

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN ALAT PENGONTROL SUHU PADA *RICE COOKER*
MENGUNAKAN METODE PID BERBASIS ARDUINO UNO**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Mencapai Gelas Sarjana Strata Satu (S1)
Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro**



Oleh:

MOHAMMAD AS'AD FUADI

NIM : 16.10201.00008

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO**

2018

LEMBAR PENGESAHAN

NAMA : MOHAMMAD AS'AD FUADI
NIM : 16.10201.00008
JUDUL : RANCANG BANGUN ALAT PENGONTROL SUHU
PADA *RICE COOKER* MENGGUNAKAN METODE PID
BERBASIS ARDUINO UNO
HARI : KAMIS
TANGGAL : 22 FEBRUARI 2018

MENGETAHUI / MENYETUJUI

DEWAN PENGUJI :

1. Dosen Pembimbing
Indah Sulistiyowati, ST.MT.
NIK : 210400


(.....)

2. Dosen Penguji I
Ir. Jamaaluddin, MM.
NIK : 214327


(.....)

3. Dosen Penguji II
Eko Agus Suprayitno, S.Si, MT.
NIK : 214326


(.....)

Sidoarjo, 22 Februari 2018

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Dekan Fakultas Teknik



Izza Anshory, ST.MT.

NIK : 202239

LEMBAR PERSETUJUAN

**RANCANG BANGUN ALAT PENGONTROL SUHU PADA *RICE COOKER*
MENGUNAKAN METODE PID BERBASIS ARDUINO UNO**

Oleh :

Nama : Mohammad As'ad Fuadi

NIM : 161020100008

Fakultas / Jurusan : Teknik / Elektro

Disetujui oleh :
Dosen Pembimbing



(Indah Sulistyowati, ST.MT.)

NIK. 210400

Mengetahui,
Ketua Program Studi Elektro



(Ir. Jamaaluddin, MM.)

NIK. 214327

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Mohammad As'ad Fuadi
Tempat, tanggal lahir : Sidoarjo, 16 Juli 1993
Alamat : Jl. Brigjend Katamso N0.46 RT:02 RW:10 Ds.
Kepuhkiriman Kec. Waru Kab. Sidoarjo 61256
NIM : 16.10201.00008
Program Studi / Angkatan : Teknik Elektro / 2016

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

- 1 Skripsi yang diajukan benar-benar hasil karya saya sendiri (tidak didasarkan pada data palsu / plagiasi / jiplaan).
- 2 Apabila pada kemudian hari terbukti bahwa pernyataan saya tidak benar, saya akan menanggung resiko diperkarakan sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan yang saya buat dengan sebenar-benarnya.

Sidoarjo, 22 Februari 2018

Yang Menyatakan,



METERAI
TEMPEL
001BDAEF969860122
2000
RUPIAH

Mohammad As'ad Fuadi

NIM : 16.10201.00008

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**RANCANG BANGUN ALAT PENGONTROL SUHU PADA RICE COOKER MENGGUNAKAN METODE PID BERBASIS ARDUINO UNO**”, sebagai persyaratan Akademis untuk menyelesaikan program Strata 1 pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan yang harus ditempuh mahasiswa jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sidoarjo untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Pada kesempatan ini tidak lupa pula penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr, Hidayatulloh, MSi selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
2. Izza Anshory, ST. MT Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
3. Ir. Jamaaluddin, MM Selaku Kaprodi Teknk Elektro Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
4. Indah Sulistiyowati, ST. MT Selaku Dosen Pembimbing Skripsi.
5. Ibu saya dan keluarga yang selalu memberikan semangat untuk melanjutkan pendidikan.
6. Thalita Noviari yang telah memberikan do’a, motivasi, dan semangat bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsinya.
7. Teman-teman Fakultas Teknik khususnya Jurusan Teknik Elektro angkatan 2014, yang banyak membantu dalam skripsi ini.

Penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna, sehingga kritik dan saran sangat diharapkan untuk pengembangan selanjutnya bagi penulis ataupun pihak yang berkepentingan. Penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Sidoarjo, 14 Februari 2018

Mohammad As’ad Fuadi

RANCANG BANGUN ALAT PENGONTROL SUHU PADA *RICE COOKER* MENGUNAKAN METODE PID BERBASIS ARDUINO UNO

ABSTRAK

Berkembangnya teknologi membuat manusia lebih menyukai sesuatu yang praktis dan efisien. Hal tersebut juga terjadi pada penggunaan *rice cooker*. Ada berbagai macam *rice cooker* di pasaran, namun terdapat beberapa permasalahan yang terjadi pada proses pengontrolan suhu. Padahal untuk memasak nasi, bubur dan roti kukus dibutuhkan respon suhu yang cepat dan stabil. Sehingga kematangan menjadi sempurna dan tidak merusak masakan. Oleh karena itu, dibuat suatu alat pengontrol suhu secara otomatis pada *rice cooker* sesuai set point yang diinginkan dengan Metode Trial and Error pada PID. Memberi aksi berupa peringatan jika nasi sudah matang dan dapat bekerja secara otomatis sesuai dengan masakan yang ingin dimasak seperti nasi, bubur, dan mengukus kue yang telah ditentukan dengan mempertimbangkan efisiensi waktu, efisiensi tenaga, serta user friendly. Apabila menggunakan Metode PID dan menggunakan heater eksternal *rice cooker* bekerja lebih baik dibandingkan dengan menggunakan Metode On/Off . Efisiensi waktu pemasakan sebesar 48.9% dari waktu awal pemasakan sampai matang.

Kata Kunci : Arduino, *Rice cooker*, Metode PID, Efisiensi

THE DESIGN OF TEMPERATURE CONTROL ON RICE COOKER BY USING ARDUINO PID BASED METHOD

ABSTRACT

The development of technology makes people prefer something practical and efficient. It also happens in the use of rice cooker. There are a variety of rice cookers in the market. Yet, there are some problems that occur in the process of controlling the temperature. Actually, a fast and stable temperature response is needed to cook rice, porridge even steamed buns. As the result, the ripness becomes perfect and does not ruin the cuisine. Therefore, an automatic temperature controller is made in the rice cooker according to the desired set point by Trial and Error Method on PID. The controller will provide a warning if the rice even the food is cooked. It will work automatically in accordance with the dishes you want cooked like rice, porridge, and steaming the cake that has been determined by considering the efficiency of time, energy efficiency, and user friendly. By using the PID Method and an external heater, the rice cooker will work better than using the On / Off method. The cooking time efficiency is 48.9% from the initial cooking time.

Keywords: Arduino, Rice cooker, PID Method, Efficiency

DAFTAR ISI

Cover	i
Halaman Judul	ii
Lembar Pengesahan	iii
Lembar Persetujuan	iv
Lembar Pernyataan	v
Kata Pengantar	vi
Abstrak	vii
Abstract	viii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Peneliti Terdahulu	7
2.2 Landasan Teori.....	9
2.2.1 Mikrokontroler Arduino Uno	9
2.2.2 Sensor Suhu Termokopel	13
2.2.3 AD595 Cold Junction Thermocouple Type-K.....	15
2.2.4 Buzzer.....	17
2.2.5 Aktuator.....	18
2.2.6 Zero Cross Detector.....	18
2.2.7 Driver Elemen Pemanas	20
2.2.8 Keypad 4X4.....	21
2.2.9 LCD Karakter 20X4	22

2.2.10	RTC (Real Time Clock)	23
2.2.11	Kontrol Proportional.....	25
2.2.12	Kontrol Integrator	27
2.2.13	Kontrol Diferential	28
2.2.14	Kontrol PID	28
2.2.15	PWM (Pulse Width Modulation).....	30
BAB III METODELOGI PENELITIAN		33
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	33
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	33
3.2.1	Alat dan Perangkat Lunak	33
3.2.2	Bahan	34
3.3	Teknik Analisa	34
3.4	Analisis Sistem.....	35
3.5	Perancangan Sistem.....	36
3.5.1	Diagram Blok Sistem Kerja.....	36
3.5.2	Perancangan Perangkat Lunak (Software)	37
3.5.3	Algoritma dan Diagram Alur Sistem.....	39
3.5.4	Penalaan Parameter PID	41
3.5.5	Penggunaan Sistem dengan Matlab.....	44
3.5.6	Kontroler PID Menggunakan <i>Software</i> Program IDE Arduino	47
3.5.7	Tampilan Respon PID Pada Visual Basic	48
3.5.8	Perancangan dan Modifikasi <i>Rice cooker</i>	50
3.5.9	Pembuatan Perangkat Keras Kontroller Utama.....	51
3.5.10	Pembuatan Perangkat Keras Kontroller Slave	53
3.5.11	Pembuatan Perangkat Keras Rangkaian Pencatu Daya.....	53
3.5.12	Pembuatan Perangkat Keras Rangkaian Pengkondisi Sinyal... ..	54
3.5.13	Pembuatan Perangkat Keras Rangkaian Kontrol Pemanas	54
3.5.14	Pembuatan Perangkat Keras Rangkaian Zero Cross Detector .	55
3.5.15	Pembuatan Perangkat Keras Modul LCD 20X4	56
3.5.16	Antarmuka Keypad Matrix 4X4	56
3.5.17	Integrasi Perangkat Keras	58
3.6	Pengujian Sistem	59

3.6.1	Pengujian Linearitas Sensor Suhu Thermocouple	59
3.6.2	Pengujian Driver Elemen Pemanas MOC 3021	61
3.6.3	Pengujian Rangkaian Zero Cross Detector.....	62
3.6.4	Pengujian Keseluruhan Sistem	64
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		67
4.1	Pengujian Mikrokontroler Arduino UNO	67
4.2	Pengujian Sensor Thermocouple Type-K	68
4.3	Pengujian Rangkaian Elemen Pemanas.....	70
4.4	Pengujian PWM Mikrokontroler.....	72
4.5	Pengujian Rangkaian <i>Zero Cross Detector</i>	73
4.6	Pengujian Karakteristik Sensor dengan Penambahan Pemanas Eksternal.....	74
4.7	Pengujian Karakteristik Suhu Saat Proses Pemasakan Nasi Secara Otomatis.....	76
4.8	Pengujian Karakteristik Suhu Saat Proses Pemasakan Bubur Secara Otomatis.....	78
4.9	Pengujian Karakteristik Suhu Saat Proses Mengukus Kue Secara Otomatis.....	81
4.10	Kesimpulan Akhir Pengujian Karakteristik Suhu Pada <i>Rice cooker</i> Otomatis.....	84
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		85
5.1	Kesimpulan	85
5.2	Saran.....	85
Daftar Putaka.....		87
Lampiran		88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Sederhana Mikrokontroler Atmega 32	10
Gambar 2.2	Board Arduino Uno	11
Gambar 2.3	Sensor Suhu Termokopel	13
Gambar 2.4	IC AD595	15
Gambar 2.5	Susunan kaki-kaki IC AD595.....	16
Gambar 2.6	Kontrol Set Point IC AD595	17
Gambar 2.7	Buzzer.....	17
Gambar 2.8	Hasil Penyearah Gelombang Penuh	18
Gambar 2.9	Rangkaian <i>Zero Cross Detector</i>	19
Gambar 2.10	Persimpangan Nol Dalam Bentuk Gelombang Sinus.....	19
Gambar 2.11	Blog Diagram Rangkaian Elemen Pemanas.....	20
Gambar 2.12	Bentuk Fisik IC MOC 3021	20
Gambar 2.13	Konfigurasi Pin MOC 3021	20
Gambar 2.14	Bentuk Fisik Keypad Matrix 4X4	21
Gambar 2.15	Konfigurasi Keypad Matrix 4X4.....	22
Gambar 2.16	Tampilan LCD 20X4.....	23
Gambar 2.17	Skematik RTC DS1307	24
Gambar 2.18	Modul RTC.....	24
Gambar 2.19	Diagram Blok Kontrol Tipe Proporsional	26
Gambar 2.20	Proporsional Band Dari Kontrol Tipe proporsional Tergantung Pada Penguatan	26
Gambar 2.21	Blok Diagram hubungan Antara Sinyal Error Dengan Sinyal Keluaran Kontrol Tipe Integral	27
Gambar 2.22	Blok Diagram Kontrol Tipe Diferensial.....	28
Gambar 2.23	Blok Diagram Kontrol Tipe PID Analog	29
Gambar 2.24	Hubungan Waktu Antara Sinyal Keluaran Dengan Masukan Untuk Kontrol Tipe PID.....	29
Gambar 2.25	Bentuk Gelombang Kotak (Pulsa) dengan Kondisi Sinyal High 5V Dan Low 0V	31
Gambar 2.26	PWM Mode Fast	31
Gambar 3.1	Diagram Blok Sistem Kerja	36

Gambar 3.2	Tampilan Program Arduino IDE	37
Gambar 3.3	Flowchart Penulisan Program Arduino	38
Gambar 3.4	Flowchart Sistem.....	39
Gambar 3.5	Flowchart Sistem Lanjutan.....	39
Gambar 3.6	Karakteristik Kenaikan Suhu Heater Pada <i>Rice cooker</i>	43
Gambar 3.7	Sistem Loop Tertutup Untuk Penegendali PID.....	43
Gambar 3.8	Program Kontrol PID	47
Gambar 3.9	Parameter PID Yang Digunakan Menggunakan <i>Trial</i>	48
Gambar 3.10	Tampilan VB Yang Digunakan Untuk Mengamati PID ...	48
Gambar 3.11	Tampilan Respon PID Yang Ditampilkan Oleh Visual	49
Gambar 3.12	Data Yang Terecord Oleh VB Tersimpan di Notepad	49
Gambar 3.13	<i>Rice cooker</i> CRJ - 780	50
Gambar 3.14	Mekanik <i>Rice cooker</i> Baru	50
Gambar 3.15	Design Tampilan Keseluruhan Alat	51
Gambar 3.16	Board Arduino Uno 328	51
Gambar 3.17	Rangkaian Minimum Sistem ATmega 8 Slave	53
Gambar 3.18	Rangkaian Pencatu Daya.....	54
Gambar 3.19	Rangkaian IC AD595	54
Gambar 3.20	Rangkaian Driver MOC 3021	55
Gambar 3.21	Rangkaian <i>Zero Cross Detector</i>	55
Gambar 3.22	Rangkaian Modul LCD 20X4	56
Gambar 3.23	Tampilan Keypad Yang Digunakan	57
Gambar 3.24	Tampilan Mode Menanak Nasi	58
Gambar 3.25	Tampilan Mode Memasak Bubur.....	58
Gambar 3.26	Tampilan Mode Mengukus Kue.....	59
Gambar 3.27	Tampilan Mode Manual	59
Gambar 4.1	Pengujian Mikrokontroller Arduino Uno	68
Gambar 4.2	Karakteristik Kontrol Driver Elemen Pemanas	71
Gambar 4.3	Nasi Yang Matang.....	76
Gambar 4.4	Dokumentasi Pengukusan Kue.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Matrix Peneliti Terdahulu.....	8
Tabel 2.2 Konfigurasi LCD 20X4	23
Tabel 2.3 Clock Register	25
Tabel 2.4 Efek dari setiap kontroller (Kp, Ki, Kd) dalam loop tertutup Respon Loop Tertutup	30
Tabel 3.1 Karakteristik Kenaikan Suhu (°C) pada <i>Heater</i>	41
Tabel 3.2 Karakteristik Penurunan Suhu <i>Heater</i>	42
Tabel 3.3 <i>Controllers Parameter dan Performances and Robustness</i>	44
Tabel 3.4 <i>Controllers Parameter dan Performances and Robustness</i>	45
Tabel 3.5 <i>Controllers Parameter dan Performances and Robustness</i>	46
Tabel 3.6 Pin Konfigurasi Rangkaian.....	52
Tabel 3.7 Konfigurasi Tombol Pada Keypad	56
Tabel 3.8 Tabel Hasil Percobaan Output Pengujian Sensor Thermocouple dengan Datasheet AD 595	61
Tabel 3.9 Tabel Pengujian Driver Elemen Pemanas MOC 3021	54
Tabel 3.10 Hasil Pengujian Driver Tegangan AC.....	63
Tabel 3.11 Karakteristik Suhu Menggunakan Metode ON-OFF	65
Tabel 3.12 Karakteristik Suhu Diberi PID	65
Tabel 3.13 Data Perbandingan Proses Pemasakan Untuk Masing - Masing Jenis Masakan Yang Disajikan	66
Tabel 4.1 Tabel Hasil Percobaan Mikrokontroller Arduino	68
Tabel 4.2 Tabel Hasil Percobaan Output Pengujian Sensor Thermocouple dengan Datasheet AD 595	69
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Driver Tegangan AC.....	73
Tabel 4.4 Tabel Perubahan Suhu Saat Menanak Nasi.....	75
Tabel 4.5 Tabel Perubahan Suhu Saat Menanak Nasi.....	77
Tabel 4.6 Tabel Effsiensi Saat Menanak Nasi.....	77
Tabel 4.7 Tabel Perubahan Suhu Saat Memasak Bubur	79
Tabel 4.8 Tabel Effsiensi Saat Menanak Nasi.....	80
Tabel 4.9 Tabel Perubahan Suhu Saat Mengukus Kue	82

Tabel 4.10	Tabel Effsiensi Saat Menanak Nasi.....	82
Tabel 3.13	Data Perbandingan Proses Pemasakan Untuk Masing - Masing Jenis Masakan Yang Disajikan	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman sekarang semua hal dalam kehidupan dituntut untuk serba praktis. Perkembangan teknologi yang cukup pesat membuat manusia terus berupaya untuk menciptakan alat-alat terbaru yang dapat memudahkan pekerjaan manusia. Cukup banyak penelitian serta pengembangan teknologi baru khususnya dalam bidang elektronika. Dalam pengembangan teknologi elektronika ini memiliki banyak sub bidang, seperti kontroller, robotik dan medika.

Jika diamati dengan realita saat ini, hampir setiap rumah tangga menggunakan peralatan memasak didapur secara otomatis dan serba canggih. Itu semua diawali dengan semakin berkembang pesatnya teknologi dan semakin sempit pula waktu yang dimiliki manusia untuk memenuhi kebutuhan pokok makanan di dalam rumah tangga. Penanak nasi yang awalnya menggunakan peralatan konvensional atau tradisional, sekarang bertransformasi menjadi *rice cooker* yang serba canggih. Tentu saja dengan bertambahnya *feature*, maka harga yang didapat pun semakin mahal. *Rice cooker* yang lama masih menggunakan teknologi ON-OFF saja yang mana suhu di dalam *rice cooker* itu sendiri tidak dapat diatur dan sering terjadinya *overheating* yang disebabkan oleh *rice cooker* di colokkan hingga seharian penuh sehingga dapat merusak bahan makanan yang berada di dalam *rice cooker* dan mengakibatkan pemborosan pada pemakaian listrik.

Dari permasalahan yang telah dipaparkan diatas munculah sebuah ide untuk merancang alat dengan bahasan mengenai alat pengontrol suhu pada *rice cooker*. Alat ini memanfaatkan peralatan pembantu pada keluarga berekonomi menengah kebawah agar mempunyai perlengkapan alat dapur yang memadai seperti halnya keluarga lain yang ada di kota. Dengan sedikit memodifikasi bagian dalam *rice cooker*, kelak alat ini bisa kategorikan sebagai *multi-function rice cooker* yang mana selain menanak nasi, alat ini bisa mengukus kue dan membuat bubur.

Aplikasi pengontrolan ini dilakukan untuk mengendalikan suatu proses menanak, mengukus dan mengolah bahan makanan dengan memanfaatkan sensor suhu *thermocouple* yang digunakan untuk mendeteksi suhu pada *rice cooker*. Sensor suhu akan dijadikan sebagai input tegangan analog yang akan diproses pada rangkaian ADC dengan merubah data analog menjadi tegangan digital. Dari data digital tersebut akan diproses pada mikrokontroler. Sistem ini juga yang akan mengatur suhu pada *rice cooker* tersebut. Hasil atau outputnya akan ditampilkan pada display LCD sesuai dengan kebutuhan suhu pada *rice cooker* yang menentukan level panas dan waktu yang ditentukan pada *rice cooker*.

Sistem ini juga terdapat timer, apabila proses memasak dalam *rice cooker* ini selesai maka buzzer otomatis berbunyi serta pemanasan otomatis berkurang suhunya untuk sekedar menghangatkan saja. Sehingga diharapkan sistem pengendali suhu pada alat *rice cooker* yang akan dibuat ini dapat memberikan sumbangan bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi elektronika rumah tangga pada khususnya.

Oleh sebab itu beberapa penulis yang sudah mengembangkan sistem sebelumnya Dwi Hadi Yusanto (2009), telah melakukan penelitian tentang, “Kontrol ON / OFF Rice Cooker Berbasis Mikrokontroler”. Pada waktu penelitian tersebut, mekanik yang dibuat mendapatkan sedikit modifikasi sehingga tidak mengganggu tempat menanaknya nasi ataupun lainnya. Kekurangan dari *rice cooker* ini adalah controller untuk suhu belum bisa otomatis karena suhu disetting melalui thermoswitch untuk menentukan *set point*, kemudian suhu tersebut disetting. Setelah timer habis maka suhu akan turun dan elemen pemanas akan *off* [1].

