokontroler
3	Sensor termokopel tipe K	Sebagai sensor suhu
4	Sensor ultrasonik HC-SR04	Sebagai mendeteksi level air
5	<i>Solenoid valve 12 VDC</i>	Sebagai katup untuk mengendalikan aliran air
6	Elemen pemanas 350 watt	Sebagai pemanas air
7	<i>Relay 5 VDC</i>	Sebagai saklar <i>solenoid valve</i>
8	<i>Optocoupler Triac (Driver heater)</i>	Sebagai pengendali tegangan AC
9	<i>Liquid crystal display (LCD) I2C</i>	Sebagai penampil data
10	Arduino IDE	Sebagai <i>software</i> pembangun program yang dijalankan pada mikrokontroler

3.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

Pada Gambar 3.1 dapat dilihat tahapan penelitian yaitu melakukan studi literatur, studi bimbingan, merancang sistem, menguji sistem, pengolahan data, dan akhirnya dengan pembuatan laporan.

3.3.1 Studi Literatur

Tujuan dari studi literatur adalah untuk mempelajari materi yang terkait dengan topik yang dibahas dalam proyek akhir, termasuk sensor termokopel tipe K, sensor ultrasonik HC-SR04, mikrokontroler Arduino Uno R3, pemrograman menggunakan Arduino IDE, dan metode kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID). Materi bersumber dari buku, jurnal, dan referensi dari situs *web* yang informasi yang dapat dipertanggungjawabkan.

3.3.2 Studi Bimbingan

Studi bimbingan melibatkan berdiskusi, pengajuan pertanyaan dan mencari solusi dengan dosen pembimbing untuk memperoleh pemahaman lebih baik tentang alat yang dibuat untuk menyelesaikan tugas akhir.

3.3.3 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dimulai dengan mengidentifikasi komponen yang akan diperlukan untuk kebutuhan dalam penelitian, diikuti dengan pengembangan pemrograman untuk mikrokontroler untuk memastikan dapat mencoba sistem kontrol suhu menggunakan metode *Proportional Integral Derivative* (PID) dan otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas.

3.3.4 Pengujian Sistem

Dalam pengujian sistem dilakukan beberapa pengujian sistem, yang berlangsung di Laboratorium Teknik Kendali Universitas Lampung. Tabel 3.2 menampilkan tabel pengujian.

No	Pengujian	Indikator keberhasilan	Keterangan
1.	Pengujian sensor termokopel tipe K	Nilai pembacaan sensor pada LCD I2C dan memiliki <i>error rate</i> kecil saat dilakukan kalibrasi	Menguji keberhasilan pembacaan sensor termokopel tipe K
2.	Pengujian sensor ultrasonik HC SR04	Nilai pembacaan sensor mampu mendeteksi tinggi level air; memiliki tingkat <i>error</i> kecil dan akurasi yang baik	Menguji keberhasilan pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04
3.	Pengujian kontrol <i>Proportional Integral Derivative (PID) Trial and Error</i>	Mendapatkan nilai parameter PID respon terbaik.	Menguji respon sistem kontrol dilihat dari <i>rise time</i> , <i>settling time</i> , <i>overshoot</i> , dan <i>kesalahan steady state</i>
4.	Pengujian <i>Relay</i>	Dapat merespon secara tepat saat terjadi kondisi yang membutuhkan aksi <i>relay</i>	Menguji respon <i>relay</i> agar bekerja dengan baik
5.	Pengujian <i>Optocoupler Triac</i>	Dapat mengendalikan tegangan AC untuk mengaktifkan elemen pemanas melalui <i>output</i> PID atau PWM	Memastikan rangkaian <i>optocoupler triac</i> dapat mengendalikan tegangan AC untuk elemen pemanas yang dikendalikan dengan PID
6.	Pengujian Potensiometer sebagai pengaturan <i>set point</i>	Dapat mengatur nilai <i>set point</i> suhu sesuai yang diinginkan	Menguji komponen potensiometer untuk mengatur nilai <i>set point</i>
7.	Pengujian pengaruh suhu awal air terhadap <i>rise time</i>	Suhu awal air yaitu air kran dan air es mempengaruhi waktu mencapai nilai <i>set point (rise time)</i>	Menguji respon sistem dari <i>rise time</i> dengan media suhu air yang berbeda
8.	Pengujian pengaruh suhu lingkungan terhadap <i>rise time</i>	Suhu lingkungan tidak mempengaruhi dari respon <i>rise time</i> untuk mencapai nilai <i>set point</i>	Menguji suhu lingkungan tidak mempengaruhi respon sistem dari <i>rise time</i> untuk mencapai nilai <i>set point</i>

No	Pengujian	Indikator keberhasilan	Keterangan
9.	Pengujian <i>delay solenoid valve</i> hidup mengisi air pada tangki pemanas	Mengetahui waktu <i>solenoid valve</i> mengisi air pada tangka pemanas	Menguji <i>solenoid valve</i> untuk mengisi air pada tangki pemanas

Pada Tabel 3.2 menampilkan pengujian yang akan dilakukan untuk menguji keberhasilan sistem. Tahap pengujian sistem mencakup beberapa pengujian dan lokasi pengujian sistem, yang dilakukan di Laboratorium Teknik Kendali Universitas Lampung.