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas oleh peneliti adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah cara memodifikasi *rice cooker* dengan kualitas yang biasa menjadi kualitas yang multi guna untuk menanak nasi, membuat bubur, mengukus kue, dan memasak bebas untuk mode manual.

2. Bagaimanakah cara mengontrol pemanas tambahan dari *rice cooker* agar menghasilkan serta menstabilkan suhu yang kita inginkan sesuai suhu referensi yang ada.
3. Bagaimanakah cara membuat sistem monitoring dan pengaturan suhu serta waktu dengan memanfaatkan teknologi mikrokontroler arduino UNO.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah yang dibuat agar dalam penelitian ini dapat berjalan dengan baik adalah sebagai berikut :

1. Keluaran alat ini hanya memiliki 4 fungsi, yaitu mengukus kue, membuat bubur menanak nasi, serta adanya mode manual user untuk pengaturan waktu dan suhu yang diinginkan.
2. Kue yang akan dibuat untuk *percobaan rice cooker* ini adalah kue kukus dengan proses pematangan sekitar 100 °C
3. Tidak bisa membedakan bahan yang akan dimasak tetapi bisa diset oleh pengguna.

1.4 Tujuan

Tujuan utama dari pembuatan alat ini adalah untuk membuat sistem pengaturan suhu pada *rice cooker* sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Mengacu pada tujuan utama pembuatan alat ini maka terdapat beberapa tujuan khusus antara lain:

1. Memodifikasi *rice cooker* dengan kualitas biasa menjadi kualitas multi guna seperti menanak nasi, membuat bubur, mengukus kue, dan sebagainya.
2. Mendapatkan data yang akurat dengan tidak mengesampingkan kestabilan dari sistem bawaan pabrik.
3. Untuk merencanakan sebuah *rice cooker* dengan sistem kontrol pada peralatan rumah tangga yang dapat diatur suhu dan waktunya, sesuai dengan bahan yang akan dimasak.

1.5 Manfaat

Manfaat dari pembuatan alat ini adalah:

1. Bagi penulis bermanfaat sebagai:
 - a. Menambah wawasan dan pembelajaran baru sehingga bisa menambah pengalaman.
 - b. Lebih peka terhadap permasalahan-permasalahan yang terjadi sehingga bisa memberikan solusi dari setiap permasalahan yang terjadi. Lebih bisa berfikir inovatif dan kreatif dalam memecahkan permasalahan yang terjadi.
2. Bagi kampus bermanfaat sebagai:
 - a. Sebagai bahan *research* tentang elektronika khususnya dalam bidang elektronika pada rumah tangga.
 - b. Sebagai penambahan bahan ajar terhadap mahasiswa khususnya mahasiswa teknik elektro.
 - c. Sebagai bentuk memajukan perkembangan teknologi Indonesia dalam pengembangan IPTEK.
3. Bagi masyarakat bermanfaat sebagai:

Alat yang akan dibuat ini dapat digunakan secara umum oleh semua kalangan, akan tetapi lebih diutamakan kepada kalangan berekonomi menengah keatas. Pada operasionalnya, sistem ini perlu dihubungkan dengan sumber listrik (jala – jala PLN). Pembuatan alat ini dapat Menghemat waktu, biaya dan tenaga bagi penggunaannya. Selain itu, sistem utama yang digunakan yaitu kontroller dari otomasi yang akan diatur sedemikian rupa agar mudah digunakan ataupun dipindahkan dan diatur ulang kondisinya

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan arah mengenai hal-hal yang akan dibahas dalam penelitian ini maka disusun sebagai berikut:

Bab I : PENDAHULUAN

Pada Bab I akan membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, metodologi pembahasan dan sistematika pembahasan yang akan dipaparkan dalam penelitian ini.

Bab II : TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang berbagai macam teori yang mendukung dalam proses pembuatan dan perancangan alat yang akan dibuat seperti sensor Suhu Termokopel, Arduino Uno, Heater, Driver Heater, dll. Sehingga dapat bekerja sesuai yang diharapkan.

Bab III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi mengenai tahap-tahap dalam **RANCANG BANGUN ALAT PENGNONTROL SUHU PADA RICE COOKER MENGGUNAKAN METODE PID BERBASIS ARDUINO UNO**. Hal ini meliputi perancangan arsitektur perangkat keras (*Hardware*) dan perangkat lunak (*Software*).

Bab IV : PENGUJIAN ALAT

Membahas tentang pengujian dari perangkat keras, perangkat lunak dan pengujian sistem secara keseluruhan. Pengujian perangkat keras yakni menguji tiap – tiap perangkat keras yang telah dibuat, sehingga diketahui karakteristik dan respon masing – masing perangkat keras untuk integrasi sistem. Pengujian perangkat lunak yakni pengujian pembuatan program berdasarkan metode PID untuk menghasilkan keputusan aksi kontrol elemen pemanas sehingga elemen pemanas mampu bekerja mendekati nilai *set point* yang telah ditentukan. Pengujian sistem secara keseluruhan yakni melakukan pengujian secara menyeluruh di mulai dari perangkat keras, mekanik, dan *software* yang telah terintegrasi oleh sistem, pengambilan data – data terkait yang dapat digunakan untuk menganalisa berbagai hal seperti keakuratan sensor dan perbandingan input – output dari sistem keseluruhan. Sehingga mampu diketahui kinerja sistem keseluruhan sebagai bahan evaluasi selanjutnya.

Bab V : PENUTUP

Merupakan bagian akhir dari laporan yang terdiri dari kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan membahas mengenai tinjauan pustaka yang berhubungan dengan proses pengaturan suhu pada *rice cooker* dan data-data yang dijadikan sebagai penunjang alat yang akan dibuat, sehingga bisa dijadikan acuan dan bahan belajar untuk pengerjaan penelitian.

2.1 Peneliti Terdahulu

Sebelumnya Dwi Hadi Yusanto (2009), telah melakukan penelitian tentang, “Kontrol ON / OFF *Rice cooker* Berbasis Mikrokontroler”. Pada waktu penelitian tersebut, mekanik yang dibuat mendapatkan sedikit modifikasi sehingga tidak mengganggu tempat menanakannya nasi ataupun lainnya. Kekurangan dari *rice cooker* ini adalah controller untuk suhu belum bisa otomatis karena suhu disetting melalui thermoswitch untuk menentukan *set point*, kemudian suhu tersebut disetting. Setelah timer habis maka suhu akan turun dan elemen pemanas akan *off*[1].

Mohammad As’ad Fuadi (2014), telah melakukan penelitian tentang, “Rancang Bangun Sterilisator Alat-Alat Medis Dengan Sistem Pengendali Temperatur”. Pada penelitian ini diketahui adanya tambahan elemen pemanas sebanyak 2 pasang sehingga panas ruang akan bertambah besar. Perlu diketahui penelitian ini menghasilkan efisiensi waktu saat proses sterilisasi hingga 50% dari sebelum termodifikasi [2].

Pada penelitian ini, akan dilakukan penelitian tentang pengembangan controller *rice cooker* dari kedua paper, mekanik *rice cooker* didesain dari *rice cooker* yang sudah dimodifikasi dengan tambahan elemen pemanas sehingga terkondisi menjadi *rice cooker* yang mampu bekerja sesuai dengan sistem kontrol PID. Pada penelitian ini suhu yang diperoleh sesuai dengan suhu output dari actuator di dalam *rice cooker* yang terbaca oleh sensor. Besaran yang terbaca oleh sensor adalah tegangan yang akan dikonversi dalam besaran suhu dengan persamaan matematis. Hubungan antara tegangan dan suhu adalah linier. Sehingga, kelinieran ini akan menentukan kestabilan pembacaan sensor.

Kelinieran antara kedua variabel tersebut jika dikontrol dengan PID akan memiliki tingkat presisi yang tinggi untuk mencapai set point sehingga nilai *error*nya kecil.

Tabel 2.1 Matrix Peneliti Terdahulu

No	Nama (Tahun)	Judul	Metode	Hasil
1	Dwi Hadi Yusanto (2009)	Kontrol ON / OFF <i>Rice cooker</i> Berbasis Mikrokontroler	Pembuatan alat pengontrol suhu pada <i>rice cooker</i> dengan kontrol <i>on-off</i> . Pada penelitian ini, mekanik yang dibuat mendapatkan sedikit modifikasi sehingga tidak mengganggu tempat menanaknya nasi ataupun lainnya.	Suhu dapat disetting melalui <i>thermoswitch</i> untuk menentukan <i>set point</i> , kemudian suhu tersebut disetting. Setelah timer habis maka suhu akan turun dan elemen pemanas akan <i>off</i> .
2	Mohammad As'ad Fuadi (2014)	Rancang Bangun Sterilisator Alat – alat Medis dengan Sistem Pengendali Temperatur	Pembuatan alat pengontrol suhu pada <i>sterilisator</i> alat-alat medis dengan suhu dan waktu yang di tentukan sesuai dengan bahan yang akan di sterilkan secara otomatis. Alat tersebut menggunakan sensor terkopel dan RTC serta driver pemanas. Pada penelitian ini, mekanik yang dibuat dengan cara memodifikasi alat yang sudah ada.	Dengan menambahkan elemen pemanas sebanyak 2 pasang, sehingga dapat menghasilkan panas ruang yang akan bertambah besar. Sehingga dapat menghasilkan efisiensi waktu saat proses sterilisasi hingga 50% dari sebelum termodifikasi.

Persamaan dan perbedaan rancang bangun alat pengontrol suhu pada *rice cooker*.

Persamaan jurnal ini dengan penelitian yaitu rancang bangun alat pengontrol suhu yang akan di buat adalah sama-sama membahas proses pengontrolan suhu dan setting panas sebuah heater.

Sedangkan perbedaannya yaitu terletak dari metode dan media pengetesannya, yaitu pada penelitian terdahulu menggunakan sterilisator alat medis sebagai medianya dan masih bersifat konvensional hanya menggunakan control ON-OFF saja, sedangkan penelitian ini menggunakan media *rice cooker* yang nantinya dapat memanaskan bahan makanan secara otomatis.

2.2 Landasan Teori

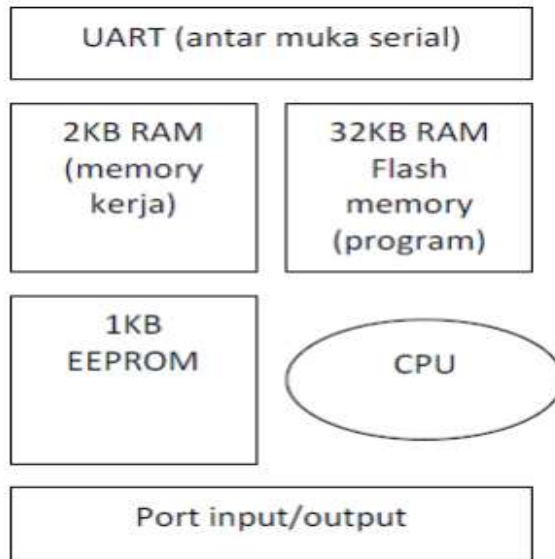
Pada bab ini akan mengkaji mengenai teori-teori penunjang yang digunakan dalam rancang bangun alat pengontrol suhu pada *rice cooker* menggunakan metode PID berbasis arduino uno.

2.2.1 Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino merupakan pengendali mikrokontroler single-board yang bersifat open-source, yang dirancang untuk memudahkan penggunaan sistem elektronik dalam berbagai bidang hal. Hardwarenya memiliki prosesor Atmel AVR ATMEGA 16 dan softwarenya memiliki bahasa pemrograman tersendiri. Open source IDE yang dapat digunakan untuk membuat aplikasi mikrokontroler yang berbasis platform arduino.

Kelebihan dari Arduino, adalah sebagai berikut:

1. Tidak memerlukan perangkat chip programmer karena di dalamnya sudah memiliki bootloader yang berfungsi untuk mengupload program dari komputer.
2. Memiliki sarana komunikasi USB yang berfungsi sebagai penghubung antara arduino dan laptop. Tidak memerlukan port serial RS232.
3. Terdapat modul yang siap pakai (shield) yang dapat ditancapkan pada board arduino [3].



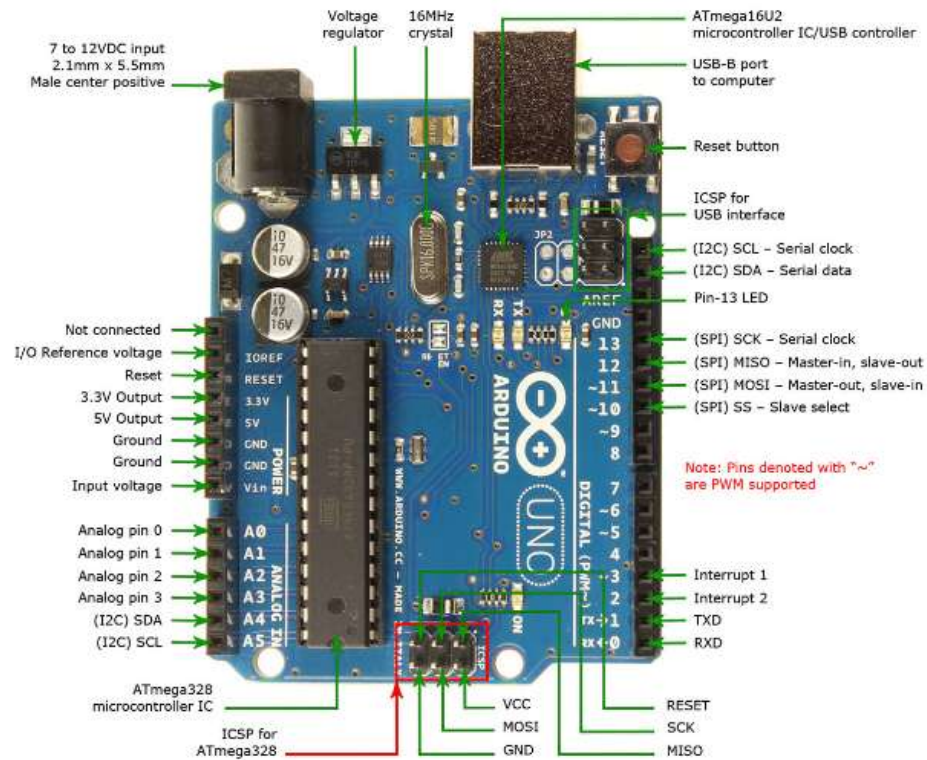
Gambar 2.1 Diagram Sederhana Mikrokontroler Atmega 32.
 (Sumber: Dinata, Yuwono Marta, (2015), *Arduino Itu sangatlah Mudah*. Panduan Lengkap Membuat Desain Elektro yang Inovatif. Jakarta.) [3]

Blok-blok di atas dijelaskan sebagai berikut:

1. *Universal Asynchronous Receive / Transmitter* (UART) adalah interface yang dapat digunakan untuk komunikasi serial seperti pada RS-232, RS-422 dan RS-485.
2. 2KB RAM pada memori kerja yang bersifat *volatile* (memori akan hilang saat daya pada arduino dimatikan).
3. 32KB RAM *flash memory* bersifat *non-volatile*, digunakan untuk menyimpan program yang dapat dimuat dari laptop. Selain digunakan untuk program, *flash memory* juga dapat menyimpan *bootloader*.
4. 1KB EEPROM bersifat *non-volatile*, yang dapat digunakan untuk menyimpan data yang tidak boleh hilang saat daya dimatikan.
5. Central Processing Unit (CPU), bagian dari mikrokontroler yang berfungsi untuk menjalankan setiap instruksi dari program.
6. *Port input dan output*, berupa pin-pin yang berfungsi untuk menerima data (*input*) berupa data digital atau data analog, dan mengeluarkan data (*output*) berupa data digital ataupun data analog [3].

Bagian – Bagian dari board arduino:

Bagian-bagiannya dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Board Arduino Uno

(Sumber: Dinata, Yuwono Marta, (2015), *Arduino Itu sangatlah Mudah*. Panduan Lengkap Membuat Desain Elektro yang Inovatif. Jakarta.) [3]

1. Input/output digital 14 pin (0-13)

14 pin berfungsi sebagai input dan output, dan dapat diatur oleh program. Khusus untuk 6 buah pin, yakni pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11. Dapat juga berfungsi sebagai pin analog output yang mana tegangan outputnya dapat diatur sendiri. Nilai ADC sebuah pin output analog dapat diprogram sendiri antara data ADC 0 – 255, yang mana data ADC tersebut dapat mewakili nilai tegangan 0 – 5V.

2. USB

USB berfungsi untuk:

- a) Mengupload program dari komputer ke dalam board arduino

- b) Sarana komunikasi serial antara board dengan komputer
- c) Mensupply tegangan pada board arduino

3. Sambungan SV1

Link ataupun jumper untuk memilih antara sumber daya board apakah dari sumber tegangan eksternal ataupun menggunakan sumber tegangan dari USB komputer.

4. Q1 = Kristal (quartz crystal oscillator)

Jika arduino dianggap sebagai sebuah otak dari sebuah sistem, maka kristal merupakan jantungnya karena komponen inilah yang akan menghasilkan detak-detak yang akan dikirim kepada arduino agar melakukan sebuah operasi pergerakan untuk setiap detak-nya. Kristal yang akan dipilih yang berdetak enam belas juta kali per detik (16MHz).

5. Tombol Reset S1

Tombol Reset S1 berfungsi untuk mereset atau mengatur ulang board sehingga program yang masuk di board akan mulai lagi dari awal.

6. In = Circuit Serial Programming (ICSP)

Port ICSP yang dapat memungkinkan pengguna untuk memprogram mikrokontroler secara langsung tanpa memerlukan bootloader.

7. IC 1 = Mikrokontroler Atmega

IC 1 merupakan komponen utama dari board arduino, di dalamnya terdiri dari ROM, RAM dan CPU.

8. X1 = Sumber Daya External

Apabila akan memberikan supply tegangan pada board arduino, sebaiknya diberi tegangan 5-12V.

9. Input analog 6 Pin (0-5)

Pada pin ini sangat digunakan untuk pembacaan tegangan yang akan dihasilkan oleh sensor analog. Program dapat membaca nilai dari sebuah pin input antara 0 – 1023, dimana hal tersebut dapat mewakili nilai tegangan 0 – 5V.

2.2.2 Sensor Suhu Termokopel

Sensor merupakan alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi barang ataupun zat tertentu. Sensor tergolong dalam jenis transduser yang sering dapat digunakan untuk mengubah dari variasi magnetis, mekanis, kimia, sinar, dan panas. menjadi tegangan ataupun arus listrik. Pada perkembangannya, sensor telah dibuat dengan ukuran yang sangat kecil dengan orde nanometer. Ukuran yang sangat kecil inilah dapat memudahkan pemakaian dan menghemat tempat. Sensor biasanya dapat dikategorikan melalui alat pengukur dan dapat memegang peranan penting dalam pengendalian dalam sebuah proses pabrikasi modern. Sensor juga dapat memberikan ekivalen indera mata, pendengaran, hidung lidah dan menjadi otak mikroprosesor dari sistem otomatisasi pada industri.

Pada penelitian ini sensor yang akan digunakan untuk mendapatkan data berupa suhu pada proses pemanasan pada *rice cooker* yakni sensor *Thermocouple*. Untuk mengukur suhu pada *rice cooker* digunakan sensor suhu Termokopel karena memiliki respon yang sangat cepat untuk mendeteksi suhu dengan range suhu maksimal 150 °C.

Termokopel adalah salah satu aplikasi dari prinsip termodinamika, yang mana termokopel ini sering digunakan pada pengaman pada alat-alat pemanas pada Industri besi atau baja, pembangkit listrik tenaga panas radioisotope.

Termokopel merupakan sensor suhu yang sering digunakan untuk mengubah perbedaan antara suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (voltase). Termokopel yang memiliki design sederhana dapat dipasang, dan memiliki jenis konektor standar yang sama (universal), serta dapat juga mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang sangat besar dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1 °C. Selain itu sensor ini dapat dikalibrasi secara langsung ke derajat celcius.

Prinsip kerja dari sensor termokopel adalah adanya suatu perbedaan panas secara gradien yang akan menghasilkan tegangan listrik. Hal ini sering disebut sebagai efek termoelektrik. Untuk mengukur suatu perubahan panas terdapat gabungan dua macam konduktor sekaligus yang sering dipakai pada ujung benda panas yang akan diukur. Konduktor tambahan ini yang kemudian akan mengalami gradiasi suhu, dan mengalami perubahan tegangan secara berkebalikan dengan

perbedaan temperatur pada benda. Menggunakan logam yang berbeda untuk melengkapi rangkaian akan dapat menghasilkan tegangan yang berbeda – beda. Meninggalkan perbedaan kecil pada tegangan memungkinkan kita akan melakukan pengukuran, yang akan bertambah sesuai dengan temperature yang ada. Perbedaan ini umumnya berkisar antara 1 hingga 70 microvolt tiap °C untuk kisaran yang akan dihasilkan oleh kombinasi logam. Beberapa kombinasi menjadi sangat populer karena berfungsi sebagai standar industri. Termokopel dapat mengukur perbedaan temperatur di antara 2 titik dan merupakan bukan temperatur absolut.