3.3.4.1 Pengujian Sensor Termokopel tipe K

Sensor termokopel tipe K diuji dengan melakukan kalibrasi suhu dengan termometer. Hal ini untuk mengetahui seberapa besar akurasi yang akan terhitung dari sensor termokopel tipe K dan juga untuk mengetahui besaran *error* pada sensor termokopel tipe K. Sehingga dapat diketahui bahwa sensor berfungsi dengan baik atau tidak.

3.3.4.2 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 diuji dengan cara dihubungkan ke mikrokontroler Arduino Uno R3. Keluaran dari sensor ultrasonik ini berfungsi sebagai *input* bagi mikrokontroler dalam bentuk data analog, yang akan diproses menjadi nilai jarak atau tinggi level air yang terdeteksi. Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengukuran menggunakan mistar sepanjang 30 cm. Tujuan dari proses pengujian ini adalah untuk mengevaluasi tingkat *error* dan akurasi dari sensor ultrasonik HC-SR04.

3.3.4.3 Pengujian Kontrol *Proportional Integral Derivative (PID) Trial and Error*

Dalam pengujian kontrol *Proportional Integral Derivative (PID)* dengan metode coba-coba, menganalisis untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk mencapai *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan kesalahan *steady state* dari salah satu respon yang dihasilkan. Proses pengujian kontrol PID ini melibatkan

penentuan nilai K_p , K_i , dan K_d melalui percobaan berulang. Dalam metode coba-coba, nilai parameter K_p , K_i , dan K_d dicari dengan mengidentifikasi respon terbaik setelah melakukan tujuh kali pengujian untuk setiap parameter. Setelah memperoleh respon dari setiap parameter, langkah selanjutnya adalah memilih parameter terbaik yang digunakan dalam penelitian. Sebelum menerapkan PID controller pada sistem, perlu ditentukan terlebih dahulu nilai parameter PID, karena penetapan nilai ini sangat berpengaruh dalam mendapatkan parameter yang akurat. Oleh karena itu, *tuning controller* dilakukan menggunakan metode *trial and error* untuk memahami respon sistem kontrol dan mencapai nilai *set point* suhu yang stabil.

3.3.4.4 Pengujian Relay

Pada program Arduino Uno R3, *relay* digunakan untuk mengoperasikan *solenoid valve*. Pengujian melibatkan penerapan tegangan 5 volt pada masukan rangkaian *relay*, yang menyebabkan koil pada *relay* menghasilkan medan magnet untuk menarik kontak dari NO menjadi NC. Dengan demikian, *solenoid valve* sebagai beban akan menyala atau aktif, menunjukkan bahwa rangkaian berfungsi dengan baik. Dalam otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas, *relay* beroperasi berdasarkan sensor ultrasonik HC-SR04 mendeteksi level air. Jika level air turun lebih dari 10 cm, *relay* untuk *solenoid valve* akan aktif.

3.3.4.5 Pengujian Optocoupler Triac (Driver Heater)

Pada pengujian rangkaian *driver heater* 220V AC 350 watt yaitu *optocoupler triac*, komponen yang digunakan untuk membuat rangkaian *optocoupler triac* ini yaitu MOC3021 berfungsi untuk mengisolasi sinyal listrik rendah dari sirkuit kontrol dengan sinyal listrik tinggi pada beban, Ketika arus mengalir melalui LED di dalam MOC3021 cahaya yang dihasilkan akan mengaktifkan *TRIAC*. Selanjutnya BTA12 berfungsi sebagai saklar semikonduktor yang dapat mengendalikan arus AC. Dan resistor berfungsi untuk membatasi arus yang mengalir melalui LED di dalam MOC3021 dan *TRIAC* BTA12. Rangkaian *driver heater* dioperasikan dengan mode *active high*. Saat dilakukan pengujian *driver heater* tersebut uji coba menggunakan suhu *set point* yang ditentukan yaitu

50°C tidak menggunakan *set point* yang ditentukan sebelumnya, nilai *output* PID yang dihasilkan berada pada nilai 255 yang menyebabkan elemen pemanas dalam kondisi aktif penuh. Seiring dengan meningkatnya suhu yang terdeteksi oleh sensor *termokopel* akan mendekati nilai *set point* yang ditentukan, nilai *output* PID akan mengalami penurunan dari nilai 255 sampai 0. Proses ini bertujuan untuk menjaga suhu agar tetap stabil pada *set point* yang diinginkan.

3.3.4.6 Pengujian Potensiometer Sebagai Pengaturan *Set point*

Dalam menguji potensiometer sebagai pengaturan *set point* melibatkan pembuatan rangkaian menggunakan Arduino dan potensiometer, potensiometer dihubungkan ke VCC dan GND, dengan kaki tengah dihubungkan ke *port* analog A0 pada Arduino Uno. Dengan memanfaatkan perangkat lunak untuk mengubah pembacaan potensiometer ke nilai rentang 0 °C hingga 40 °C. *Range* ini mewakili nilai titik yang dicapai oleh sistem selama operasinya, jadi nilai suhu dapat diatur sesuai keinginan dari suhu 0 °C sampai 40 °C.