Terdapat beberapa tipe Termokopel yaitu:

1. Tipe K terbuat dari bahan Chromel (Ni-Cr alloy) atau Alumel (Ni-Al alloy). termokopel ini sering digunakan untuk umum dan dijual belikan secara bebas dengan harga yang lebih murah. Dengan rentang suhu antara $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Tipe E terbuat dari bahan (Chromel / Constantan (Cu-Ni alloy), yang memiliki output yang sebesar ($68\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) yang sangat cocok digunakan pada temperature sangat rendah.
3. Tipe J terbuat dari bahan (Iron / Constantan), dengan rentang suhu yang terbatas yakni antara -40 hingga $+750\text{ }^{\circ}\text{C}$ membuatnya kurang populer dibanding tipe K.
4. Tipe N terbuat dari bahan (Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) atau Nisil (Ni-Si alloy), Tipe ini sangatlah tabil dan tahan yang lebih tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N sangatlah cocok digunakan untuk pengukuran suhu yang sangat tinggi tanpa memerlukan platinum. dengan rentang suhu di atas $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sensitifitasnya sekitar $39\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ pada 900°C .
5. Type B yang terbuat dari bahan (Platinum-Rhodium/Pt-Rh), sangatlah cocok untuk mengukur suhu di atas $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Type B tersebut dapat memberi output yang sama pada suhu antara 0°C hingga 42°C sehingga tidak dapat dipakai dengan suhu di bawah 50°C .
6. Type R yang terbuat dari bahan (Platinum /Platinum with 7% Rhodium), sangatlah cocok untuk mengukur suhu di atas $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sensitivitas sangatlah rendah yakni ($10\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) dan harganya sangatlah tinggi

sehingga tidak cocok untuk digunakan secara umum ataupun perseorangan.

7. Type S yang terbuat dari bahan (Platinum /Platinum with 10% Rhodium), sangatlah cocok untuk mengukur suhu di atas 1600 °C. Dengan sensitivitas yang sangat rendah ($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) dan harganya sangatlah tinggi sehingga tidak cocok untuk digunakan secara umum ataupun perseorangan. Karena stabilitasnya yang tinggi Type S ini sering digunakan untuk standar pengukuran titik leleh emas ($1064.43 \text{ }^\circ\text{C}$).
8. Type T yang terbuat dari bahan (Copper / Constantan), sangatlah cocok digunakan untuk pengukuran antara $-200^\circ\text{C} - 350 \text{ }^\circ\text{C}$. Konduktor positif yang terbuat dari bahan tembaga, dan yang negatif terbuat dari bahan constantan. Type T ini sering dipakai sebagai alat pengukur alternative. Type T ini memiliki sensitifitas $\sim 43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ [4].



Gambar 2.3 Sensor Suhu Termokopel

(Sumber: Samadikun, S. (1988). *Sistem Instrumentasi Elektronika*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.) [4]

2.2.3 AD595 Cold Junction Thermocouple Type-K

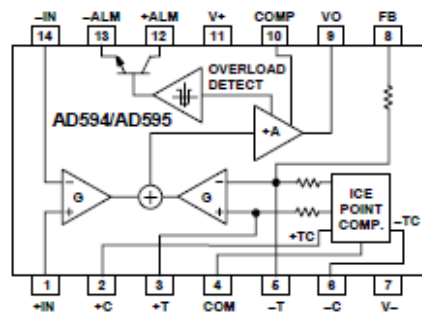


Gambar 2.4 IC AD595

(Sumber: Marchin, Joe. (1995). *Listrik Device Thermocouple Signal Conditioning Using the AD594/AD595*, London.) [5]

AD595 adalah *amplifier-compensator linier* yang terdapat pada Suatu IC yang dapat menghasilkan output tingkat tinggi ($10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$) secara langsung dari

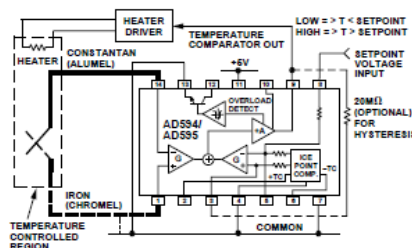
termokopel. *Cold junction* pada AD595 dapat digunakan sebagai penguat tegangan kompensasinya secara langsung, dengan cara mengubahnya menjadi *Celsius transducer* dengan suatu Outputan voltase impedansi yang sangat rendah. Bentuk dari IC AD595 terlihat seperti gambar 2.4 diatas. AD595 Itu memiliki fitur alarm yang berfungsi apabila sensor termokopel tidak tersambung dengan IC AD595 maka salah satu atau kedua Lampu LED termokopel akan menyala karena itu, IC AD595 memiliki fitur output alarm fleksibel yang termasuk dalam golongan TTL. Konfigurasi susunan kaki-kaki IC AD595 seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Susunan kaki-kaki IC AD595

(Sumber: Marchin, Joe. (1995). *Listrik Device Thermocouple Signal Conditioning Using the AD594/AD595*, London.)[5]

AD594/AD595 membutuhkan supplay +5V - +15V DC dan dapat mengukur suhu negatif, yakni suhu di bawah 0 ° C. Tegangan transduser temperatur dan resistor gain control tersedia dalam satu paket yang terbagi oleh beberapa pin. Pin tersebut dapat menunjukkan bahwa sirkuit dapat dikalibrasi ulang untuk semua jenis termokopel dengan penambahan dua atau tiga resistor. Terminal ini juga dapat memungkinkan kalibrasi lebih presisi dengan tepat dan baik untuk termokopel dan termometer sebagai aplikasinya.



Gambar 2.6 Kontrol Set Point IC AD595

(Sumber: Marchin, Joe. (1995). *Listrik Device Thermocouple Signal Conditioning Using the AD594/AD595*, London.) [5]

AD594/AD595 ini tersedia dalam dua nilai kinerja, yakni C dan A. masing-masing-Nya memiliki akurasi kalibrasi $\pm 1^\circ\text{C}$ dan $\pm 3^\circ\text{C}$. Keduanya dirancang untuk digunakan dari -200°C sampai $+1300^\circ\text{C}$, dan tersedia dalam 14-pin. IC AD595 juga dapat dijadikan kontrol set point seperti pada gambar 2.6 [5].

2.2.4 Buzzer

Buzzer merupakan komponen elektronika yang dapat berfungsi sebagai pengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Prinsip kerja buzzer pada dasarnya hampir sama dengan speaker, buzzer terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma tersebut dan kemudian kumparan tersebut akan dialiri arus listrik sehingga akan menjadi elektromagnet, kumparan tersebut akan tertarik ke dalam maupun keluar. Karena kumparan dipasang pada diafragma maka pada setiap gerakan pada kumparan akan mengakibatkan pergerakan pada diafragma secara bolak-balik sehingga membuat udara bergetar yang akan menghasilkan suara yang sangat keras. Buzzer biasanya digunakan sebagai indikator suatu sistem maupun suatu kesalahan pada sebuah alat (alarm). Buzzer seperti terlihat pada gambar 2.7 [6].



Gambar 2.7 Buzzer

(Sumber: Danel, Gusrizam, Wildian, (2012), “*Otomatisasi Keran Dispenser Berbasis Mikrokontroler AT89S52 Menggunakan Sensor Fotodiode dan Sensor Ultrasonik Ping*”, Universitas Andalas, Padang.) [6]

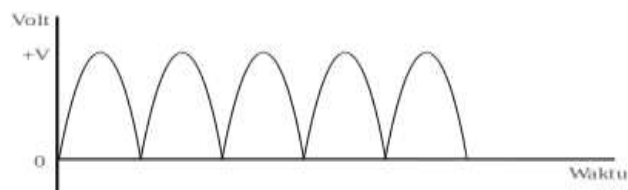
2.2.5 Aktuator

Aktuator yang digunakan dalam penelitian ini adalah *driver* elemen pemanas MOC 3021 untuk mengontrol beban AC dari elemen pemanas. Panas yang dihasilkan oleh elemen *heater* ini bersumber dari kawat ataupun pita yang memiliki tahanan listrik yang sangat tinggi (*resistance wire*). Bahan yang digunakan adalah nikelin yang dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi oleh bahan isolator yang mampu meneruskan aliran panas dengan baik sehingga aman jika digunakan. Elemen pemanas bekerja berdasarkan rangkaian *driver* pemanas. Elemen pemanas bekerja berdasarkan rangkaian driver sehingga pemanas suhu pada elemen pemanas dapat diatur nilainya.

2.2.6 Zero cross Detector

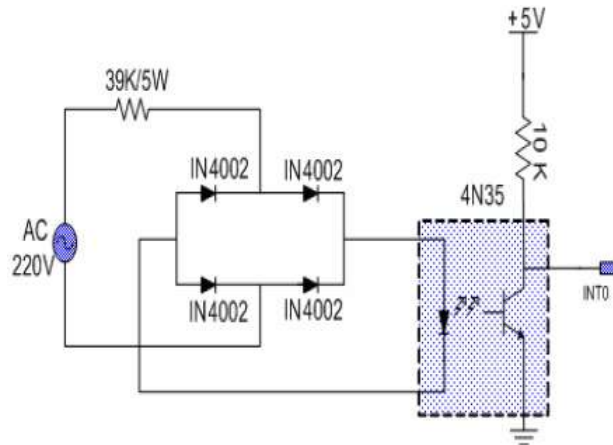
Zero cross detector adalah rangkaian yang dapat digunakan untuk mendeteksi sebuah gelombang sinus AC 220 volt pada saat melewati titik tegangan nol. Seberangan dari titik nol yang dapat dideteksi adalah peralihan dari polaritas positif menuju polaritas negatif dan sebaliknya. Seberangan titik nol tersebut merupakan acuan yang dapat digunakan sebagai awal pemberian nilai delay untuk memicu triac. Rangkaian pembentuk *zero cross detector* berupa IC optocoupler yang terdiri dari led infra merah dan transistor. Rangkaian *zero cross detector* diaplikasikan pada saat pemberian bias tegangan gate pada TRIAC. Pada Rangkaian *zero cross detector* ini digunakan a perangkat pengontrol elemen pemanas atau beban AC yang dikendalikan oleh TRIAC.

Prinsip kerja dari rangkaian *zero cross detector* adalah tegangan AC yang diperoleh dari jala – jala PLN disearahkan oleh 4 buah diode *rectifier* yang membentuk dioda bridge. Keluaran dari rangkaian diode bridge ini adalah tegangan yang sudah disearahkan penuh dengan frekuensi sebesar 100 Hz [7].



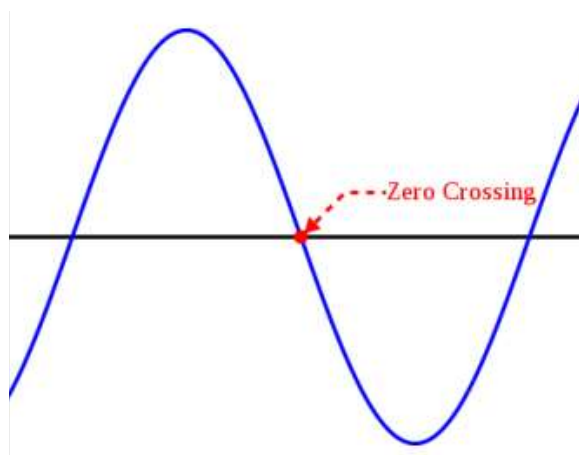
Gambar 2.8 Hasil Penyearah Gelombang Penuh
(Sumber: Zhanggishan. Zuhul. (2004), Prinsip Dasar Elektronika, PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta) [7]

Ketika tegangan terdeteksi pada titik 0 maka inframerah pada optocoupler aktif dan memicu transistor untuk aktif. Sehingga jika dikalkulasi, maka akan terjadi 100 aksi zero cross setiap 1 detik berlangsung. Rangkaian *zero cross detector* yang dibuat tertera pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Rangkaian *Zero Cross Detector*

(Sumber: Zhanggischan. Zuhul. (2004), Prinsip Dasar Elektronika, PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta) [7]

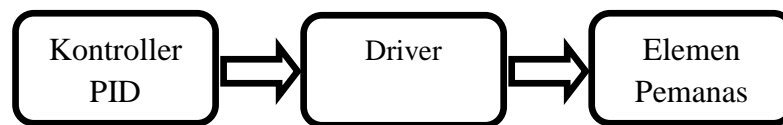


Gambar 2.10 Persimpangan Nol Dalam Bentuk Gelombang Sinus

(Sumber: Zhanggischan. Zuhul. (2004), Prinsip Dasar Elektronika, PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta) [7]

2.2.7 Driver Elemen Pemanas

Rangkaian inilah yang mengatur kerja dari TRIAC. Panas yang dihasilkan oleh elemen *heater* ini bersumber dari kawat ataupun pita yang memiliki tahanan listrik yang sangat tinggi (*resistance wire*). Bahan yang digunakan adalah nikelin yang dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi oleh bahan isolator yang mampu meneruskan aliran panas dengan baik sehingga aman jika digunakan. Elemen pemanas bekerja berdasarkan rangkaian *driver* pemanas. Hasil sinyal rangkaian *zero cross detector* diolah oleh mikrokontroler sebagai eksternal interrupt yang kemudian akan diteruskan menuju rangkaian elemen pemanas, sehingga rangkaian elemen pemanas mampu memberikan kontrol suhu sesuai yang diinginkan. Kontrol PWM dilakukan dengan memberikan instruksi pada mikro dan instruksi tersebut akan diterima oleh *driver* pemanas, sehingga *driver* pemanas mampu memberikan kontrol suhu sesuai yang diinginkan oleh *user* [8].

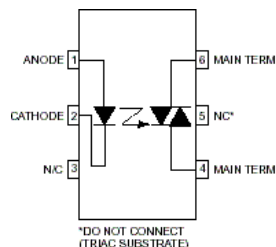


Gambar 2.11 Blog Diagram Rangkaian Elemen Pemanas



Gambar 2.12 Bentuk Fisik IC MOC 3021

(Sumber: Pandiangan, Johannes, (2007), ”*Perancangan Dan Penggunaan Photodiode Sebagai Sensor Penghindar Dinding Pada Robot Forklift*”, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara.) [8]



Gambar 2.13 Konfigurasi Pin MOC 3021

(Sumber: Pandiangan, Johannes, (2007), ”*Perancangan Dan Penggunaan Photodiode Sebagai Sensor Penghindar Dinding Pada Robot Forklift*”, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara.) [8]

IC MOC 3021 merupakan optoisolator yang didalamnya terdapat inframerah dan optotriac yang dapat memisahkan antara tegangan tinggi dari actuator sehingga apabila terjadi kerusakan atau konsleting dari actuator, tidak akan mempengaruhi mikrokontroler. Dengan demikian IC ini dapat digunakan untuk men-drive tegangan tinggi melalui kontrol dari mikrokontroler.

Prinsip kerja dari IC ini adalah ketika terdapat arus yang mengalir dari anoda ke katoda maka inframerah di dalam MOC 3021 akan menyala dan gate dari optotriac akan mendeteksi cahaya inframerah tersebut sehingga tegangan dari *main term* pin nomer 6 menuju pin nomer 4 dan triac akan aktif [8].

2.2.8 Keypad Matrix 4x4

Keypad matrix adalah kumpulan push button yang disusun menjadi matrix dengan jumlah kolom dan jumlah baris tidak melebihi 8. Dengan kata lain jumlah kolom + jumlah baris ≤ 8 . Maka dengan keypad matrix kita dapat menggunakan maksimal 16 push button untuk mengakses 8 bit PORT I/O mikokontroler. Gambar 2.14 menunjukkan bentuk fisik dari keypad matrix 4x4.



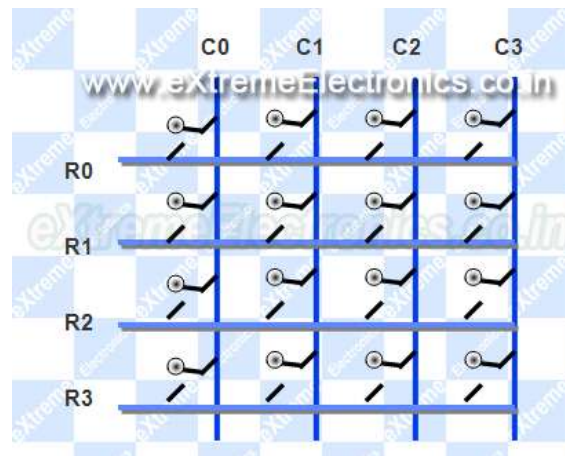
Gambar 2.14 Bentuk Fisik Keypad Matrix 4x4

(Sumber : Ladyada, Putri, (2015), “*Elektronika Dasar*”, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan) [9]

Pada gambar 2.15 terdapat 16 buah tombol yang terhubung ke PORT I/O mikokontroler. Jika enam belas tombol tersebut tidak tersusun menjadi matrix, maka tombol – tombol tersebut tidak bisa digunakan seluruhnya dalam 1 PORT I/O mikrokontroler. Tetapi jika disusun menjadi matrix 4x4 maka kita hanya membutuhkan 8 bit PORT I/O mikrokontroler.

Setiap baris saling terhubung dengan tombol yang lain dalam satu baris maupun satu kolom. Untuk mendapatkan data yang dimasukkan ke PORT mikrokonroler, kita melakukan proses *scanning* data. Ini dilakukan dengan cara

membaca data pada kolom kemudian dibandingkan dengan data pada baris, sehingga didapatkan data pada kolom dan baris button yang ditekan. Penjelasan lebih detail terangkum pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Konfigurasi Keypad Matrix 4x4

(Sumber : Ladyada, Putri, (2015), “*Elektronika Dasar*”, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan) [9]

Penggunaan keypad matrix lebih efisien apabila push button input yang dibutuhkan lebih dari 8 *switch*, karena *toggle switch* atau push button yang dipakai jumlahnya sama dengan jumlah pin yang diakses. Jadi satu *switch* hanya digunakan pada satu pin. Hal ini tentunya memiliki kekurangan antara lain kita tidak bisa menggunakan lebih dari 8 *switch* untuk mengakses 1 PORT. Padahal kita membutuhkan banyak button input dan PORT yang lain telah digunakan. Maka untuk mengatasi hal itu kita menggunakan keypad matrix [9].

2.2.9 LCD Karakter 20X4

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan sebuah teknologi dari layar digital atau monitor yang menghasilkan citra gambar atau karakter pada sebuah permukaan yang rata (*flat*) dengan memberi sinar pada kristal cair dan filter berwarna, Modul LCD karakter dapat dihubungkan dengan arduino. LCD dapat berfungsi sebagai monitoring atau menampilkan menu pada aplikasi arduino, menampilkan teks atau karakter, dan menampilkan suatu nilai output dari hasil sensor [10].



Gambar 2.16 Tampilan LCD 20x4.

(Sumber: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/GDM2004D.pdf>
Diakses pada tanggal 05 November 2016, Pukul 18:10 WIB) [10]

Tabel 2.2 Konfigurasi LCD 20x4.

Pin No	Symbol	Level	Description
1	VSS	0V	Grounding
2	VDD	5V	Supply Voltage logic
3	VO	(Variable)	Operating voltage LCD
4	RS	H atau L	H: DATA, L: Instruction code
5	R atau W	H atau L	H: Read L: Write
6	E	H,H atau L	Chip pada enable signal
7	DB0	H atau L	Data pada bus line
8	DB1	H atau L	Data pada bus line
9	DB2	H atau L	Data pada bus line
10	DB3	H atau L	Data pada bus line
11	DB4	H atau L	Data pada bus line
12	DB5	H atau L	Data pada bus line
13	DB6	H atau L	Data pada bus line
14	DB7	H atau L	Data pada bus line
15	A	5V	LED +
16	K	0V	LED-

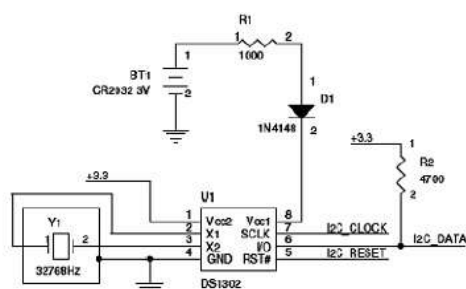
2.2.10 RTC (Real Time Clock)

RTC (Real Time Clock) merupakan modul penghitung waktu dan penyimpan data yang compatible dengan DT-51. RTC yang digunakan dalam penelitian ini adalah DS1307, dimana:

Komponen utama RTC adalah DS1307 dengan fitur:

1. Menghitung waktu dari mulai detik, menit, jam, tanggal, bulan, tahun, hari dalam minggu hingga kabisat.

2. Memory atau RAM sebesar 31 byte
3. Akses dari single byte atau burst.
4. Support tegangan dari baterai Lithium atau Ni-Cd untuk backup supply.
5. Kemampuan untuk melakukan Trickle Charge sebagai pengisian battery jenis Ni-Cd.