3.3.4.7 Pengujian Suhu Awal Air Terhadap *Rise Time*

Pada pengujian suhu awal air terhadap *rise time* ini digunakan dua media yaitu air kran dan air es yang memiliki suhu awal yang berbeda. Pada pengujian dengan air kran dilakukannya pengambilan 5 sampel pengujian, lalu akan menganalisa dilihat dari nilai *rise time* dengan *stopwatch*. Sedangkan pada pengujian dengan air es dilakukannya pengambilan 5 sampel pengujian, lalu akan menganalisa dilihat dari nilai *rise time* dengan *stopwatch*. Setelah kedua media tersebut sudah dilakukan pengujian maka akan diambil kesimpulan dari pengujian media air kran dan media air es dari nilai *rise time* dengan *stopwatch* yang dihasilkan.

3.3.4.8 Pengujian Pengaruh Suhu Lingkungan Terhadap *Rise Time*

Pada pengujian pengaruh suhu lingkungan terhadap respon *rise time* dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu lingkungan terhadap respon waktu untuk mencapai nilai *set point* (*rise time*). Pengujian dilakukan dengan nilai

deteksi dari termometer yang dapat mendeteksi suhu lingkungan akan dibandingkan dengan nilai deteksi dari sensor suhu yang terletak di dalam air, dari data deteksi sensor dan termometer tersebut akan dianalisis untuk mengetahui apakah suhu lingkungan akan mempengaruhi dari nilai deteksi sensor suhu yang diletakkan di dalam air.

3.3.4.9 Pengujian *Delay Solenoid Valve* Hidup Mengisi Air Tangki Pemanas

Pada pengujian ini dilakukan untuk menentukan lamanya waktu yang dibutuhkan katup *solenoid* untuk mengisi air pada tangki pemanas. Pengujian ini awalnya air pada tangki pemanas yang sudah panas mencapai nilai *set point* yang ditentukan akan diambil menggunakan kran manual, secara perlahan air akan berkurang lebih dari 10 cm. Lalu dilakukannya pengukuran level air menggunakan penggaris 30 cm dari sensor ke permukaan air nilai pengukuran didapatkan yaitu 11 cm, maka sensor akan mengirimkan sinyal ke sistem kontrol untuk memberikan perintah *solenoid valve* aktif mengisi air pada tangki pemanas mencapai nilai batas yang ditentukan.

3.3.5 Pengolahan Data

Tahap pengolahan data dari hasil yang didapatkan dari pengujian sistem yang dilakukan sehingga mendapatkan nilai persentase keberhasilan dari penelitian ini.

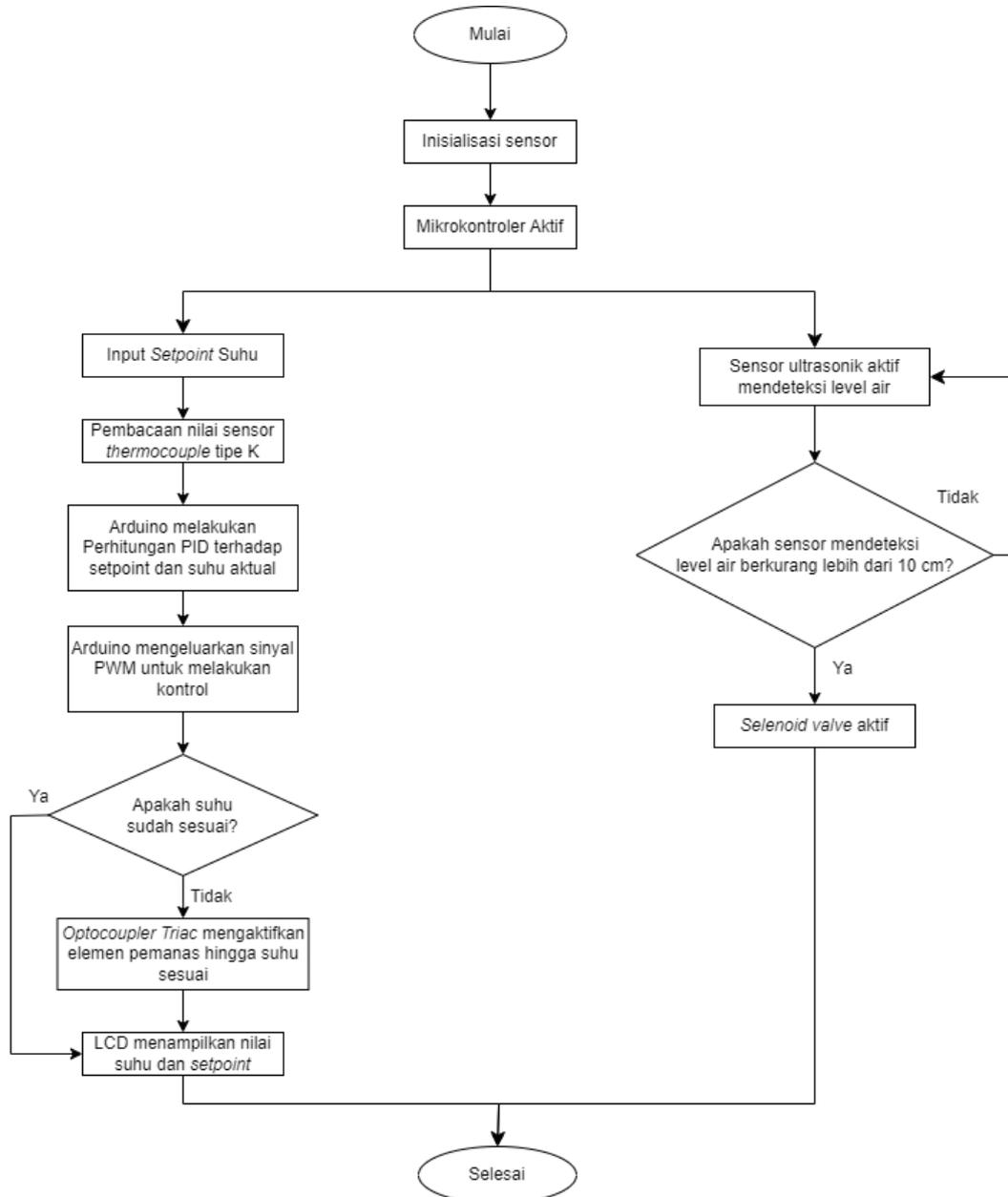
3.3.6 Pembuatan Laporan

Melakukan pembuatan laporan ini disusun sebagai rencana penelitian yang disajikan dalam bentuk proposal. Tujuan dari laporan ini adalah untuk menyajikan temuan penelitian dan memenuhi kewajiban penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.

3.4 Perancangan Sistem

Perancangan sistem ini dimulai dengan mengidentifikasi komponen yang akan diperlukan untuk penelitian, kemudian membuat pemrograman Arduino untuk mencoba sistem kontrol suhu menggunakan metode *Proportional Integral*

Derivative (PID) dan otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas. Pada Gambar 3.2 menggambarkan penggunaan diagram alir sistem untuk membuat alat kontrol suhu menggunakan PID dan otomatisasi pengisian air di dalam tangki pemanas.

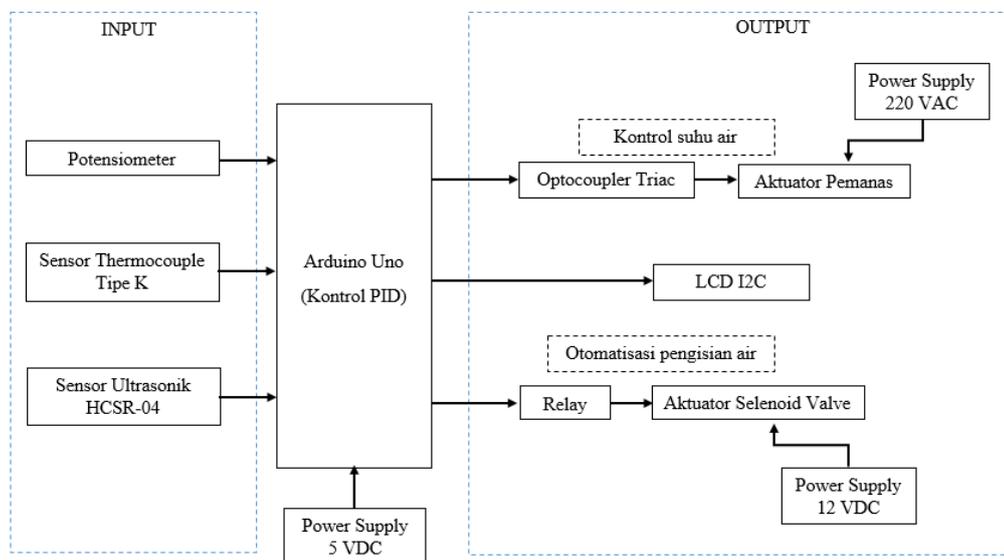


Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem

Pada Gambar 3.2 menampilkan diagram alir sistem kontrol suhu air dan otomatisasi pengisian air dalam tangki pemanas. Sistem ini diawali dengan inisialisasi sensor, dimana mikrokontroler yang aktif akan menjalankan dua fungsi utama yaitu mengendalikan suhu air menggunakan PID dan otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas. Pertama, nilai *set point* suhu yang diinginkan ditentukan

menggunakan potensiometer. Selanjutnya, sensor termokopel akan mendeteksi suhu air yang ada. Berdasarkan nilai *set point* dan suhu yang terdeteksi oleh sensor, Arduino akan melakukan perhitungan PID. Hasil dari perhitungan ini kemudian digunakan oleh Arduino untuk menghasilkan sinyal PWM yang akan mengontrol elemen pemanas. Proses kontrol ini dipantau melalui *serial monitor* untuk memastikan apakah suhu air sudah mencapai *set point* yang ditentukan. Jika belum sesuai dengan *set point* maka *optocoupler triac* akan aktif memberikan tegangan pada elemen pemanas untuk mengubah nilai suhu agar sesuai dengan nilai titik yang ditetapkan untuk menjaga nilai suhu berada di nilai *set point* tersebut. Setelah suhu mencapai *set point*, nilai tersebut akan ditampilkan pada layar LCD I2C. Lalu apabila sensor ultrasonik HC-SR04 mendeteksi level air berkurang lebih dari 10 cm, katup *solenoid* akan aktif untuk mengisi air dalam tangki dan menjaga level air tetap konsisten.

Berdasarkan diagram alir sistem tersebut terdapat diagram blok alat seperti pada Gambar 3.3.