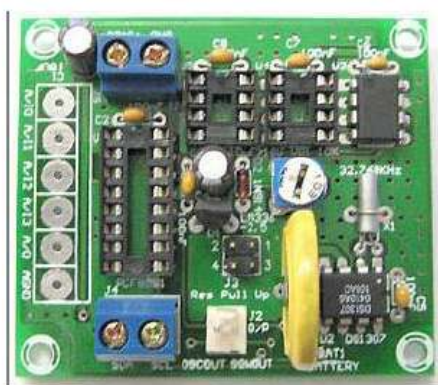


Gambar 2.17 Skematik RTC DS1307

(Sumber: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/DS1307.pdf>
Diakses pada tanggal 05 November 2016, Pukul 19:45 WIB) [11]

Sistem perhitungan waktu dan tanggal pada RTC dapat berjalan secara otomatis dan dapat kontinyu walaupun power supply dimatikan. Dikarenakan Modul RTC disuplay tegangan dari beterai external CR1304. Pada saat pemakaian RTC dihubungkan ke arduino tersebut hanya perlu melakukan setting mode RTC. Seting waktu maupun pembacaan waktu saja.

Proses setting pada pembacaan waktu dilakukan sama seperti layaknya membaca atau menuliskan suatu memori pada alamat-alamat yang berasal dari register modul RTC. Gambar 2.18 di bawah ini adalah gambar modul I2C periperal yang di dalamnya ada DS 1307 sebagai penghitung waktu [11].



Gambar 2.18 Modul RTC

(Sumber: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/DS1307.pdf>
Diakses pada tanggal 05 November 2016, Pukul 19:45 WIB) [11]

Serial RTC DS1307 mempunyai 2 lokasi memory yaitu Clock Register sebesar 17 byte dan RAM sebesar 62 byte. Clock Register dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut:

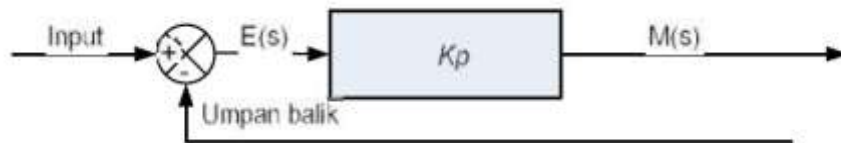
Tabel 2.3 Clock Register

Alamat	Fungsi	Jangkauan
00H	Detik	00-59
01H	Menit	00-59
02H	Jam	1-12 +AM/PM 00-23
03H	Hari	01-07
04H	Tanggal	01-31
05H	Bulan	01-12
06H	Tahun	00-99
07H	Kontrol	Kontrol

RTC serial DS 1307 berkomunikasi secara serial dengan mikrokontroler. Mode komunikasi data yang digunakan oleh DS 1307 adalah mode synchronous serial dimana tiap bit data ditransfer antara DS 1307 dan mikrokontroler dengan metode sinkronisasi dengan pewaktu (clock) yang dikendalikan oleh mikrokontroler [11].

2.2.11 Kontrol Proporsional

Kontroler proporsional selalu menjaga agar sinyal output dan sinyal *error* nilainya selalu sebanding. Output dari kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan sinyal *error*. Sedangkan sinyal *error* didapatkan dari selisih antara *setpoint* dengan sinyal aktual. Sistem secara langsung dapat mengubah sinyal keluaran sebesar konstanta pengali (K_p) disebabkan oleh perubahan yang terjadi pada sinyal masukan. Sinyal *error* sangat berpengaruh pada kontroler, jika selisih mengeluarkan sinyal positif maka sistem akan cepat mencapai harga *setpoint* sedangkan jika sinyal yang dikeluarkan oleh sistem adalah sinyal negatif maka sistem akan lama mencapai harga *setpoint*.

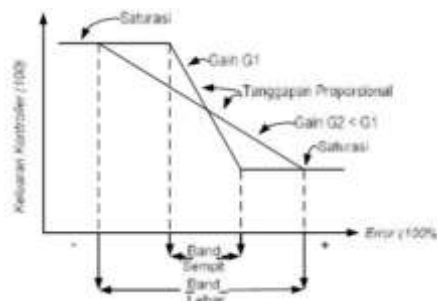


Gambar 2.19 Diagram Blok Kontrol Tipe Proporsional
 (Sumber: Ogata. Katsuhiko. (2011), *Modern Control Engineering*,
 Pearson Education. Jakarta) [12]

Menurut Gunterus, daerah kerja efektif dari controller proporsional terletak pada parameter proporsional band (PB). Sedangkan parameter konstanta proporsional menunjukkan nilai factor penguatan (K_p) terhadap sinyal error. Hubungan kedua parameter tersebut adalah sebagai berikut:

$$PB = \frac{error(+)-error(-)}{K_p} \times 100\%$$

Hubungan antara proporsional *band*, sinyal keluaran dan sinyal *error* ditunjukkan pada gambar 2.20 dimana jika nilai K_p semakin tinggi, PB akan mengecil, sehingga daerah kerja yang dikuatkan akan semakin sempit.



Gambar 2.20 Proporsional Band Dari Kontrol Tipe proporsional Tergantung
 Pada Penguatan
 (Sumber: Ogata. Katsuhiko. (2011), *Modern Control Engineering*,
 Pearson Education. Jakarta) [12]

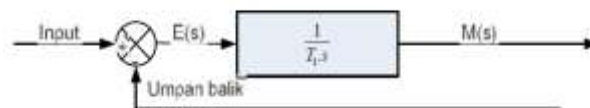
Berikut ini yang perlu diperhatikan saat menerapkan suatu sistem dengan ketentuan-ketentuan dari controller proporsional, antara lain:

1. Jika nilai dari sistem control proporsional K_p kecil, controller proporsional tersebut hanya mampu melakukan koreksi terhadap kesalahan yang kecil saja, sehingga akan mengakibatkan respon dari sebuah sistem yang akan menjadi lambat.

2. Jika nilai dari K_p dinaikkan, maka respon dari sebuah sistem dapat semakin cepat untuk mencapai keadaan sempurna. Namun jika nilai controller K_p diperbesar akan mengakibatkan tercapainya nilai yang berlebihan, dan akan mengakibatkan sistem bekerja dengan tidak stabil atau respon dari sistem tersebut akan terosilasi.
3. Pengendali Proporsional menghasilkan keluaran sebanding dengan masukan.
4. Kontroller dari sistem control proporsional (KP) dapat mengurangi steady state error, mengurangi sebuah rise time, dan meningkatkan hasil overshoot [12].

2.2.12 Kontrol Integrator

Kontroller integral berfungsi untuk menjaga agar respon sistem dalam keadaan steady state selalu menghasilkan sinyal error sebesar nol. Sinyal keluaran kontroller dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal error. Gambar 2.21 menunjukkan blok diagram yang menyatakan hubungan antara sinyal error dengan sinyal keluaran kontroller.



Gambar 2.21 Blok Diagram hubungan Antara Sinyal Error Dengan Sinyal Keluaran Kontrol Tipe Integral
(Sumber: Ogata. Katsuhiko. (2011), *Modern Control Engineering*, Pearson Education. Jakarta) [12]

Kontroller integral mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

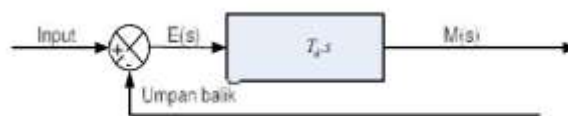
1. Sinyal Keluaran kontroller cenderung memperlambat respon sistem.
2. Ketika sinyal error berharga nol, sinyal keluaran bertahan pada nilai sebelumnya, sedangkan jika sinyal error tidak berharga nol, maka sinyal keluaran akan mengalami perubahan sesuai dengan besarnya sinyal error dan nilai K_i .
3. Nilai K_i yang besar akan mempercepat hilangnya nilai offset tetapi mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran 1 [12].

2.2.13 Kontrol Diferensial

Kontroller diferensial memiliki sifat yaitu jika terjadi perubahan yang mendadak pada sinyal masukan maka, sinyal keluaran akan mengalami perubahan yang sangat besar dan cepat. Adapun karakteristik dari kontroller diferensial adalah sebagai berikut:

1. Kontroller tidak dapat menghasilkan sinyal keluaran bila sinyal error nilainya sama dengan nol.
2. Jika sinyal error berubah terhadap waktu, maka sinyal output yang dihasilkan oleh controller tersebut tergantung pada nilai dari T_d dan laju perubahan sinyal error.
3. Kontroller diferensial memiliki karakter untuk mendahului, sehingga dapat memberikan aksi yang bersifat korektif, mengantisipasi adanya pembangkit sinyal error, dan cenderung meningkatkan kestabilan sistem [12].

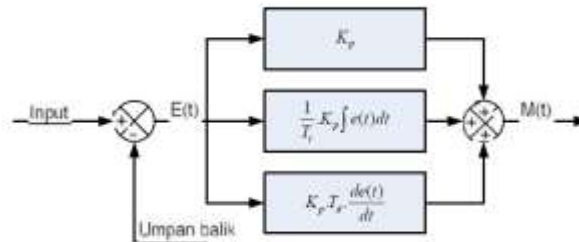
Berdasarkan karakteristik tersebut, kontroller diferensial sangatlah efektif. Dapat dilakukan pada lingkup kerja yang sangat sempit dan dapat dilakukan pada periode peralihan. Maka dari itu kontroller diferensial tidak dapat digunakan tanpa adanya kontroller lain dari sebuah sistem. Adapun blok diagram controller deferensial ditunjukkan pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 Blok Diagram Kontrol Tipe Diferensial
(Sumber: Ogata. Katsuhiko. (2011), *Modern Control Engineering*,
Pearson Education. Jakarta) [12]

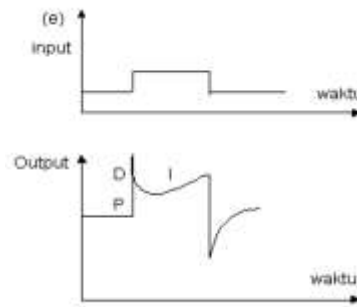
2.2.14 Kontrol PID

Kontroller PID merupakan penggabungan secara paralel tiga jenis kontroller yaitu kontroller P, I dan D. Penggabungan ketiga kontroller ini dimaksudkan untuk menghilangkan offset, menghasilkan sebuah perubahan awal yang besar, dan mempercepat reaksi dari sebuah sistem. Adapun blok diagram dari PID kontroller ditunjukkan pada gambar 2.23.



Gambar 2.23 Blok Diagram Kontrol Tipe PID Analog
 (Sumber: Ogata. Katsuhiko. (2011), *Modern Control Engineering*,
 Pearson Education. Jakarta) [12]

Sinyal keluaran controller PID merupakan jumlahan dari sinyal keluaran ketiga jenis controller tersebut. Gambar 2.24 menunjukkan hubungan tersebut.



Gambar 2.24 Hubungan Waktu Antara Sinyal Keluaran Dengan Masukan Untuk Kontrol Tipe PID
 (Sumber: Ogata. Katsuhiko. (2011), *Modern Control Engineering*,
 Pearson Education. Jakarta) [12]

Karakteristik sebuah controller PID sangatlah dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penonjolan sifat dari masing-masing elemen disebabkan oleh pengaturan konstanta K_p , T_i , dan T_d . Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi dan pengaruh terhadap respon sistem secara keseluruhan. Pengaturan parameter controller PID selalu didasari atas peninjauan terhadap karakteristik. Untuk penyusunan model matematik plant tidaklah mudah, maka dari itu dikembangkan suatu metode eksperimental tentang suatu metode yang didasarkan pada reaksi plant saat dikenai suatu perubahan. Sehingga dari metode tersebut didapatkan kurva sinyal keluaran yang diperlukan dalam pengaturan parameter controller PID. Pengaturan parameter PID bertujuan untuk mendapatkan hasil kinerja sistem yang sesuai dengan spesifikasi perancangan [12].

Tabel 2.4 Efek dari setiap controller (Kp, Ki, Kd) dalam loop tertutup Respon Loop Tertutup

Respon Loop tertutup	Waktu naik	Over-shoot	Waktu turun	Kesalahan Keadaan tunak
Kp	Turun	Naik	Berubah	Turun
Ki	Turun	Naik	Naik	Menghilang
Kd	Berubah	Turun	Turun	Berubah

Perhatikan bahwa hubungan kolerasi tersebut mungkin tidak sepenuhnya akurat, karena Kp, Ki dan Kd saling bebas dan tidak terikat. Pada dasarnya, mengubah salah satu variabel dapat mengubah dua variabel yang lainnya. Karena hal tersebut, maka saat kita menentukan nilai untuk Kp, Ki dan Kd tabel ini hanya dapat digunakan sebagai referensi saja.

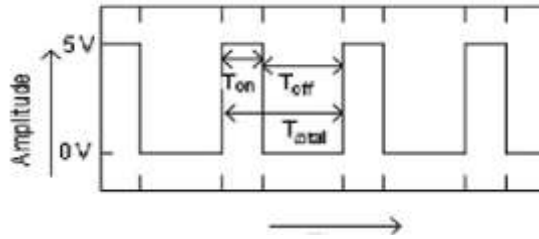
Untuk memenuhi sistem yang diinginkan maka ketiga parameter PID harus ditetapkan secara optimal. Ada beberapa cara (metode) untuk menentukan parameter tersebut, diantaranya adalah:

1. Metode coba-coba (cut and try metode).
2. Metode Zieger-Nicholas.
3. Metode tanggapan tangga (step respon).

2.2.15 PWM (Pulse Width Modulation)

PWM adalah sebuah mekanisme untuk membangkitkan sinyal output yang periodenya berulang antara high dan low dimana kita dapat mengontrol durasi sinyal high dan low sesuai yang kita inginkan. Duty Cycle akan berbanding lurus dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan maka presentase periode sinyal high dan periode sinyal. Berikut merupakan ilustrasi sinyal PWM, srbagai contoh kondisi high 5V dan kondisi low 0V.

Modulasi lebar pulsa (PWM) untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi dapat dicapai atau diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana (duty cycle) gelombang dapat diubah-ubah [13].



Gambar 2.25 Bentuk Gelombang Kotak (Pulsa) Dengan Kondisi Sinyal High 5V Dan Low 0V

(Sumber: Marian K. Kazimierczuk. (2008), *Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters*, Wright State University, Dayton Ohio USA.) [13]

Ton merupakan waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi high atau 1 dan, Toff adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi low atau 0. Ttotal adalah waktu satu siklus atau penjumlahan antara Ton dan Toff, biasa disebut dengan “periode satu gelombang”.

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \dots \dots \dots (2.1)$$

Duty cycle sebuah gelombang di definisikan sebagai:

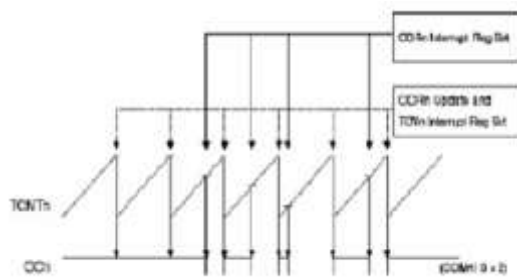
$$Duty\ Cycle = T_{on} / T_{total} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan Duty Cycle tegangan output dapat bervariasi dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{output} = D * V_{in} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dari rumus diatas dapat disimpulkan bahwa dengan mengubah nilai Ton tegangan keluaran dapat diubah-ubah secara langsung. Apabila Ton adalah 0 maka Vout juga akan 0. Apabila Ton adalah Ttotal maka Vout adalah Vin.

Pada mode fast hampir sama dengan phase correct hanya register TCNTx mencacah naik saja tanpa mencacah turun seperti gambar 2.26 berikut:



Gambar 2.26 PWM Mode Fast

(Sumber: Marian K. Kazimierczuk. (2008), *Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters*, Wright State University, Dayton Ohio USA.) [13]

Pada saat PWM 8 bit maka didapatkan rumus sebagai berikut:

$$F_{pwm} = \frac{F_{osc}}{N \times 256} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$D_{pwm} = \frac{OCR}{256} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan:

FPWM = Frekuensi PWM

FOSC = Frekuensi osillator

N = Skala clock

D = Duty cycle

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Perancangan dan pembuatan alat ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Jalan Raya Gelam 250, Candi, Sidoarjo dan di rumah peneliti sendiri, di Jl. Brigjend Katamso No.46, RT:02, RW:10, Kepuhkiriman, Waru, Sidoarjo.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini, untuk menyelesaikan diperlukan alat dan bahan sebagai penyelesaian *software* maupun *hardware*.

3.2.1 Alat dan Perangkat Lunak

Alat yang dibutuhkan untuk membuat sistem ini yaitu multimeter yang digunakan untuk rangkaian, catu daya untuk memberikan *supply* tegangan, *downloader* mikrokontroler untuk mengunggah program ke mikrokontroler, solder untuk menyolder komponen ke PCB, sedot timah, bor listrik, oscilloscope, function generator, multimeter, laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. AMD® Dual-Core E-350™
2. CPU @1.6 GHz
3. RAM 2.0 GB
4. Sistem Operasi Windows 7 Profesional
5. Software arduino

Bahan yang dibutuhkan untuk membuat sistem ini yaitu sensor suhu Thermocouple untuk mengukur suhu, *rice cooker* untuk objek penelitian, mikrokontroler Arduino UNO sebagai controller utama, Buzzer untuk sebagai indicator output dari penelitian, LCD Character 20x4 untuk tampilan output system, keypad matrix 4x4 sebagai input manual yang diinginkan oleh user, driver element pemanas untuk mengatur input tegangan pada heater *rice cooker*, rangkaian RTC sebagai pengontrol waktu real time.

3.2.2 Bahan

Alat yang digunakan untuk pembuatan alat Alat Pengontrol Suhu Pada *Rice cooker* Menggunakan Metode PID Berbasis Arduino Uno antara lain:

1.	Arduino Uno	1 Pcs
2.	LCD Karakter 20x4	1 Pcs
3.	Keypad 4x4	1 Pcs
4.	Thermocouple	1 Pcs
5.	Heater External	1 Pcs
6.	<i>Rice cooker</i>	1 Pcs
7.	Box Akrilik	Secukupnya
8.	<i>Buzzer</i>	1 Pcs
9.	RTC	1 Pcs
10.	Timah	1 Roll
11.	IC AD595	1 Pcs
12.	IC MOC 3021	5 Pcs
13.	TRIAC	3 Pcs
14.	Kabel Flat 20 Pin	3 Pcs
15.	Kabel Catu Daya	3 Pcs
16.	Kabel AC 220V	1 Pcs
17.	Soket Header Male 40 Pin	2 Pcs
18.	PCB 20x10	4 Pcs

3.3 Teknik Analisa

Dalam penelitian ini diterapkan beberapa langkah kerja dan metode penelitian meliputi:

1. Studi Kepustakaan

Pada tahap ini mempelajari mengenai permasalahan yang ada melalui buku, website, jurnal ilmiah, tentang implementasi system PID, karakteristik sensor thermocouple, mikrokontroler Arduino UNO, rangkaian *zero cross detector*, rangkaian *driver* elemen pemanas, bahasa pemrograman dan materi lainnya.

2. Analisis Pemasalahan

Melakukan analisis terhadap permasalahan pengontrol suhu pada *rice cooker* untuk menentukan batasan-batasan dalam penyelesaian masalah agar lebih efektif.

Dari langkah-langkah penelitian diatas, terdapat permasalahan yang ingin di selesaikan yaitu proses menanak nasi, pembuatan bubur dan mengukus kue yang terlalu lama. Diharapkan peneliti dapat memberikan jalan keluar yang menyangkut beberapa hal:

a. Efisiensi Waktu

Dengan adanya alat pengontrol suhu ini, maka proses pengeringan menjadi lebih cepat sehingga *efisiensi waktu* meningkat, serta tidak perlu waktu lagi untuk menunggu terlalu lama.

b. Efisiensi Biaya

Dengan adanya alat pengontrol suhu ini, maka tidak terjadi lagi pembengkakan biaya terhadap penggunaan listrik PLN bulanan.

c. Kualitas

Dengan adanya alat pengontrol suhu ini, maka bahan yang dimasak benar – benar matang dengan sempurna sehingga dapat menjaga kualitas dan cita rasa masakan itu sendiri.

3.4 Analisis Sistem

Dalam penelitian ini, diterapkan beberapa langkah kerja / metode penelitian meliputi:

1. Mengamati Proses

Mengamati proses dalam proses pengoperasian *rice cooker* dari awal hingga akhir sehingga bisa menyimpulkan permasalahan yang terjadi.

2. Analisa Permasalahan

Melakukan analisa terhadap permasalahan guna menentukan batasan batasan dalam penyelesaian masalah agar lebih efektif.