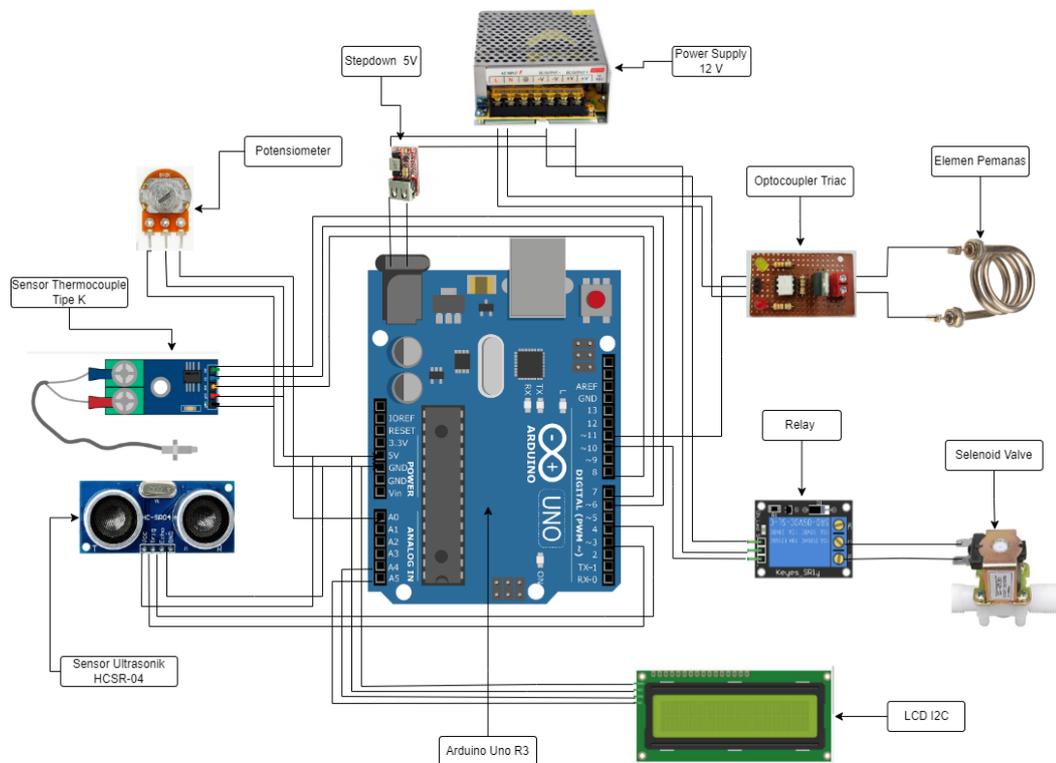
Gambar 3.3 Diagram blok alat

Dalam Gambar 3.3 ditunjukkan bahwa sistem memiliki dua masukan sensor, sensor termokopel tipe K untuk pengukuran suhu dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi level air. Sensor termokopel tipe K mengirimkan data ke mikrokontroler Arduino Uno, yang kemudian mengendalikan *optocoupler triac*

melalui *output* PID atau PWM. Lalu sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan mendeteksi level air dalam tangki pemanas. Jika level air berkurang lebih dari 10 cm, *relay* akan aktif untuk mengaktifkan katup *solenoid*, mengisi air ke dalam tangki agar tetap menjaga level air. Nilai suhu *set point* dan suhu yang terdeteksi oleh sensor ditampilkan pada *Liquid Crystal Display* (LCD) I2C.

3.5 Perancangan Alat

Adapun skema rangkaian alat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4

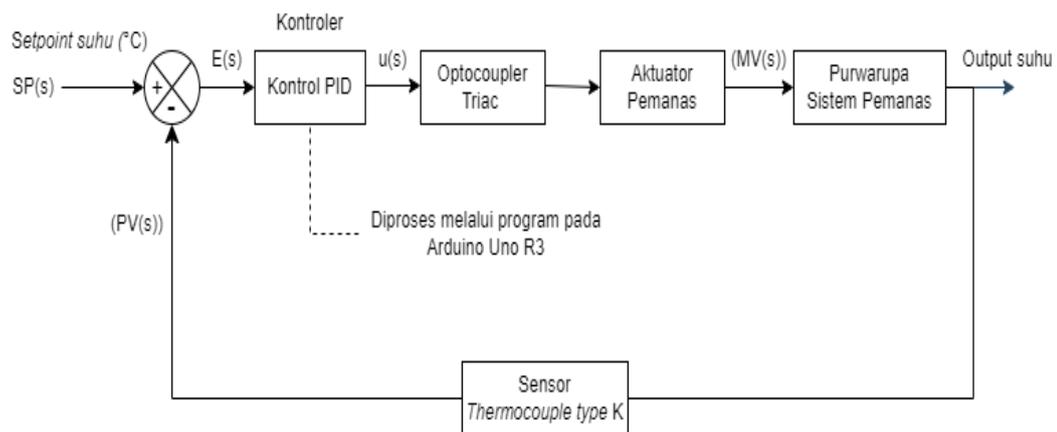


Gambar 3.4 Skema Rangkaian Alat

Dalam Gambar 3.4 adalah perancangan desain alat menggabungkan dua buah sensor yaitu sensor termokopel tipe K dan sensor ultrasonik HC-SR04, lalu terdapat potensiometer untuk menentukan *set point* suhu dan menggunakan *optocoupler triac* (*driver heater*) untuk mengendalikan tegangan AC pada elemen pemanas dan *relay* untuk mengaktifkan *solenoid valve*, selanjutnya terdapat LCD I2C. Semua komponen tersebut terhubung dengan mikrokontroler Arduino uno R3.