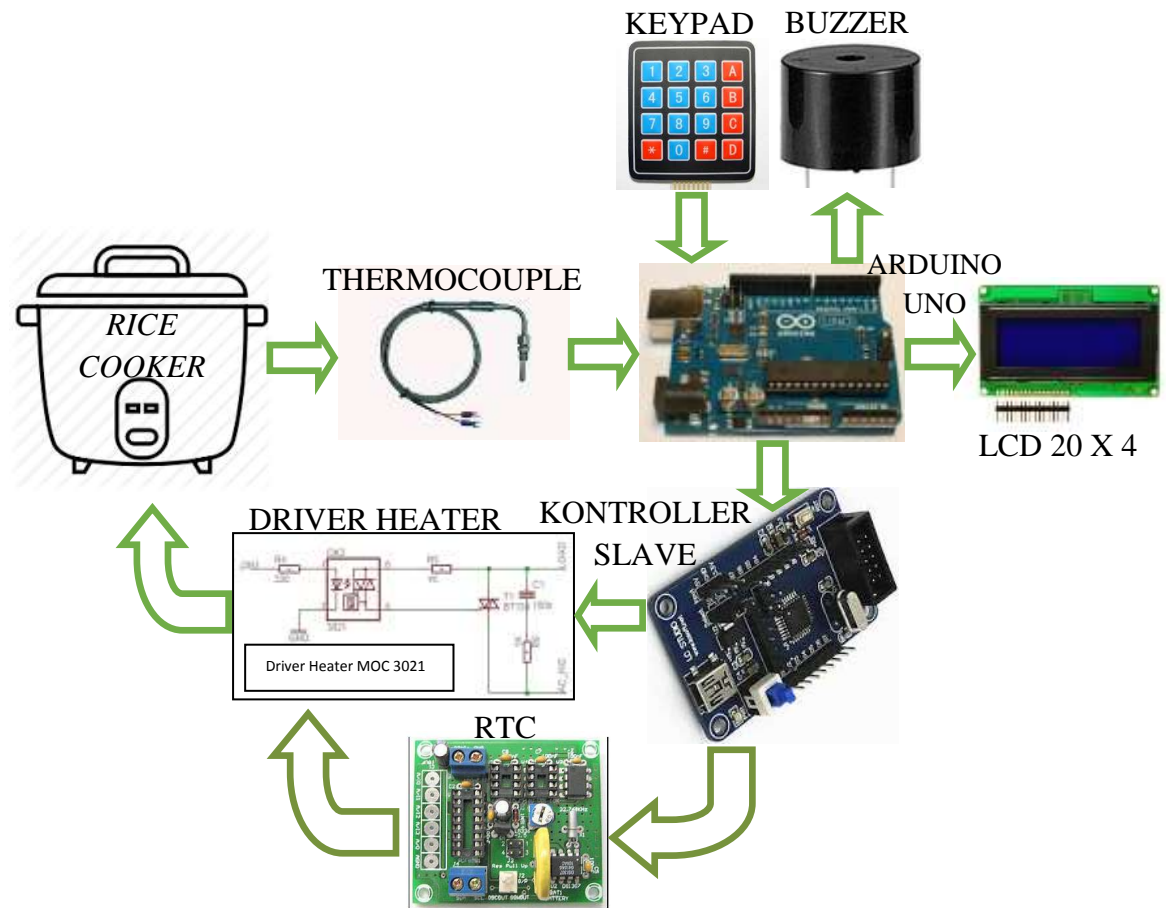
Dari langkah-langkah penelitian diatas, terdapat permasalahan yang ingin di

selesaikan yaitu proses pengoperasian *rice cooker* membutuhkan waktu yang cukup lama. Diharapkan peneliti dapat memberikan jalan keluar dari permasalahan tersebut.

3.5 Perancangan Sistem

Perancangan sistem ini akan membahas tentang diagram blok sistem kerja alat, perancangan perangkat lunak, perancangan perangkat keras dan model design alat.

3.5.1. Diagram Blok Sistem Kerja



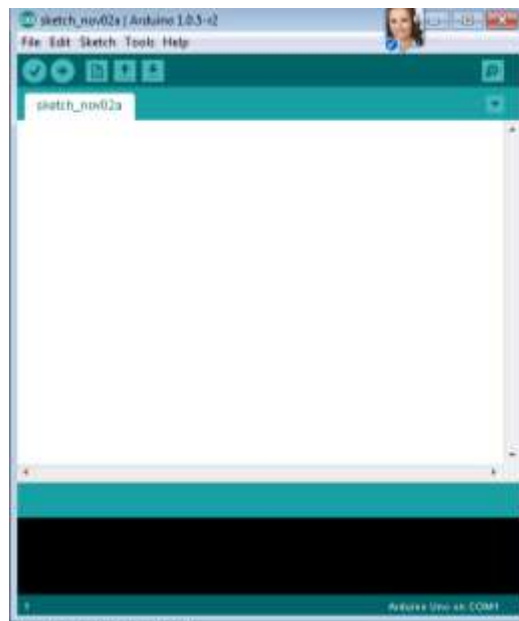
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Kerja

Suhu aktual ruangan *rice cooker* akan dibaca oleh sensor *Thermocouple* lah itu nilai tegangan ini akan dikonversi oleh mikrokontroler menjadi range nilai digital yaitu 0 – 1023, sehingga apabila suhu yang diinginkan tidak sama dengan suhu aktual, maka mikrokontroler akan meneruskan perintah untuk kontrol

pemanas melalui *driver* output optoisolator yaitu rangkaian MOC 3021, rangkaian inilah yang akan mengatur kerja dari TRIAC.

Hasil sinyal rangkaian *zero cross detector* diolah oleh mikrokontroler ATmega 8 sebagai eksternal interrupt pada pin INT0 yang kemudian akan diteruskan menuju rangkaian elemen pemanas, sehingga rangkaian elemen pemanas mampu memberikan kontrol suhu sesuai yang diinginkan. Pemanas juga dapat diset otomatis ON-OFF dengan menggunakan RTC sebagai pengendali waktu. Dengan demikian suhu untuk memasak nasi, bubur, serta kue akan menyesuaikan dengan menu pada tampilan LCD.

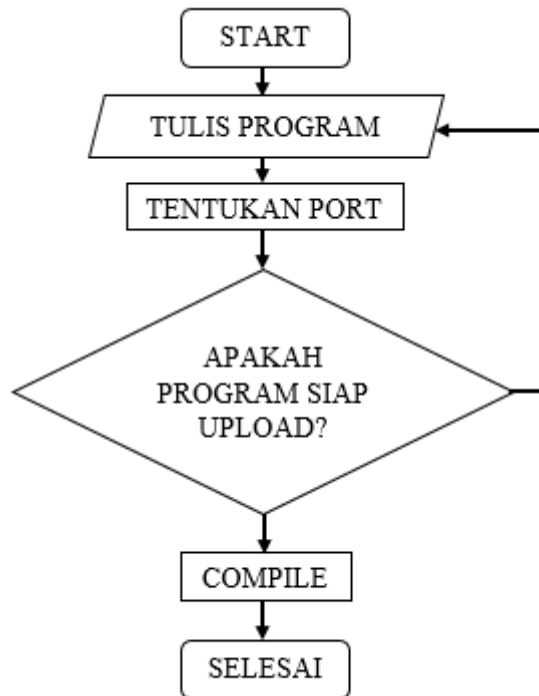
3.5.2 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)



Gambar 3.2 Tampilan Program Arduino IDE

Pada penelitian ini menggunakan *software* program editor dan compiler untuk arduino UNO yaitu menggunakan *software* arduino IDE sebagai perantara program bahasa C ke mikrokontroler. di atas dijelaskan awal proses aplikasi Arduino dari memulai Start, instal dan setting board Arduino, setting serial port, mendeklarasikan variable dan konstanta, compile program, upload kedalam mikrokontroler, running program, sampai finish. Jika mengalami masalah

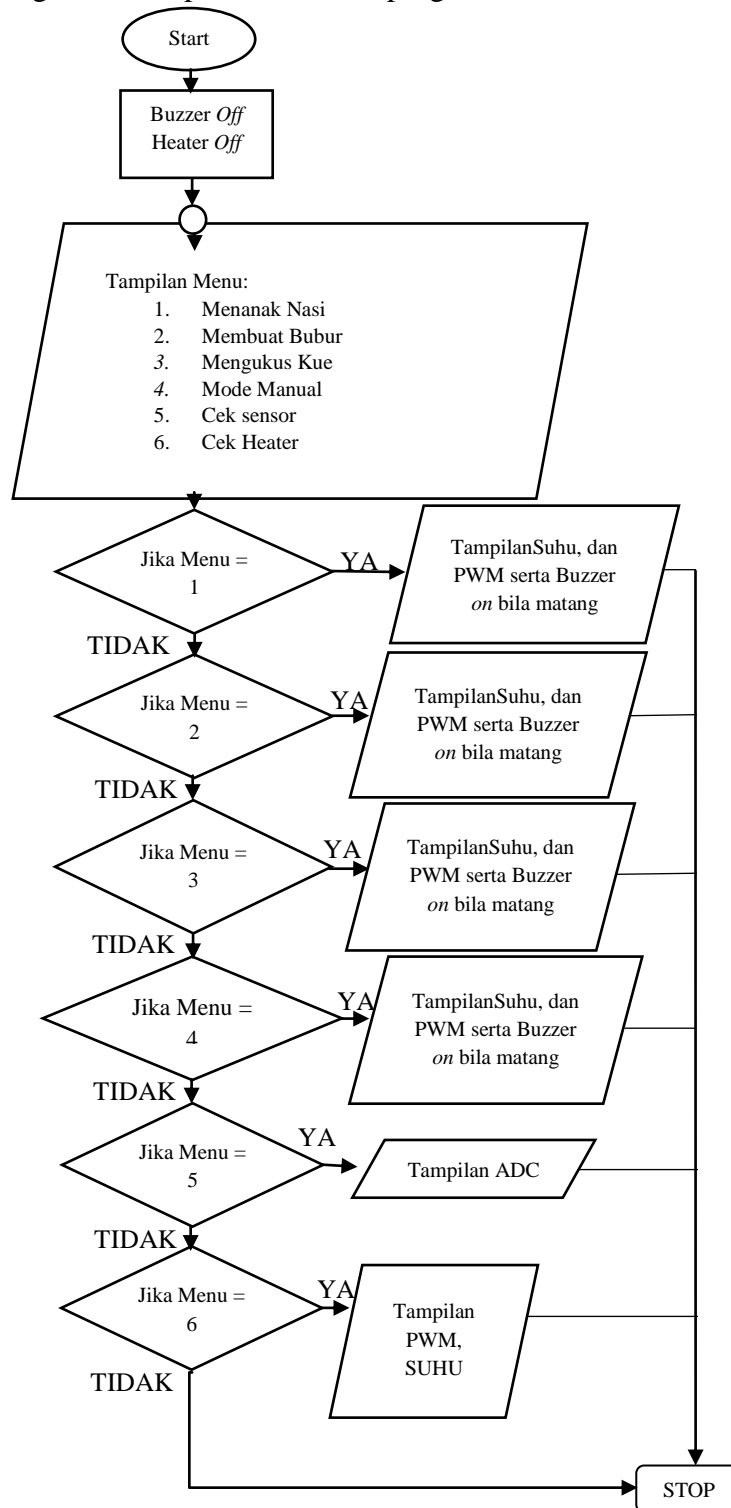
dalam mengcompile maka tanda error dibawah list program akan menunjukkan dimana letak kesalahan.



Gambar 3.3 Flow Chart Penulisan Program Arduino Uno

3.5.3 Algoritma dan Diagram Alur Sistem

Berikut ini gambar tampilan flowchart program:



Gambar 3.4 Flowchart Sistem

Gambar 3.4 menunjukkan bagian utama dari program alat, dimana terdapat 6 program menu utama dalam pengoperasiannya. Menu pertama yaitu tampilan menu menu tersebut yang dapat digeser menggunakan keypad. Tombol-tombol tersebut yaitu tombol *back*, *previous*, *Next* dan *Ok*. Menu 1 sampai dengan 4 untuk menu masak yang akan dipilih. Pada keempat menu tersebut terdapat perintah memasukkan bahan yang akan dimasak setelah kita memilih menu tersebut. Setelah memasukkan bahan ke dalam *rice cooker*, tekan *Ok* dan proses running berjalan. Tampilan LCD akan menampilkan besarnya nilai delta *error*, *error*, suhu dan PWM yang terupdate selama proses pengoperasian *rice cooker*. Apabila kue tersebut matang, makan buzzer akan berbunyi sesuai dengan *set point* waktu pada masing-masing kue. Sebelum memulai proses pengoperasian *rice cooker* bisa dilakukan cek suhu dan heater pada menu 5 dan 6.

Pada pembuatan sistem, diperlukan perangkat lunak untuk mengontrol kinerja sistem agar mampu menghasilkan output sesuai dengan *set point* yang ditentukan.

Algoritma sistem pengaturan suhu dengan kontrol PID sebagai berikut,

1. Tahap awal ketika *rice cooker* dinyalakan adalah inisialisasi *hardware* dan sistem.
2. User melakukan pemilihan mode dari kerja *rice cooker*, apabila user memilih mode otomatis, maka user dapat memilih jenis masakan yang akan diolah. Apabila user memilih mode manual, maka user harus memasukkan nilai *set point* suhu dan pewaktuan yang diinginkan.
3. Sensor mengirim data informasi pembacaan suhu ke mikrokontroler utama untuk dilakukan pengambilan keputusan.
4. Mikrokontroler memberikan keputusan PID yang diberikan sesuai dengan informasi sensor.
5. Saat suhu pada ruangan *rice cooker* kurang dari *set point*, maka mikrokontroler *slave* akan memberikan instruksi pada *driver* elemen pemanas untuk meningkatkan suhu elemen pemanas tersebut.
6. Saat suhu pada ruangan *rice cooker* lebih dari *set point*, maka mikrokontroler *slave* akan memberikan instruksi pada *driver* elemen pemanas untuk mengurangi suhu elemen pemanas tersebut.

7. Saat suhu pada ruangan *rice cooker* sama dengan *set point*, maka mikrokontroler *slave* akan memberikan instruksi pada *driver* elemen pemanas untuk mempertahankan suhu tersebut.
8. Hasil pembacaan sensor akan ditampilkan di LCD.

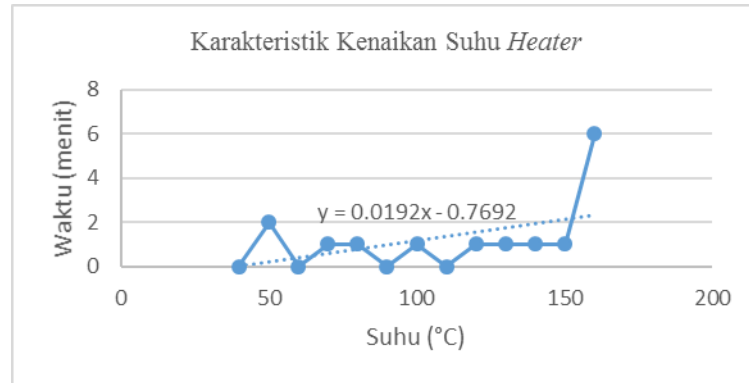
3.5.4 Penalaan Parameter PID

Penalaan PID adalah metode yang digunakan dalam proses pengaturan suhu dan *timer* dalam proses pengoperasian *rice cooker*. Parameter PID yang digunakan adalah metode *Trial and Error*. Alasan mengapa menggunakan kontroler PID pada *rice cooker* otomatis ini dikarenakan *input* yang digunakan atau yang dikontrol yaitu suhu pada *heater* dengan membandingkan terhadap waktu. Sedangkan output yang diharapkan dari input suhu yang telah dikontrol tersebut berpengaruh terhadap PWM (*Pulse Width Modulation*). Dalam penggunaan secara real PWM berperan penting dalam pengontrolan suhu menggunakan PID kontroler. Karena sistem kontroler pada PID yaitu *single input single output* atau SISO. Berikut merupakan data diambil secara *open loop* atau dengan metode *on off* dan *rice cooker* dalam keadaan tanpa *object* bahan makanan.

Tabel 3. 1 Karakteristik Kenaikan Suhu (°C) pada *Heater*.

Karakteristik Kenaikan Suhu (°C) pada <i>Heater</i>		
No	Suhu(°C)	Waktu (menit)
1	40	0
2	50	2
3	60	0
4	70	1
5	80	1
6	90	0
7	100	1
8	110	0
9	120	1
10	130	1
11	140	1
12	150	1
13	160	6

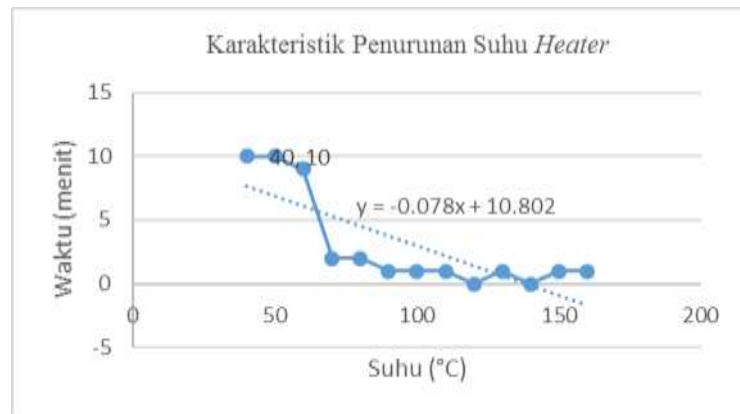
Dari grafik dibawah ini, suhu mulai mencapai stabil pada suhu 150°C dengan lama waktu 6 menit. Suhu dianggap stabil 150°C karena *set point* maksimal yang digunakan yaitu 150°C.



Gambar 3.5 Karakteristik Kenaikan Suhu *Heater* Pada *Rice cooker*.

Tabel 3.2 Karakteristik Penurunan Suhu *Heater*.

Karakteristik penurunan suhu pada heater		
No	Suhu(°C)	Waktu (menit)
1	160	1
2	150	1
3	140	0
4	130	1
5	120	0
6	110	1
7	100	1
8	90	1
9	80	2
10	70	2
11	60	9
12	50	10
13	40	10

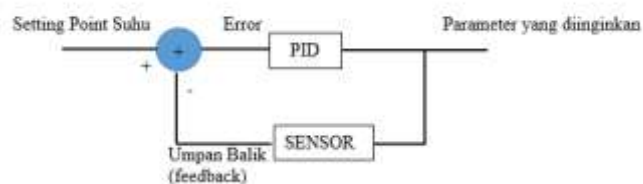


Gambar 3.6 Karakteristik Penurunan Suhu *Heater* Pada *Rice cooker*.

Pada pengujian karakteristik kenaikan suhu *heater* pada *rice cooker* dilakukan set pwm sebesar 100%. Pengamatan terhadap perubahan suhu setiap kenaikan 10°, mulai dari penunjukan 40°C - 160°C pada termometer *rice cooker*. Pengujian karakteristik heater ini selama 16 menit mencapai 160°C. *Heater* mencapai *set point* suhu 150°C selama 10 menit. Setiap selisih kenaikan 10 derajat membutuhkan waktu 1 menit.

Namun, waktu terlama saat mencapai 40°C menuju 50°C, membutuhkan waktu 2 menit. Sedangkan untuk pada saat proses penurunan suhu pada heater membutuhkan waktu sebesar 20 menit. Setiap penurunan 10 derajat membutuhkan waktu 1 menit. Saat mencapai suhu terendah 70°C-50°C membutuhkan waktu yang relatif lama.

Berikut ini merupakan *block diagram* sistem loop tertutup dan *flowchart* sistem untuk pengendali PID:



Gambar 3.7 Sistem Loop Tertutup Untuk Pengendali PID.

3.5.5 Permodelan sistem menggunakan Matlab

Berikut ini merupakan nilai *transfer function* untuk masing-masing kue bila disimulasi menggunakan matlab dan juga didapatkan nilai parameter P, I, D melalui *tuning* pada matlab.