3.6 Perancangan Metode Kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID)

Sistem kontrol suhu dengan Arduino Uno R3 menggunakan kontrol *close loop* dengan umpan balik sensor termokopel tipe K untuk mendeteksi suhu air. Pengaturan umpan balik adalah proses dimana informasi suhu yang diukur oleh sensor termokopel tipe K dikirim kembali ke sistem kontrol untuk memutuskan apakah perlu melakukan penyesuaian pada rangkaian *optocoupler triac* (*driver heater*) untuk mengendalikan elemen pemanas untuk mempertahankan suhu *set point*. Dalam Gambar 3.5 menunjukkan blok perancangan kendali PID.

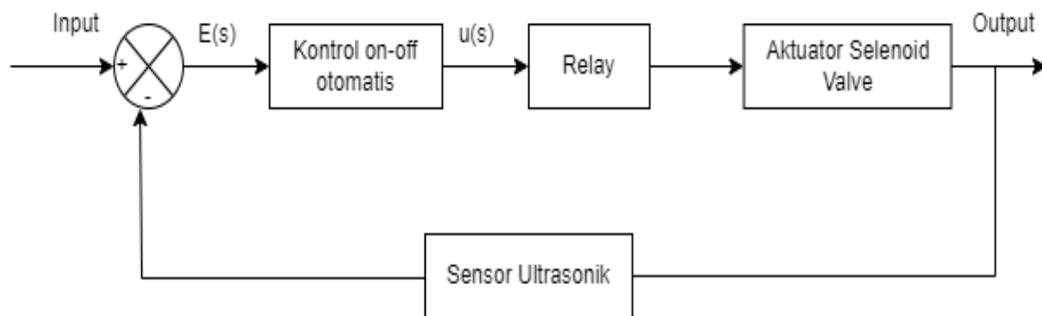


Gambar 3.5 Diagram blok perancangan kendali PID

Dalam tuning parameter K_p , K_i , dan K_d dilakukan dengan melakukan metode coba-coba suatu nilai tertentu sebagai parameter untuk mendapatkan sebuah performansi kontrol PID terbaik. Pendekatan ini dilakukan dengan cara tetapkan parameter K_i dan K_d ke angka satu terlebih dahulu, kemudian memberikan parameter K_p hingga keluaran *loop* kontrol beresilasi pada laju konstan hingga menghasilkan respon sistem menjadi lebih cepat mencapai titik setel atau *set point*. Setelah diperoleh respon K_p yang cepat, lalu tetapkan parameter K_i sehingga osilasi akan berkurang secara bertahap atau hingga kesalahan *steady state* berkurang, namun hal tersebut dapat meningkatkan *overshoot*. Setelah parameter K_p dan K_i disetel ke nilai yang diinginkan dengan kesalahan *steady state* minimal, lalu tingkatkan parameter K_d hingga sistem bereaksi cepat ke titik setelnya, dengan menambahkan nilai K_d akan menurunkan nilai *overshoot*.

3.7 Perancangan Metode Kontrol *On-off* Otomatisasi Pengisian Air

Aktuator dalam sistem kontrol dua posisi hanya memiliki dua posisi hanya hidup dan mati. Aktuator yang dikendalikan adalah *solenoid valve*, yang hanya berfungsi dalam dua keadaan, terbuka sepenuhnya atau tertutup sepenuhnya. *Valve* ini tidak beroperasi dalam rentang 0-100%, sehingga kontrol *on-off* akan menghasilkan *output* atau variabel proses yang berosilasi secara terus-menerus dan tidak mencapai kestabilan. Pada Gambar 3.6 merupakan diagram blok kontrol *on-off* otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas.

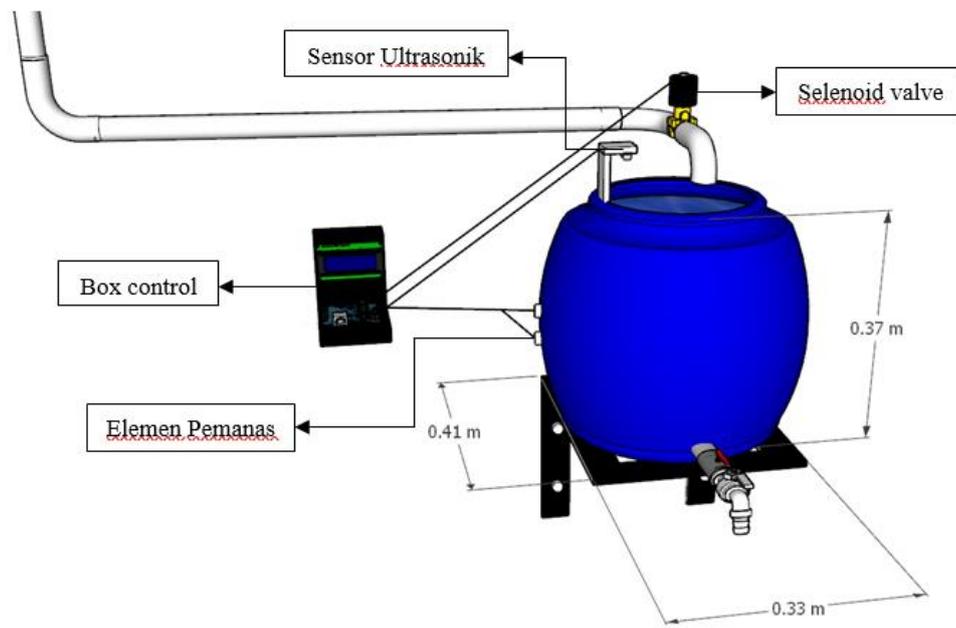


Gambar 3.6 Diagram blok kontrol *on-off* otomatisasi pengisian air pada tangki pemanas

Pada Gambar 3.6 awalnya sensor melakukan pengukuran. Selanjutnya memberikan umpan balik ke kontroler yang berfungsi untuk mendeteksi level air, jika level air berkurang lebih dari 10 cm maka *solenoid valve* akan dikontrol secara otomatis yaitu *on* dan *off* untuk mengisi air pada tangki pemanas.

3.8 Sketsa Penempatan Alat

Rancangan alat *water heater* membutuhkan alat dan bahan untuk membuat yaitu pipa air dengan diameter 3/4, tangki pemanas *stainless*, besi siku 30 cm, *solenoid valve* 12VDC, kran air, *black box*, elemen pemanas 350 watt, Arduino Uno R3, LCD I2C, potensiometer, sensor termokopel tipe K dan sensor ultrasonik HC-SR04. Dalam Gambar 3.7 menggambarkan tata letak penempatan alat yang akan digantung di dinding.



Gambar 3.7 Sketsa penempatan alat

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa alat purwarupa sistem pemanas air menggunakan metode kontrol PID ini berhasil dibuat dengan akurasi sebesar 100% menggunakan nilai parameter $K_p = 3$; $K_i = 4$; $K_d = 5$ dengan diperoleh nilai *rise time* sebesar 331 detik, *settling time* sebesar 332 detik, *overshoot* 0.68% dan kesalahan *steady state* 0.054%. Sistem pemanas air mendapatkan *transfer function* dengan akurasi 85,69. Selain itu, pengujian implementasi dari sistem yang dibuat menunjukkan akurasi sebesar 81,81%.

Sistem otomatisasi pengisian air di dalam tangki pemanas dapat bekerja saat air di dalam tangki pemanas saat jarak level air lebih dari batas bawah 10 cm dengan jarak level air awal yaitu 11 cm maka *solenoid valve* aktif dengan waktu 7 detik, saat jarak level air awal 12 cm *solenoid valve* aktif dengan waktu 9 detik, saat jarak level air awal 13 cm *solenoid valve* aktif dengan waktu 12 detik, saat jarak level air awal 14 cm *solenoid valve* aktif dengan waktu 16 detik, saat jarak level air awal 15 cm *solenoid valve* aktif dengan waktu 20 detik untuk mengisi dan menjaga level air pada tangki pemanas.

Berdasarkan pengujian pengaruh suhu awal air terhadap *rise time* dengan dua media berbeda, yaitu air kran biasa dan air es, yang dilakukan pada malam hari, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan suhu awal yang terdeteksi oleh sensor suhu. Suhu awal air keran biasa adalah 28.75°C , sementara suhu awal air es adalah 23.25°C . Perbedaan suhu awal ini berdampak pada waktu respon untuk mencapai *set point* (*rise time*). Pengujian dengan air keran menghasilkan *rise time* yang lebih cepat, rata-rata 6 menit, dibandingkan dengan air es yang memerlukan rata-rata 14 menit.

5.2 Saran

Usulan untuk penelitian ini melibatkan penerapan sistem antarmuka, seperti *LabView*, untuk menghubungkan *plant* dengan komputer. Hal ini akan memungkinkan pengamatan langsung terhadap respons sistem melalui grafik dan pemrograman untuk menyesuaikan nilai parameter K_p , K_i , dan K_d , serta menetapkan titik setel langsung dari komputer. Penambahan sistem monitoring *Internet of Things* untuk memantau kerja sistem dan mempermudah pengumpulan data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Faqih *et al.*, “Design Of Automatic Water Heating System For Washing Machine Testing,” *J. Stand.*, vol. 24, no. 1, pp. 13–20, 2022.
- [2] M. Zakiyyah, T. Ekasari, and I. Hanifah, “Pendidikan kesehatan dan pelatihan memandikan bayi,” *J-PENGMAS (Jurnal Pengabd. Kpd. Masyarakat)*, vol. 1, no. 1, pp. 29–36, 2017.
- [3] N. Putra, Nasruddim, A. L. M. Sinaga, and H. Chandra, “Sistem Air Conditioner Water Heater dengan Tiga Alat Penukar Kalor Tipe Koil disusun Seri,” *Semin. Tah. Tek. Mesin, SNTM-VI*, pp. 210–216, 2007.
- [4] J. I. Yani, I. Surya, and D. M. Akbar, “Perancangan dan Implementasi Pengatur Suhu Air Mandi Otomatis Berbasis Android,” *J. Komput. Terap.*, vol. 4, no. 2, pp. 28–39, 2018.
- [5] S. Afra, N. Wahyudin, R. Vahlevi, H. Prayoga, and N. Prasetyo, “Sistem Kontrol Pemanas Air Menggunakan Sensor Ultrasonik Dan Arduino Uno,” *Power Elektron. J. Orang Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 30–35, 2020, doi: 10.30591/polektro.v9i2.2017.
- [6] M. S. Pua, A. H. J. Ontowirjo, and P. D. K. Manembu, “Studi Perbandingan Kontrol PID dan Metode ON-OFF Pada Sistem Kotak Pendingin Menggunakan Thermoelectric,” *J. Teknol. dan Sains*, pp. 1–13, 2019.
- [7] Muhtarom and Sujono, “Perbandingan Sistem Kendali Pid Dan Kendali Logika Fuzzy Pada Pengendalian Suhu Sistem Pemanas Induksi,” *J. Maest.*, vol. 2, no. 1, pp. 212–218, 2019.
- [8] H. Nurhadi and Muntari, “Desain Sistem Kendali Rotary Pendulum Dengan Sliding -PID,” *J. Tek. Pomits*, vol. 2, no. 2, pp. 243–249, 2013.
- [9] R. PARLINDUNGAN, S. SUYANTO, F. ISDARYANI, and R. V. SANTOSO, “Kendali PI-D dan Kontrol Fuzzy pada Plant Level Air