A. Permodelan sistem menggunakan matlab pada pemasakan nasi

Hasil *transfer function*:

- *Discrete-time transfer function*
0.010895

z - 0.99487
- *Continuous-time transfer function*
0.1092

s + 0.05143

Sample time yang digunakan yaitu 0.1 *seconds*. Setelah memasukkan hasil transformasi laplace nya, di hasilkan nilai *parameter* seperti dibawah ini:

Tabel 3.3 *Controllers parameter dan Performance and Robustness.*

No	<i>Controllers Parameter</i>	<i>Tuned result</i>
1.	P	0,25
2.	I	0,4
3.	D	0
<i>Performance and Robustness</i>		
4.	<i>Rise Time</i>	2,76
5.	<i>Settling Time</i>	9,25
6.	<i>Overshoot</i>	6,37%
7.	<i>Peak</i>	1,06
8.	<i>Gain Margin</i>	12 dB @1,34 rad/s
9.	<i>Phase Margin</i>	60 deg @0,393 rad/s
10.	<i>Close Loop</i>	<i>Stable</i>

B. Permodelan sistem menggunakan matlab pada pemasakan bubur

Hasil *transfer function*:

- *Discrete-time transfer function.*

0.02301

$z - 0.9833$

- *Continuous-time transfer function.*

0.2321

$s + 0.1679$

Sample time yang digunakan yaitu 0.1 *seconds*. Setelah memasukkan hasil transformasi laplace nya, di hasilkan nilai parameter seperti dibawah ini:

Tabel 3.4 *Controllers parameter dan Performance and Robustness.*

No	Controllers Parameter	Tuned result
1.	P	1,2
2.	I	0,2
3.	D	0
	<i>Performance and Robustness</i>	
4.	<i>Rise Time</i>	4,04
5.	<i>Settling Time</i>	14,9
6.	<i>Overshoot</i>	7,92%
7.	<i>Peak</i>	1,08
8.	<i>Gain Margin</i>	16,1dB @1,44 rad/s
9.	<i>Phase Margin</i>	60 deg @0,299 rad/s
10.	<i>Close Loop Stability</i>	<i>Stable</i>

C. Permodelan sistem menggunakan matlab pada pengukusan kue

Hasil *transfer function*:

- *Discrete-time transfer function.*

0.004905

z - 1.004

- *Continuous-time transfer function.*

0.04895

s - 0.03992

Sample time yang digunakan yaitu 0.1 *seconds*. Setelah memasukkan hasil transformasi laplace nya, di hasilkan nilai parameter seperti dibawah ini:

Tabel 3.5 *Controllers parameter dan Performance and Robustness.*

No	Controllers Parameter	Tuned result
1.	P	10
2.	I	0,04
3.	D	1,18
	<i>Performance and Robustness</i>	
4.	<i>Rise Time</i>	1,78
5.	<i>Settling Time</i>	341
6.	<i>Overshoot</i>	10,1%
7.	<i>Peak</i>	1,1
8.	<i>Gain Margin</i>	10,28dB @1,75 rad/s
9.	<i>Phase Margin</i>	60 deg @0,492 rad/s
10.	<i>Close Loop Stability</i>	<i>stable</i>

3.5.6 Kontroler PID menggunakan *Software Program* pada IDE Arduino

Dengan program di atas, maka kontrol akan mengatur nilai PWM berdasarkan nilai KP, KI, dan KD sesuai dengan hasil perhitungan dengan mengalikan nilai KP dengan nilai *error*, KI dengan jumlah *error*, dan KD dengan selisih *error* sekarang dengan *error* sebelumnya. Program ini dimasukkan nilai KP, KI dan KD menggunakan *Trial* dan *Error*.

```
// program PID//
void ProsesPID (int sp)      // timer sampling 15ms
{ // bacaSuhu();
  static unsigned char a;
  a++;

  dataFix=baca Suhu();

  if(a%10==0)
  {
    error=sp-dataFix;

    integral=error+lasterror;
    derivative=(error-lasterror);

    if(sp == nasi)
    {
      P=Kp[1]*error;
      I=Ki[1]*integral;
      D=Kd[1]*derivative;
    }
    else if (sp == bubur)
    {
      P=Kp[1]*error;
      I=Ki[1]*integral;
      D=Kd[1]*derivative;
    }
    else if (sp == kukus)
    {

```

Gambar 3.8 Program kontrol PID.

Untuk program pada gambar 3.8 merupakan contoh program PID yang digunakan. Mulai dari memasukkan rumus Kp, Ki dan Kd. Serta menentukan *set point* yang digunakan. *Time sampling* untuk PID yaitu 15 ms.

```

void PID_init()
{
    Kp[1]=9;
    Ki[1]=3;
    Kd[1]=5;

    Kp[1]=20;
    Ki[1]=1;
    Kd[1]=3;

    Kp[1]=10;
    Ki[1]=2;
    Kd[1]=3;
}

#define nasi 94
#define bubur 96
#define kukus 93
}

```

Gambar 3.9 Parameter PID yang digunakan menggunakan *Trial Error*.

Pada gambar 3.9, berikut merupakan nilai-nilai yang digunakan untuk menentukan besarnya Kp, Ki dan Kd serta *set point* pada masing-masing kue. Karena seting untuk *set point* serta parameter lainnya berbeda-beda.

3.5.7 Tampilan Respon PID Pada Visual Basic

Microsoft Visual Basic atau VB merupakan sebuah bahasa pemrograman yang menawarkan *Integrated Development Environment* (IDE) untuk membuat program perangkat lunak berbasis sistem operasi Microsoft Windows dengan menggunakan model pemrograman (COM). Dengan menggunakan Visual Basic ini kita dapat mengamati respon PID dari *heater oven* pemanggang kue melalui *digital oscilloscope* sederhana. Untuk itu perlu menghubungkan serial FTDI pada mikro ke PC yang akan digunakan. Kita bisa membuat sendiri menu atau tombol apa saja yang ingin kita tampilkan pada Visual Basic ini. Pada tampilan dibuat beberapa tombol seperti PWM, Suhu, *Set Point*, dan beberapa tampilan lainnya. Seperti pada gambar 3.10 dan gambar 3.11 di bawah ini:



Gambar 3.10 Tampilan Visual Basic yang digunakan untuk mengamati respon PID.

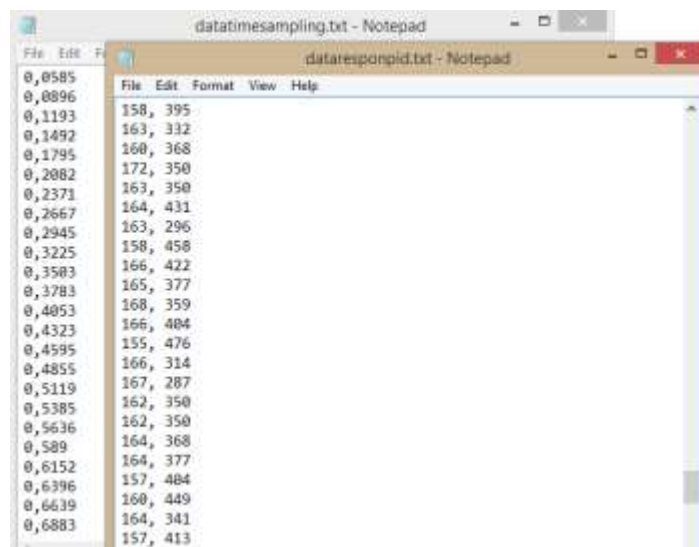
Berikut ini merupakan grafik respon yang dapat diamati melalui Visual Basic



Gambar 3.11 Tampilan Respon PID yang ditampilkan oleh Visual

Basic saat proses *running* dan mode pengamatan *real time*.

Data yang ditampilkan pada gambar diatas, disimpan pada notepad. Data tersebut bisa menggunakan data tersebut agar dapat dibuat tabel data serta grafik menggunakan excel.



Gambar 3.12 Data yang terecord oleh Visual Basic tersimpan di Notepad.

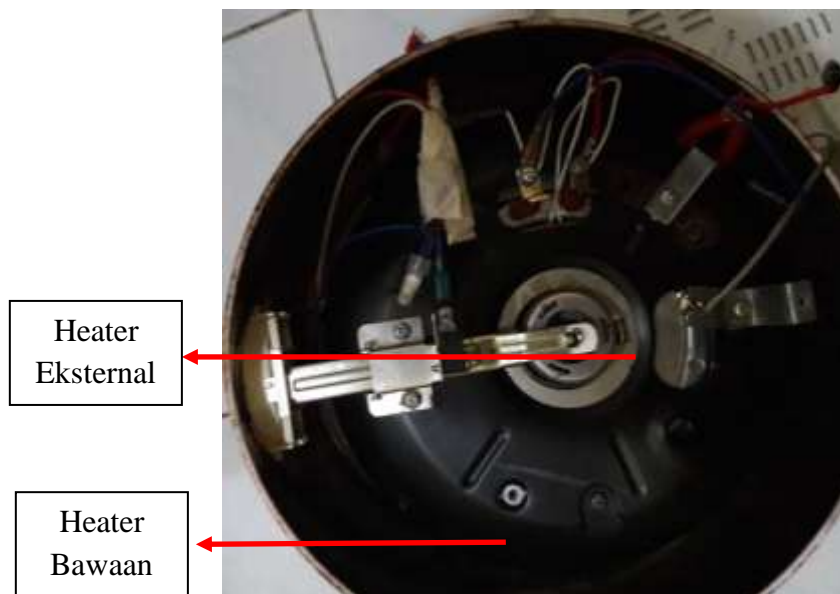
3.5.8 Perancangan dan Modifikasi *Rice cooker*

Body *rice cooker* berasal dari *rice cooker* bermerk cosmos CRJ – 780 yang dimodifikasi, sehingga mekanik yang dibuat mampu mendukung kinerja sistem.



Gambar 3.13 *Rice cooker* CRJ - 780

Mekanik *rice cooker* ini berasal dari *rice cooker* bermerk cosmos CRJ – 780 yang mempunyai 1 heater seperti pada umumnya dan ditambahkan tambahan pemanas. *Rice cooker* ini mempunyai ukuran (L x W x H cm) = 33 x 33 x 33 cm. Modifikasi *rice cooker* dilakukan dengan menambahkan 1 elemen pemanas eksternal agar mampu mencapai *set point* suhu lebih singkat. Proses modifikasi selanjutnya adalah menghilangkan mekanisme mode *cooking* dan mode *warm*. Berikut ini tampilan dari mekanik yang telah dimodifikasi.

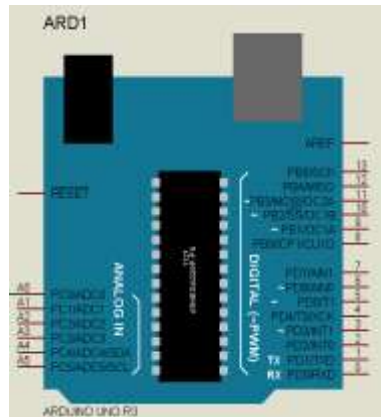


Gambar 3.14 Mekanik *Rice cooker* Baru



Gambar 3.15 Design Tampilan Keseluruhan Alat

3.5.9 Pembuatan Perangkat Keras Controller Utama (Hardware)



Gambar 3.16 Board Arduino Uno 328

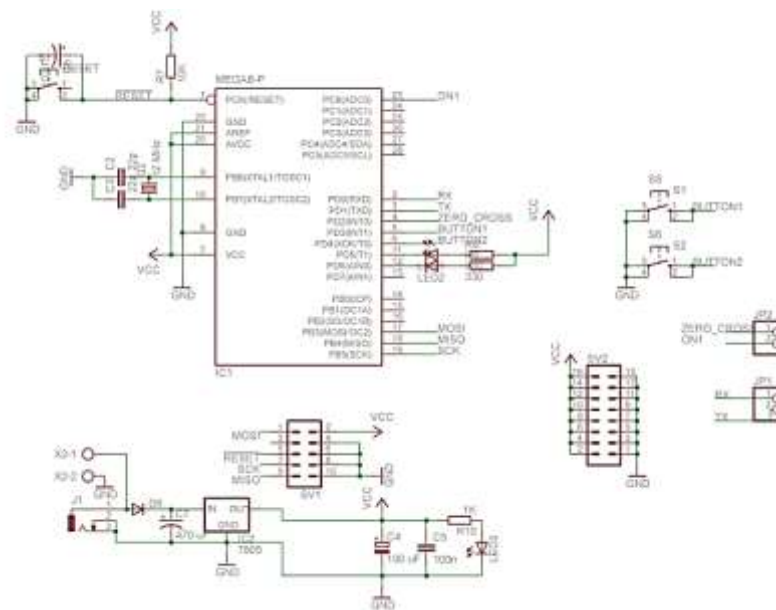
Rangkaian ini menggunakan arduino 328, yang berfungsi sebagai otak dan pusat pengolahan data serta mengatur jalannya rangkaian secara keseluruhan.

Tabel 3.6 Pin Konfigurasi Rangkaian

No	Alamat Pin Arduino	Keterangan
1	+5V	VCC
2	GND	Ground
3	A0 (ANALOG)	SPARE
4	A1 (ANALOG)	OUT (AD595)
5	A2 (ANALOG)	SDA (RTC)
6	A3 (ANALOG)	SCL (RTC)
7	A4 (ANALOG)	SDA (I2C LCD)
8	A5 (ANALOG)	SCL (I2C LCD)
9	D0 (DIGITAL)	OUT (LED 1)
10	D1 (DIGITAL)	OUT (LED 2)
11	D2 (DIGITAL)	OUT (BUZZER)
12	D3 (DIGITAL)	ROW PIN 1 (KEYPAD)
13	D4 (DIGITAL)	ROW PIN 2 (KEYPAD)
14	D5 (DIGITAL)	ROW PIN 3 (KEYPAD)
15	D6 (DIGITAL)	ROW PIN 4 (KEYPAD)
16	D7 (DIGITAL)	SPARE
17	D8 (DIGITAL)	OUT (DRIVER HEATER)
18	D9 (DIGITAL)	COLS PIN 1 (KEYPAD)
19	D10 (DIGITAL)	COLS PIN 2 (KEYPAD)
20	D11 (DIGITAL)	COLS PIN 3 (KEYPAD)
21	D12 (DIGITAL)	COLS PIN 4 (KEYPAD)
22	D13 (DIGITAL)	SPARE

3.5.10 Pembuatan Perangkat Keras Kontroller Slave

Pembuatan kontroller *slave* ditujukan hanya untuk mengerjakan pekerjaan mengontrol beban AC. Dalam hal ini adalah elemen pemanas yang dikendalikan oleh *driver* elemen pemanas MOC 3021 serta sinyal pemicu *zero cross detector*. Mikrokontroler *slave* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan mikrokontroler ATmega 8. Skematik dari rangkaian mikrokontroler *slave* ATmega 8 terdapat pada gambar 3.17.

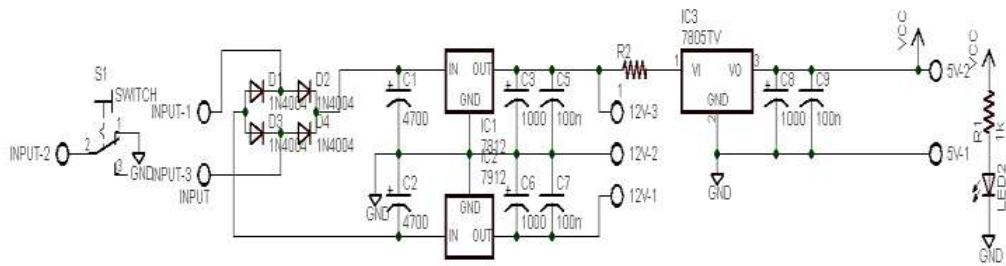


Gambar 3.17 Rangkaian Minimum Sistem ATmega 8 *Slave*

3.5.11 Pembuatan Perangkat Keras Rangkaian Pencatu Daya

Perancangan sistem dalam penelitian ini membutuhkan suplai tegangan yang bervariasi. Hal ini dikarenakan kebutuhan tegangan setiap rangkaian dan peralatan yang digunakan berbeda – beda. Suplai tegangan minimum pada sistem ini adalah +5 volt.

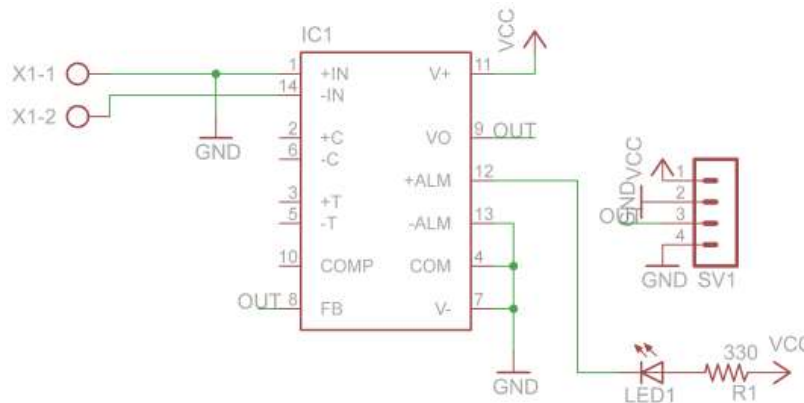
Pembuatan rangkaian pencatu daya ini menggunakan beberapa regulator sesuai dengan kebutuhan suplai tegangan. Gambar rangkaian dari rangkaian pencatu daya dalam sistem ini terdapat pada gambar 3.18.



Gambar 3.18 Rangkaian Pencatu Daya

3.5.12 Pembuatan Perangkat Keras Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Pada pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal sensor thermocouple pada penelitian ini digunakan sebuah IC yang dirancang khusus untuk mengolah sinyal dari sensor thermocouple. IC ini bernama AD595 keluaran dari Analog Device. Keluaran dari IC ini bisa langsung diolah oleh ADC mikrokontroler dan dapat digunakan secara langsung untuk pengukuran. Keunggulan dari IC ini mampu menghasilkan kepresisian mencapai $10 \text{ mVolt}/^{\circ}\text{C}$, Gambar rangkaian dari rangkaian pengkondisi sinyal AD595 ini terdapat pada gambar 3.19.



Gambar 3.19 Rangkaian IC AD595

3.5.13 Pembuatan Perangkat Keras Rangkaian Kontrol Pemanas

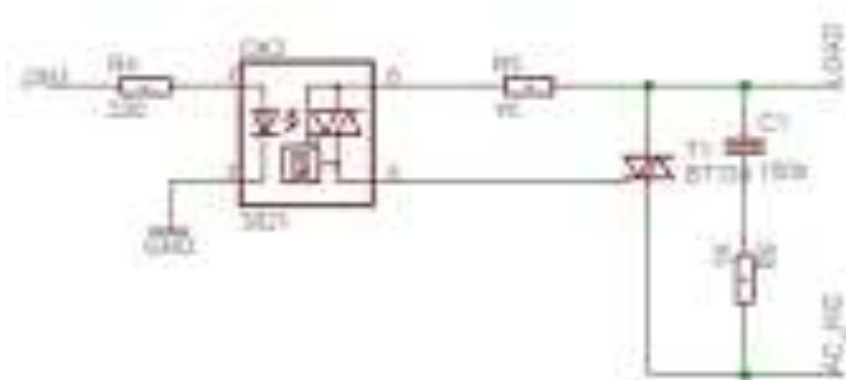
Pada *rice cooker* ini menggunakan 2 buah elemen pemanas. satu yang terdapat pada sistem bawaan pabrik *rice cooker*, yang satu lagi adalah elemen pemanas tambahan yang gunanya menambahkan udara panas selain dari pemanas bawaan.

Suhu aktual ruangan *rice cooker* akan dibaca oleh sensor thermocouple yang terhubung dengan pin ADC mikrokontroler, dan nilai tegangan ini akan dikonversi ke range nilai ADC 0 – 1023, sehingga apabila suhu yang diinginkan

tidak sama dengan suhu aktual, maka mikrokontroler akan meneruskan perintah untuk kontrol pemanas melalui *driver* output optoisolator yaitu rangkaian MOC 3021, rangkaian inilah yang mengatur kerja dari TRIAC.

Sinyal pemacu *zero cross detector* dilakukan oleh optocoupler yang akan diterima oleh pin INT0 ATmega 8 sebagai *external interrupt*.

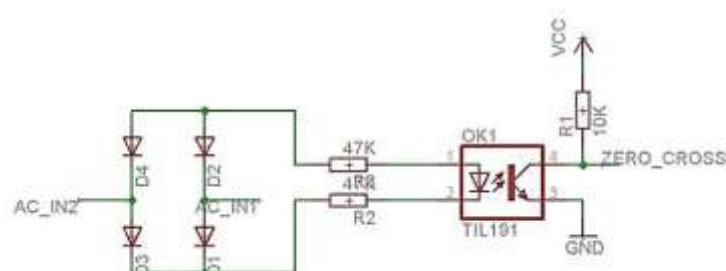
Gambar rangkaian dari rangkaian *driver* elemen pemanas MOC 3021 adalah sebagai berikut:



Gambar 3.20 Rangkaian *Driver* MOC 3021

3.5.14 Pembuatan Perangkat Keras Rangkaian Zero Cross Detector

Zero cross detector adalah rangkaian yang dapat digunakan untuk mendeteksi sebuah gelombang sinus AC 220 volt pada saat melewati titik tegangan nol. Rangkaian pada *zero cross detector* itu sendiri akan memberikan output berupa pulsa sempit pada saat terjadi persilangan nol pada tegangan AC yang dideteksi. Rangkaian pembentuk *zero cross detector* berupa IC optocoupler yang terdiri dari led infra merah dan transistor. Rangkaian *zero cross detector* diaplikasikan pada pemberi bias tegangan gate TRIAC. Rangkaian *zero cross detector* digunakan pada perangkat pengontrol elemen pemanas atau beban AC yang dikendalikan oleh TRIAC.