- Terdistribusi,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 10, no. 2, p. 350, 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i2.350.
- [10] H. S. Palka and M. Yusfi, “Sistem Kontrol Temperatur Air pada Proses Pemanasan dan Pendinginan dengan Pompa sebagai Pengoptimal,” *J. Fis. Unand*, vol. 5, no. 3, pp. 222–227, 2016, doi: 10.25077/jfu.5.3.222-227.2016.
- [11] M. Muchlas, N. S. Widodo, and W. Wulur, “Karakteristik Sistem Kendali on-Off Suhu Cairan Berbasis Mikrokontroler At90S8535,” *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control.)*, vol. 3, no. 2, p. 123, 2005, doi: 10.12928/telkomnika.v3i2.1227.
- [12] Y. Adi and K. Prawiroredjo, “PENGATUR TEMPERATUR PADA DISPENSER BERBASIS ARDUINO MEGA 2560,” vol. 15, no. 1, pp. 29–40, 2017.
- [13] A. R. Harahap and R. M. Zega, “Pembuatan Alat Control Suhu Air di Dalam Bak Mandi Berbasis Arduino Uno,” *J. Electr. Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 68–73, 2023.
- [14] M. I. Marzuki, I. N. Farida, and, “Implementasi Controller PID (Proportional, Integral, Derivative) pada Robot Sepak Bola Beroda,” *Pros. SEMNAS*, pp. 297–302, 2021.
- [15] D. Amri and B. Y. Suprpto, “Analisa Respon Pengendali Feedforward Dan Pid Pada Pengendalian Temperatur Heat Exchanger,” *Mikrotiga*, vol. 1, no. 1, pp. 16–21, 2014.
- [16] M. R. A. Nurkholis Putera and R. Hidayat, “Kendali Kecepatan Motor DC Menggunakan Pengendali PID dengan Encoder sebagai Feedback,” *STRING (Satuan Tulisan Ris. dan Inov. Teknol.)*, vol. 7, no. 1, p. 50, 2022, doi: 10.30998/string.v7i1.13026.
- [17] D. W. Wardhana, A. Wahyudi, and H. Nurhadi, “Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendali Sumbu Azimuth Turret Pada Turret-Gun Kaliber 20mm,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 512–516, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.18110.
- [18] M. F. Harianto and Y. A. Prabowo, “Sistem Kontrol Pemanas Air Kamar Mandi Menggunakan PID Controller,” *Snestik*, vol. 1, pp. 155–160, 2021.

- [19] Usman and A. Busairi, "Uji Temperatur Elemen Pemanas Jenis Coil Terhadap Pembengkokan Termoplastik," *J. Ristech (Jurnal Riset, Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 2, pp. 16–23, 2020.
- [20] R. Chen, W. Zhai, and Y. Qi, "Mechanism and technique of friction control by applying electric voltage. (II) Effects of applied voltage on friction," *Mocaxue Xuebao/Tribology*, vol. 16, no. 3, pp. 235–238, 1996.
- [21] Y. Wishnu Pandu Prayudha, S. Fadhil, and S. Novianto, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Alat Thermobath sebagai Alat Kalibrasi Temperatur dengan Sistem Arduino Uno," *J. Asimetri J. Ilm. Rekayasa Inov.*, vol. 4, pp. 25–34, 2022, doi: 10.35814/asiimetrik.v4i1.2541.
- [22] I. Putu *et al.*, "The Prototype of Water Level Detection System Using HC-SR04 Sensor (I Putu Wahyu Pranata Kusuma Jaya, dkk) Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Ketinggian Air Jarak Jauh Menggunakan Sensor HC-SR04 dan Modul GSM SIM800L Berbasis Mikrokontroler ATmega 328 ," pp. 32–39.
- [23] Suhendar; and A. S. P. P. Pakpahan, "Rancang Bangun Pengendali Adaptif Untuk Menjaga Stabilitas Jaringan Akibat Beban Lebih Peralatan Listrik Rumah Tangga," vol. 03, no. 1, 2016.
- [24] M. La Raufun, Sandi Ardiasyah, "Prototype Pengontrol Pengisian Tandon Air Secara Paralel Menggunakan Solenoid Valve Berbasis Atmega 2560," *J. Inform.*, vol. 7, no. 2, pp. 30–35, 2018.
- [25] H. Suryantoro, "Prototype Sistem Monitoring Level Air Berbasis Labview dan Arduino Sebagai Sarana Pendukung Praktikum Instrumentasi Sistem Kendali," *Indones. J. Lab.*, vol. 1, no. 3, p. 20, 2019, doi: 10.22146/ijl.v1i3.48718.