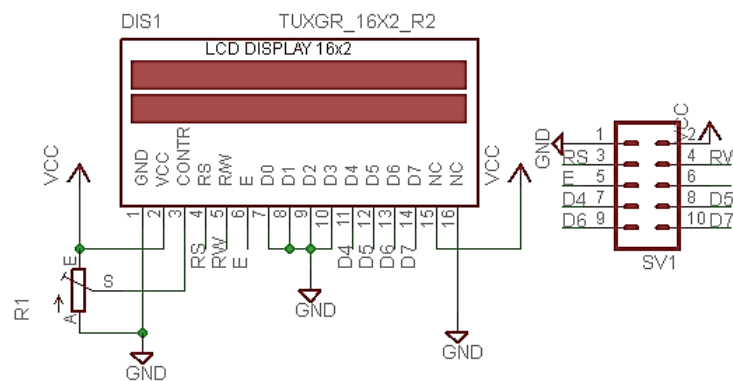


Gambar 3.21 Rangkaian *Zero Cross Detector*

3.5.15 Pembuatan Perangkat Keras Modul LCD 20x4

Proses pemasakan nasi saat user mulai mengoperasikan *rice cooker* dan pemantauan suhu secara realtime di didalam ruangan *rice cooker* ditampilkan melalui LCD, sehingga user mampu mengetahui jenis masakan, suhu pada *rice cooker*, waktu pengoperasian *rice cooker*, suhu saat ini, dan waktu yang telah digunakan pada saat proses.

Rangkaian LCD 20x4 terdiri dari 1 buah variabel resistor 10 K Ω untuk mengatur kontras dan *backlight* pada tampilan LCD. Pin out dari LCD 20x4 sama dengan pin out pada LCD 20x4, sehingga pembuatan pcb dari modul ini mengikuti pembuatan modul LCD 20x4.



Gambar 3.22 Rangkaian Modul LCD 20x4

3.5.16 Antarmuka Keypad Matrix 4X4

Pada *rice cooker* ini, pengaturan mekanisme kerja dilakukan melalui pemilihan tombol pada keypad matrix. Keypad matrix yang digunakan adalah keypad matrix rubber 4x4.

Tabel 3.7 Konfigurasi Tombol Pada Keypad

Tombol	Fungsi
A	Mode menanak nasi
B	Mode membuat bubur
C	Mode mengukus kue
D	Mode manual
0-9	Tombol memasukkan angka
#	Hapus Nilai
*	Enter

Berikut ini adalah tampilan dari keypad matrix rubber 4x4 yang digunakan sebagai media untuk pengaturan mekanisme kerja dari *rice cooker*:



Gambar 3.23 Tampilan Keypad Yang Digunakan

Antarmuka keypad matrix dan sistem digunakan sebagai pemilihan mode kerja *rice cooker*, pemilihan jenis makanan yang akan diolah dengan pengaturan suhu dan timer secara otomatis melalui program, dan memasukkan nilai suhu dan timer secara manual. Berikut ini adalah alur kerja dari antarmuka keypad matrix dengan sistem.

1. Pada kondisi awal *rice cooker* dinyalakan, LCD akan memberikan informasi mode pemilihan kerja yang digunakan. Instruksi tombol “D” sebagai pemilihan mode *rice cooker* secara manual dengan memasukkan nilai suhu dan pewaktuan dari user. Instruksi tombol “#” sebagai pemilihan mode *rice cooker* bekerja secara otomatis dalam pengaturan suhu dan timer sesuai dengan jenis masakan yang disediakan oleh menu.
2. Apabila user memilih mode secara manual, maka user dapat memasukkan nilai suhu dan pewaktuan melalui tombol 0-9.
3. Apabila user memilih mode secara otomatis, maka user dapat memilih jenis masakan yang akan diolah melalui tombol A untuk jenis nasi, B untuk jenis bubur, dan C untuk mengukus kue.

3.5.17 Integrasi Perangkat Keras

Proses perancangan dan pembuatan *hardware* berupa kontroler utama minimum sistem Arduino Uno 328, rangkaian pencatu daya, rangkaian sensor, minimum sistem *slave* Atmega 8, rangkaian *driver* pemanas MOC 3021, modul LCD 20x4, dan antarmuka keypad matrix telah berhasil dilakukan sehingga masing – masing *hardware* tersebut terintegrasi agar mampu bekerja secara optimal sesuai dengan perancangan sistem yang digunakan. Antarmuka keypad matrix 4x4 dengan LCD karakter 20x4 dirancang sedemikian rupa agar mempunyai tampilan seperti berikut.

Jika tombol “A” ditekan, maka tampilan LCD akan seperti berikut:



Gambar 3.24 Tampilan Mode Menanak Nasi

Jika tombol “B” ditekan, maka tampilan LCD akan seperti berikut:



Gambar 3.25 Tampilan Mode Memasak Bubur

Jika tombol “C” ditekan, maka tampilan LCD akan seperti berikut:



Gambar 3.26 Tampilan Mode Mengukus Kue

Jika tombol “D” ditekan, maka tampilan LCD akan seperti berikut:



Gambar 3.27 Tampilan Mode Manual

3.6 Pengujian Sistem

Pengujian sistem ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pengujian linieritas sensor suhu *thermocouple*, pengujian heater pada *rice cooker*, pengujian driver control suhu MOC 3021, pengujian rangkaian *zero cross detector* dan pengujian keseluruhan sistem.

3.6.1 Pengujian Linearitas Sensor Suhu Thermocouple

Langkah awal dalam melakukan pengujian ini adalah mempersiapkan semua peralatan yang digunakan. Setelah proses persiapan selesai, hal yang dilakukan adalah meletakkan sensor *thermocouple* pada *rice cooker*. Langkah selanjutnya yaitu proses pengkabelan yaitu dengan menghubungkan pin Vout sensor ke pin ADC.0 yang langsung diolah oleh Arduino Uno. Kemudian selanjutnya yaitu

menyambungkan kabel USB to USB Type B dengan Arduino Uno dan laptop (PC) serta rangkaian pencatu daya ke dalam rangkaian Arduino Uno untuk mendapatkan tegangan. Setelah langkah persiapan dan pengkabelan selesai, maka proses pengambilan data dapat dilakukan. Saat *rice cooker* dinyalakan, sensor akan merespon perubahan suhu pada *rice cooker* dengan mengeluarkan tegangan output. Data output sensor berupa tegangan akan terbaca oleh Arduino Uno melalui pin ADC.0 sehingga diperoleh hubungan antara tegangan dengan waktu. Pengambilan data dilakukan pada 3 titik referensi secara bergantian.

Dari hasil pengujian diperoleh data berupa output tegangan dari sensor suhu thermocouple ada lah berupa tegangan dimana perubahannya adalah sebesar 10 mV/oC. Nilai output tersebut masuk ke Pin ADC 0 yaitu pada PORTA.0 dengan perhitungan konversi adalah sebagai berikut:

$$\boxed{\text{Suhu} = (\text{Nilai ADC} * 100 * 5) / 1023}$$

Keterangan:

1. Nilai Minimum Sistem Arduino Uno
2. Sensor Thermocouple
3. Kabel USB to USB Type B
4. *Rice cooker* Cosmos CRJ – 780

ADC : Nilai digital dari mikrokontroler
 100 : faktor pengali dari 10 mVolt menuju 1 V
 5 : nilai tegangan referensi yaitu 5 V Akhir
 1024 : Resolusi ADC 10 bit

Peralatan Pengujian :

Berikut adalah tabel karakteristik suhu pada ruang *rice cooker* dengan menggunakan sensor thermocouple

Tabel 3.8 Tabel Hasil Percobaan Output Pengujian Sensor Thermocouple dengan Datasheet AD595

No	<i>Infrared Thermometer</i> (°C)	V output sesudah penguatan (mV)	V output Datasheet (mV)	% Error (%)
Rata – Rata				

3.6.2 Pengujian Driver Elemen Pemanas MOC 3021

Dalam pengujian *driver* elemen pemanas MOC3021 ini, tahap pertama yang dilakukan adalah mempersiapkan seluruh peralatan yang dibutuhkan beserta rangkaian *driver* elemen pemanas MOC3021. Setelah tahapan persiapan selesai maka selanjutnya pengujian untuk menentukan apakah rangkaian bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian yang dilakukan ini dapat memberikan tegangan input 5 VDC pada pin input MOC3021 (Pin 1: +5V dan Pin 2 : Gnd). Kemudian pada input AC dihubungkan dengan tegangan 220 VAC. MOC3021 merupakan suatu optotriac yang berfungsi sebagai penghantar antara sumber tegangan DC dan tegangan AC. Transmitter berupa infrared diode yang memberikan sumber cahaya untuk receiver optotriac. Pada rangkaian ini receiver optotriac terhubung pada tegangan AC. Untuk mengetahui bekerja atau tidaknya rangkaian ini, pada beban output yaitu elemen pemanas dipararel.

Pada pengujian ini menggunakan power supply 5 VDC apabila input diberikan 5 V maka indikator lampu pijar yang akan diinginkan adalah menyala. Kemudian apabila input 5 V diputus maka lampu pijar akan padam. Kemudian setelah rangkaian berhasil bekerja dengan menggunakan program sinyal trigger MOC3021 yang dihasilkan oleh arduino. Hasil yang akan diharapkan adalah

ketika sinyal trigger 0 = maka lampu pijar padam, ketika sinyal trigger = 1 maka lampu pijar menyala terang.

Peralatan Pengujian :

1. Minimum Sistem *Slave* ATmega 8
2. Rangkaian *Zero cross detector*
3. Rangkaian MOC3021
4. Lampu Pijar
5. Laptop
6. Kabel

Tabel 3.9 Tabel Pengujian Driver Elemen Pemanas MOC 3021

Data Ke -	Trigger Pada Arduino	Hasil
1		
2		
3		
4		
5		
6		

3.6.3 Pengujian Rangkaian Zero Cross Detector

Pada proses pengujian ini hal penting yang perlu dilakukan adalah persiapan peralatan seperti rangkaian, kabel, serta alat ukur berupa oscilloscope. Karena pada pengujian ini berhubungan dengan tegangan AC 220 V, maka pastikan terlebih dahulu bahwa rangkaian tidak ada yang mengalami *short circuit*. Akan lebih baik jika PCB yang kita buat kita lapiasi dengan semacam isolator untuk melindungi diri dari menempelnya jalur rangkaian pada kulit jika ada suatu yang tidak diinginkan. Selanjutnya, adalah menghubungkan kabel listrik bertegangan 220 VAC ke input rangkaian. Dalam rangkaian *zero cross detector* terdapat komponen diode bridge / kuprok dan optocoupler. Dimana diode bridge / kiprok berfungsi untuk mensearahkan tegangan dan optocoupler untuk mendeteksi adanya tegangan yang melewati nilai 0. Ketika adanya tegangan yang melewati nilai 0, maka infrared pada optocoupler aktif dan memicu optotransistor untuk

aktif. Sehingga dihasilkanlah sinyal yang tertera pada dokumentasi hasil pengujian. Sinyal ini yang akan menjadi sinyal trigger untuk pin INTO yang sifatnya *raising edge*.

Peralatan Pengujian :

1. Arduino UNO
2. Kabel – Kabel
3. Rangkaian *zero cross detector*
4. Oscilloscope
5. Probe

Dalam pengujian ini, *Port* Arduino Uno yang digunakan untuk mengontrol driver Tegangan AC adalah pin yang memiliki fitur PWM, pada pengujian ini digunakan *Port* D bit 5. PWM dibangkitkan dengan *duty cycle* yang berbeda.

$$Duty\ Cycle = OCR1A \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

Pengujian pengontrolan *driver* tegangan AC dimulai dengan *range duty cycle* antara 0% - 100% dengan kenaikan setiap 10%. Data yang diambil pada pengujian ini adalah data tegangan AC yang berhasil dikontrol melalui *driver* tegangan AC.

Hasil pengujian dari *driver* tegangan AC yang digunakan untuk pengontrolan tegangan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.10 Hasil Pengujian Driver Tegangan AC.

No	Duty Cycle (%)	Tegangan Output Driver Tegangan AC (V)	Tegangan Sumber (V)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

3.6.4 Pengujian Keseluruhan Sistem

Hal penting yang harus dipersiapkan dalam pengujian ini adalah kelengkapan semua peralatan dan perangkat keras. Karena pengujian kali ini berhubungan dengan tegangan AC 220 VAC dan proses masak-memasak, kebutuhan untuk pemasakan haruslah dipenuhi terlebih dahulu, mulai dari beras dan air matang sesuai takaran. Prosedur pengujian kali ini menggunakan semua perangkat keras yang sudah dibuat dan melakukan tugasnya masing – masing dengan baik.

Mikrokontroler *slave* bertugas untuk mengeksekusi penyulutan pemanas, dan mikrokontroler utama untuk merekap semua data penginderaan yang terdeteksi. Setelah semuanya terpasang, barulah kita dapat memulai pengujian dengan menghubungkan tegangan 220 VAC ke kabel *rice cooker* dan rangkaian *driver* elemen pemanas MOC3021. Bersamaan dengan hal tersebut, proses pengindraan sensor suhu dimulai dan dapat dimonitor perubahan suhu terhadap waktu mulai awal hingga nasi menjadi matang.

Pengujian karakteristik suhu *rice cooker* dilakukan untuk mengetahui perlakuan kontrol yang tepat pada masing-masing jenis bahan yang akan dimasak. Berdasarkan hasil pengujian ini akan dapat diketahui bahwa untuk menghasilkan kualitas pemasakan yang hampir sama, terdapat perbedaan waktu pemasakan antara pemasakan menggunakan *rice cooker* metode *On/Off* dengan menggunakan *rice cooker* dengan kontrol berbasis logika PID. Berikut ini menunjukkan tabel karakteristik respon suhu (termometer) proses memasak secara otomatis dan sebelum diberi kontrol otomatis untuk 3 jenis bahan yang akan dimasak serta besar efisiensi waktu yang dibutuhkan. Kemudian didapatkan pula nilai overshoot selisih suhu maksimal dengan set point pada masing-masing proses memasak menggunakan Metode PID. Selain itu perbedaan visual dari bahan makanan yang di masak serta besarnya efisiensi daya yang dibutuhkan bila menggunakan *rice cooker* Metode PID dengan Metode *On/Off*.

Tabel 3.11 Karakteristik Suhu Menggunakan Metode ON-OFF

Waktu (Menit)	Suhu Menggunakan Metode ON-OFF		
	Suhu (Menanak Nasi) (°C)	Suhu (Membuat Bubur) (°C)	Suhu (Mengukus Kue) (°C)

Tabel 3.12 Karakteristik Suhu Diberi PID

Waktu (Menit)	Suhu diberi Kontrol PID		
	Suhu (Menanak Nasi) (°C)	Suhu (Membuat Bubur) (°C)	Suhu (Mengukus Kue) (°C)

Setelah mengetahui perbandingan karakteristik suhunya, perlu diketahui efisiensi waktu yang dicapai oleh *rice cooker* dilakukan perbandingan waktu antara *rice cooker* yang menggunakan metode *on-off* dan di beri kontroler PID.

Tabel 3.13 Data Perbandingan Proses Pemasakan Untuk Masing-Masing Jenis Masakan Yang Disajikan

Jenis Masakan	Waktu Pemasakan (Menit)		Efisiensi Waktu (%)
	<i>Rice cooker</i> dengan Metode ON-OFF	<i>Rice cooker</i> dengan Kontroler PID	
Nasi			
Bubur			
Kue Kukus			
Rata –Rata Efisiensi Waktu (%)			

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisa dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat dapat berfungsi sesuai yang diharapkan. Pengujian dilakukan secara perbagian rangkaian, komunikasi serial, software kemudian secara keseluruhan. Adapun pengujian yang perlu dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Pengujian Mikrokontroler Arduino Uno
2. Pengujian Sensor Thermocouple Type-K
3. Pengujian Rangkaian Elemen Pemanas
4. Pengujian PWM Mikrokontroler
5. Pengujian Rangkaian *Zero Cross Detector*
6. Pengujian Karakteristik Sensor dengan Penambahan Pemanas Eksternal
7. Pengujian Pengujian Karakteristik Suhu Saat Proses Pemasakan Nasi Secara Otomatis
8. Pengujian Pengujian Karakteristik Suhu Saat Proses Pemasakan Bubur Secara Otomatis
9. Pengujian Pengujian Karakteristik Suhu Saat Proses Pemasakan Roti Kukus Secara Otomatis
10. Kesimpulan Akhir Pengujian Karakteristik Suhu Pada *Rice cooker* Otomatis

4.1 Pengujian Mikrokontroler Arduino UNO

Mikrokontroler arduino dapat diuji dengan menggunakan program dan rangkaian sederhana. Program dan rangkaian dibuat untuk memastikan semua pin pada mikrokontroler masih berfungsi. Program pengujian yang paling sederhana dapat menggunakan program untuk menyalakan led.



Gambar 4.1 Pengujian Mikrokontroler Arduino Uno

Kesimpulan dari pengujian Mikrokontroler Arduino dapat dilihat dari tabel hasil pengujian berikut:

Tabel 4.1 Tabel Hasil Percobaan Mikrokontroler Arduino

No	Input	Output (Led)	Kesimpulan
1	High (1)	Nyala	Bekerja normal
2	Low (0)	Mati	Bekerja normal

Dari pengujian mikrokontroler yang dilakukan dapat diketahui bahwa mikrokontroler arduino uno dalam kondisi baik karena saat dilakukan pengujian dan program dicompile ke dalam mikrokontroler arduino pin digital output di arduino yaitu pin 0 sampai pin 13 dapat memberikan respon dengan hasil lampu led yang dipasangkan pada pin 0 sampai 13 dapat menyala.

4.2 Pengujian Sensor Thermocouple Type-K

Pada pengujian ini wire (+) dan wire (-) pada sensor thermocouple dihubungkan dengan rangkaian instrumentasi AD595. Tegangan output pada sensor dalam orde mV berfungsi sebagai input. Output tegangan yang dihasilkan sebesar 100mv/°C. Rangkaian ini tidak ditambah rangkaian penguatan lain karena didalam IC tersebut sudah terdapat rangkaian penguatan differensiator amplifier. Tahap awal dalam melakukan pengujian ini adalah mempersiapkan semua peralatan yang digunakan. Setelah proses persiapan selesai, hal yang dilakukan adalah proses pengkabelan yaitu, menghubungkan sensor dengan rangkaian

penguat dan terminal output pada rangkaian penguat dihubungkan dengan multimeter untuk melakukan pengecekan terhadap output penguatan. Rangkaian penguatan akan mendapat supply sebesar +5V dari power supply masuk ke pin VCC pada keluaran rangkaian penguat. GND akan terhubung ke -5V. Pin data akan terhubung ke (+) multimeter dan (-) terhubung ke Gnd. Pastikan semua dipastikan terhubung lalu amati perubahan suhu dan V output yang keluar. Setelah itu bandingkan hasil output sensor dengan *infrared thermometer*.

Output tegangan dari sensor suhu thermocouple ada lah berupa tegangan dimana perubahannya adalah sebesar 10 mV/oC. Nilai output tersebut masuk ke Pin ADC 0 yaitu pada PORTA.0 dengan perhitungan konversi adalah sebagai berikut :

$$\text{Suhu} = (\text{Nilai ADC} * 100 * 5) / 1023 \dots \dots \dots (4.1)$$

Keterangan :

Nilai ADC : Nilai digital dari mikrokontroler

100 : faktor pengali dari 10 mVolt menuju 1 V

5 : nilai tegangan referensi yaitu 5 V

1023 : Resolusi ADC 10 bit

Tabel pengamatan hasil percobaan:

Tabel 4.2 Tabel Hasil Percobaan Output Pengujian Sensor Thermocouple dengan Datasheet AD595

No	<i>Infrared Thermometer</i> (°C)	V output sesudah penguatan (mV)	V output Datasheet (mV)	% Error (%)
1	50	504	503	0.4
2	60	602	605	0.1
3	70	701	700	0.1
4	80	805	820	0.6
5	90	902	900	0.2
6	100	1012	1015	0.2
7	110	1116	1100	1.4
8	120	1217	1219	0.1
9	130	1328	1300	2.1
10	140	1419	1420	0.07
Rata – Rata				0.527

Dari pengujian diatas, didapatkan 10 data pengujian mulai dari suhu 50 sampai dengan 140. Untuk suhu, dilakukan perbandingan menggunakan suhu yang berasal dari adc dan suhu dari *Infrared Thermometer*. Untuk data pengujian perbandingan suhu dengan v output bersifat linier. Semakin besar suhu maka V outputnya juga semakin besar. Untuk data perbandingan V output dengan datasheet, nilai % error rata-rata yang dihasilkan sebesar 0.527%. Rangkaian AD595 ini tidak dicouple dengan rangkaian penguatan yang lain, karena didalam rangkaian AD595 sudah terdapat rangkaian differensiator amplifier. AD595 dapat digunakan untuk range suhu mulai dari -200°C sampai dengan 1250°C . Sedangkan range thermocouple mulai dari -260°C sampai dengan 1370°C . Jadi keduanya sesuai digunakan untuk range suhu *Rice cooker*.

4.3 Pengujian Rangkaian Elemen Pemanas

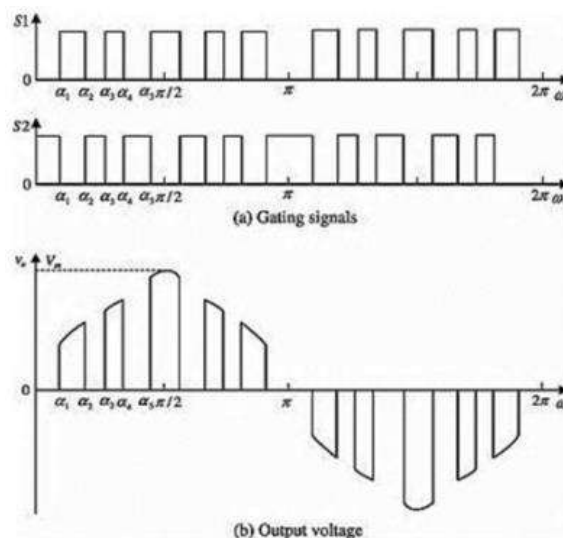
Pada pegujian kali ini dilakukan dengan cara mensimulasikan tegangan keluaran beban dengan menggantinya dengan lampu pijar. Dalam rangkaian driver elemen pemanas terdapat rangkaian zero cross detector yang gunanya sebagai indikator adanya tegangan 0 serta terdapat 2 push button yang berfungsi sebagai increament dan decreament. Kontrol PWM dilakukan dengan memberikan instruksi pada mikro dan instruksi tersebut akan diterima oleh driver pemanas, sehingga driver pemanas mampu memberikan kontrol suhu sesuai yang diinginkan oleh user. Jadi, hasil yang ditampilkan pada terangnya lampu pijar dapat diatur dengan push button tersebut.

Pada proses pengujian driver elemen pemanas MOC 3021 ini, tahap pertama yang dilakukan adalah mempersiapkan seluruh peralatan yang dibutuhkan beserta rangkaian driver elemen pemanas MOC 3021. Setelah tahapan persiapan selesai maka selanjutnya pengujian untuk menentukan apakah rangkaian berkerja dengan baik atau tidak. Pengujian dilakukan dengan memberi input 5VDC pada input MOC (Pin 1: 5VDC dan Pin 2: Ground). Kemudian pada input AC dihubungkan dengan tegangan 220VAC. MOC 3021 merupakan suatu optotriac yang berfungsi sebagai penghantar antara sumber tegangan DC dan tegangan AC. Transmitter berupa infrared diode yang memberikan sumber cahaya untuk receiver optotriac.

Pada rangkaian ini receiver optotriac terhubung pada tegangan AC. Untuk mengetahui bekerja atau tidaknya rangkaian ini, pada beban output yaitu elemen pemanas diparalel dengan lampu bolamp yang berfungsi sebagai indikator elemen pemanas saat bekerja.

Pada pengujian pertama menggunakan power supply 5 VDC apabila input diberikan 5 V maka indikator lampu pijar akan menyala. Kemudian apabila input 5 V diputus maka lampu pijar akan padam. Kemudian setelah rangkaian berhasil bekerja dengan menggunakan program sinyal trigger MOC3021 yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Hasilnya adalah ketika sinyal trigger 0 = maka lampu pijar padam, ketika sinyal trigger = 1 maka lampu pijar menyala terang.

Pengujian dilakukan dengan memberikan input 5 VDC pada pin input (V_{in} dan Ground). Kemudian pada input AC dihubungkan dengan tegangan 220 VAC. MOC3021 merupakan suatu optotriac yang berfungsi sebagai penghantar antara sumber tegangan DC dan tegangan AC. Transmitter berupa infrared diode yang memberikan sumber cahaya untuk receiver optotriac. Pada rangkaian ini receiver optotriac terhubung pada tegangan AC. Untuk mengetahui bekerja atau tidaknya rangkaian ini, pada beban output yaitu elemen pemanas dipararel dengan lampu pijar yang berfungsi sebagai indikator elemen pemanas saat bekerja.



Gambar 4.2 Karakteristik Kontrol Driver Elemen Pemanas

Kesimpulan dari analisa hasil pengujian driver elemen pemanas menggunakan MOC3021 adalah rangkaian ini mampu memberikan kontrol

dengan baik pada elemen pemanas karena ketika pengaturan nilai sinyal trigger yang diberikan semakin besar, maka indikator lampu pijar akan menyala semakin terang dan fase on-off semakin cepat. Sehingga kerja dari elemen pemanas dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

4.4 Pengujian PWM Mikrokontroler

Pada pengujian ini pengambilan data Kontrol PWM dilakukan dengan memberikan instruksi pada mikro. Output pada pin tersebut dihubungkan pada probe oscilloscope, sehingga sinyal PWM dari mikro dapat terbaca pada oscilloscope.

Siapkan semua peralatan yang akan digunakan dalam proses pengujian. Dalam pengujian ini, terdiri atas beberapa blok seperti pada blok diagram diatas. Port Mikrokontroler yang digunakan untuk mengontrol driver Tegangan AC adalah pin yang memiliki fitur PWM, pada pengujian ini digunakan Port D bit 5. PWM dibangkitkan dengan duty cycle yang berbeda.

$$Duty\ Cycle = OCR1A \times 100\% \dots\dots\dots(4.2)$$

Pengujian pengontrolan driver tegangan AC dimulai dengan range duty cycle antara 0% - 100% dengan kenaikan setiap 10%. Data yang diambil pada pengujian ini adalah data tegangan AC yang berhasil dikontrol melalui driver tegangan AC.

Hasil pengujian dari driver tegangan AC yang digunakan untuk pengontrolan tegangan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Tabel Pengujian Driver Tegangan AC

No	Duty Cycle (%)	Tegangan Ouput Driver Tegangan AC (V)	Tegangan Sumber (V)
1	0	11	220
2	10	49	220
3	20	73	220
4	30	84	220
5	40	119	220

6	50	131	220
7	60	155	220
8	70	160	220
9	80	182	220
10	90	210	220
11	100	219	220

Dari data di atas diketahui bahwa semakin besar nilai Duty Cycle dari PWM maka tegangan output akan semakin besar, yang menyebabkan panas heater semakin panas. Hal ini dikarenakan semakin kecilnya waktu tunda penyulutan tegangan AC, sehingga periode on gelombang semakin besar.

4.5 Pengujian Rangkaian *Zero Cross Detector*

Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui bentuk sinyal pemicu / trigger yang berupa sinyal raising edge dari rangkaian zero cross detector yang akan diterima oleh pin INT0 ATmega 8 sebagai eksternal interrupt. Sinyal interrupt ini yang akan memicu ATmega 8 untuk menghasilkan sinyal pemicu lagi untuk mengaktifkan driver elemen pemanas MOC3021.

Pada proses pengujian ini hal penting yang perlu dilakukan adalah persiapan peralatan seperti rangkaian, kabel, serta alat ukur berupa oscilloscope. Karena pada pengujian ini berhubungan dengan tegangan AC 220 V, maka pastikan terlebih dahulu bahwa rangkaian tidak ada yang mengalami short circuit. Akan lebih baik jika PCB yang kita buat kita lapiasi dengan semacam isolator untuk melindungi diri dari menempelnya jalur rangkaian pada kulit jika ada suatu yang tidak diinginkan. Selanjutnya, adalah menghubungkan kabel listrik bertegangan 220 VAC ke input rangkaian. Dalam rangkaian zero cross detector terdapat komponen diode bridge / kuprok dan optocoupler. Dimana diode bridge / kuprok berfungsi untuk mensearahkan tegangan dan optocoupler untuk mendeteksi adanya tegangan yang melewati nilai 0. Ketika adanya tegangan yang melewati nilai 0, maka infrared pada optocoupler aktif dan memicu optotransistor untuk

aktif. Sinyal ini yang akan menjadi sinyal trigger untuk pin INTO yang sifatnya raising edge.

Dalam dunia elektronika, zero crossing biasa digunakan untuk mendefinisikan perpotongan antara suatu gelombang listrik (misalnya gelombang sinus) dengan titik nol. Zero crossing biasa digunakan sebagai acuan untuk mengatur sudut penyalan Thyristor pada rangkaian dimmer.

4.6 Pengujian Karakteristik Sensor dengan Penambahan Pemanas Eksternal

Pada pengujian ini, dilakukan proses penanakan nasi dari kondisi masih beras hingga menjadi nasi matang.

Hal penting yang harus dipersiapkan dalam pengujian ini adalah kelengkapan semua peralatan dan perangkat keras. Karena pengujian kali ini berhubungan dengan tegangan AC 220 VAC dan proses masak-memasak, kebutuhan untuk pemasakan haruslah dipenuhi terlebih dahulu, mulai dari beras dan air matang sesuai takaran. Prosedur pengujian kali ini menggunakan semua perangkat keras yang sudah dibuat dan melakukan tugasnya masing – masing dengan baik. Mikrokontroler slave bertugas untuk mengeksekusi penyulutan pemanas, dan mikrokontroler utama untuk merekap semua data penginderaan yang terdeteksi. Setelah semuanya terpasang, barulah kita dapat memulai pengujian dengan menghubungkan tegangan 220 VAC ke kabel *rice cooker* dan rangkaian driver elemen pemanas MOC3021. Bersamaan dengan hal tersebut, proses pengindraan sensor suhu dimulai dan dapat dimonitor perubahan suhu terhadap waktu mulai awal hingga nasi menjadi matang.

Hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 4.4 Tabel Perubahan Suhu Saat Menanak Nasi

No	Waktu (menit)	Suhu (°C)
1	10	43.5
2	20	62.7
3	30	86.2

4	40	88.9
5	50	89.3
6	60	91.1
7	70	92.5
8	80	93.1
9	90	94.7
10	100	96.6

Dalam pengujian kali ini, dilakukan proses penanakan nasi dengan posisi sensor terletak di lokasi B dan kondisi *rice cooker* sudah termodifikasi dengan adanya tambahan pemanas. Terdapat beberapa perbedaan dengan sebelum menggunakan *rice cooker* yang belum dimodifikasi. suhu saat menanak nasi sangat cepat naik dikarenakan adanya 2 elemen pemanas yang bekerja sehingga proses matangnya nasi juga lebih cepat. Berikut adalah grafik perubahan suhu berdasarkan waktu saat proses menanak nasi.

Analisa yang didapat yakni suhu pada saat proses menanak nasi adalah konstan diawal dikarenakan *rice cooker* mengalami proses pemanasan pada ruang *rice cooker* hingga mencapai suhu 200 °C, setelah itu beras terlihat sedang terolah baik karena panas yang didapat. Suhu naik – turun dikarenakan jarak sensor yang memang dekat dengan objek pemasakan. Maka dari itu sensor dapat terkena letupan air yang mendidih maupun uap panas. Pengujian kali ini, beras matang menjadi nasi saat menit ke 25 dan langsung mengalami proses warming untuk menghilangkan sisa – sisa kandungan air yang masih tersimpan.



Gambar 4.2 Hasil Nasi Yang Matang

4.7 Pengujian Karakteristik Suhu Saat Proses Pemasakan Nasi Secara Otomatis

Pada pengujian ini, dilakukan proses penanakan nasi dengan menggunakan Metode Set Point PID hingga menjadi nasi yang matang. Pemilihan beras dalam pengujian ini menggunakan beras merek “Pelikan”.

Hal penting yang harus dipersiapkan dalam pengujian ini adalah kelengkapan semua peralatan dan bahan. Karena pengujian ini membutuhkan tegangan 220 VAC dan proses masak-memasak, maka prosedur pengujian akan menggunakan semua perangkat keras yang sudah dibuat dan setiap perangkat melakukan tugasnya masing-masing. Mikrokontroler slave bertugas untuk mengeksekusi penyulutan pemanas dan mikrokontroler utama berfungsi untuk merekap semua data penginderaan yang dideteksi. Setelah semuanya terpasang, barulah bisa dimulai pengujian dengan cara menghubungkan kabel tegangan AC220 ke dalam sistem. Saat sistem menyala, akan ada tampilan menu untuk memulai proses penanakan nasi. Bersamaan dengan hal tersebut, proses penginderaan sensor suhu dimulai dan dapat diamati perubahan suhu terhadap waktu mulai awal hingga nasi menjadi matang.

$$Effisiensi = \left(\frac{\text{Tanpa Kontrol} - \text{Dengan Kontrol}}{\text{Tanpa Kontrol}} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (4.3)$$

Hasil pengujian proses penanakan nasi sebagai berikut:

Tabel 4.5 Tabel Perubahan Suhu Saat Menanak Nasi

No	Waktu (menit)	Suhu (°C)
1	1	36.7
2	5	39.5
3	10	55.3
4	15	64.6
5	20	87.4
6	25	91
7	30	93.8
8	35	94.2
9	40	95
10	45	95.2
11	50	95.8

Tabel 4.6 Tabel Efisiensi Saat Menanak Nasi

NASI					Efisiensi (%)
No	Tanpa Kontrol		Dengan Kontrol		
	Suhu(°C)	Waktu (menit)	Suhu(°C)	Waktu (menit)	
1	94	42	94	20	52.38
2	94	47	94	25	46.81
3	94	45	94	23	48.89
4	94	46	94	24	47.83
5	94	40	94	18	55
6	94	47	94	25	46.81
7	94	46	94	24	47.83
8	94	46	94	24	47.83
9	94	51	94	29	43.14
10	94	45	94	23	48.89
11	94	45	94	23	48.89
rata-rata waktu		45.45		23.45	
rata-rata Efisiensi					48.57

Dalam pengujian kali ini, dilakukan proses penanakan nasi dengan sensor thermocouple dan kondisi *rice cooker* sudah termodifikasi dengan adanya tambahan pemanas. Terdapat beberapa perbedaan suhu dan karakteristik sebelum menggunakan metode PID dengan ditambahkan metode PID. Kestabilan suhu yang terbaca jauh lebih stabil serta tingkat kematangannya tidak terlalu matang yang dapat menyebabkan nasi menjadi keras dan tak layak untuk dikonsumsi.

Pada pengujian ini, *rice cooker* menggunakan metode PID sehingga mampu bekerja secara otomatis sesuai dengan jenis masakan. Dari data diketahui bahwa karakteristik penanakan nasi memerlukan waktu set point 94 °C dengan kenaikan suhu linear terharap pertambahan waktu. Hal ini dikarenakan apabila proses penanakan dalam suhu yang tinggi dan range kenaikan suhu dalam waktu singkat untuk mencapai steady state menyebabkan nasi menjadi gosong dan tak layak dikonsumsi.

Pengambilan data dilakukan dengan memanfaatkan ADC0. Sistem kontrol Metode Set Point PID yang dibuat salah satunya bekerja pada proses ini yaitu menyulutkan sinyal high dari mikrokontroler slave ATmega 8 ke rangkaian driver elemen pemanas.

Dari analisa hasil pengujian karakteristik suhu penanakan nasi dapat disimpulkan bahwa nasi memerlukan suhu 94 °C dengan waktu mencapai steady-state adalah pada menit ke-15. Lama penanakan memerlukan waktu sekitar 35 menit, setelah itu sistem akan mati dengan otomatis.

4.8 Pengujian Karakteristik Suhu Saat Proses Pemasakan Bubur Secara Otomatis

Pada pengujian ini, dilakukan proses pembuatan bubur dengan menggunakan Metode Set Point PID hingga menjadi bubur yang pas. Pengujian ini dilakukan agar diketahui perbedaannya. Hal penting yang harus dipersiapkan dalam pengujian ini adalah kelengkapan semua peralatan dan bahan. Karena pengujian ini membutuhkan tegangan 220 VAC dan proses masak-memasak, maka prosedur pengujian akan menggunakan semua perangkat keras yang sudah dibuat dan setiap perangkat melakukan tugasnya masing-masing. Mikrokontroler slave bertugas untuk mengeksekusi penyulutan pemanas dan mikrokontroler utama

berfungsi untuk merekap semua data penginderaan yang dideteksi. Setelah semuanya terpasang, barulah bisa dimulai pengujian dengan menghubungkan kabel tegangan AC220 ke dalam sistem. Saat sistem menyala, akan ada tampilan menu untuk memulai proses pembuatan bubur. Bersamaan dengan hal tersebut, proses penginderaan sensor suhu dimulai sehingga dapat diamati perubahan suhu terhadap waktu mulai awal hingga bubur menjadi matang.

Dalam pengujian pembuatan bubur menggunakan Metode Set Point PID, perlu diperhatikan bahwa pembuatan bubur membutuhkan waktu lebih lama daripada menu yang lainnya, yaitu nasi ataupun kue kukus. Suhu yang stabil dan konstan dan tidak terlalu panas dibutuhkan dalam proses pembuatan bubur. Dalam pengujian pembuatan bubur menggunakan Metode Set Point PID, perlu diperhatikan bahwa pembuatan bubur membutuhkan waktu lebih lama. Pengujian ini, didapatkan data perubahan respon suhu sejak awal sistem berjalan hingga sistem berhenti bekerja.

Hasil pengujian proses pembuatan bubur sebagai berikut:

Tabel 4.7 Tabel Perubahan Suhu Saat Membuat Bubur

No	Waktu (menit)	Suhu (°C)
1	10	44.3
2	20	63.2
3	30	89.5
4	40	95.4
5	50	95.6
6	60	95.8
7	70	97.3
8	80	97.7
9	90	97.8
10	100	95.6

Tabel 4.8 Tabel Efisiensi Saat Memasak Bubur

<i>Bubur</i>					Efisiensi (%)
No	Tanpa Kontrol		Dengan Kontrol		
	Suhu(°C)	Waktu (menit)	Suhu(°C)	Waktu (menit)	
1	96	34	96	65	47.69
2	96	35	96	66	46.97
3	96	34	96	65	47.69
4	96	29	96	60	51.67
5	96	33	96	64	48.44
6	96	34	96	65	47.69
7	96	34	96	65	47.69
8	96	36	96	67	46.27
9	96	35	96	66	46.27
10	96	36	96	67	27.69
rata-rata waktu		34		65	
rata-rata Efisiensi					47.73

Pada pengujian ini, *rice cooker* menggunakan Metode Set Point PID sehingga mampu bekerja secara otomatis sesuai dengan jenis masakan. Dari data diketahui bahwa karakteristik pembuatan bubur memerlukan suhu set point 96 °C dengan kenaikan suhu linear terhadap pertambahan waktu. Hal ini dikarenakan apabila proses penanakan dalam suhu yang tinggi dan range kenaikan suhu dalam waktu singkat untuk mencapai steady state menyebabkan beras menjadi keras. Perubahan suhu pada proses ini mencapai titik stabil pada menit ke-15, setelah itu respon suhu mulai stabil hingga sistem akan menonaktifkan pekerjaannya.

Pengambilan data dilakukan dengan memanfaatkan ADC0. Sistem kontrol Metode Set Point PID yang dibuat salah satunya bekerja pada proses ini yaitu menyulutkan sinyal high dari mikrokontoler slave ATmega 8 ke rangkaian driver elemen pemanas.

Dari analisa hasil pengujian karakteristik pembuatan bubur dapat disimpulkan bahwa bubur memerlukan suhu 96 °C dengan waktu untuk mencapai steady-state pada menit ke-40. Lama proses pembuatan bubur memerlukan waktu sekitar 50 menit, setelah itu sistem akan mati dengan otomatis.

4.9 Pengujian Karakteristik Suhu Saat Proses Mengukus Kue Secara Otomatis

Pada pengujian ini, dilakukan proses pembuatan kue kukus dengan menggunakan Metode Set Point PID hingga menjadi nasi yang matang. Pengujian ini dilakukan dua kali dengan nilai suhu set point yang berbeda agar diketahui perbedaannya.

Hal penting yang harus dipersiapkan dalam pengujian ini adalah kelengkapan semua peralatan dan bahan. Karena pengujian ini membutuhkan tegangan 220 VAC dan proses masak-memasak, maka prosedur pengujian akan menggunakan semua perangkat keras yang sudah dibuat dan setiap perangkat melakukan tugasnya masing-masing. Mikrokontroler slave bertugas untuk mengeksekusi penyulutan pemanas dan mikrokontroler utama berfungsi untuk merekap semua data penginderaan yang dideteksi. Setelah semuanya terpasang, barulah bisa dimulai pengujian dengan menghubungkan kabel tegangan AC220 ke dalam sistem. Saat sistem menyala, akan ada tampilan menu untuk memulai proses pengukusan kue kukus. Bersamaan dengan hal tersebut, proses penginderaan sensor suhu dimulai sehingga dapat diamati perubahan suhu terhadap waktu mulai awal hingga kue menjadi matang.

Dalam pengujian pembuatan roti kukus menggunakan Metode Set Point PID kali ini perlu diperhatikan bahwa kue kukus membutuhkan suhu yang tidak terlalu panas dan tidak terlalu rendah suhunya. Pengujian yang pertama menggunakan nilai set point suhu sebesar 96°C. hal kedua yaitu adonan kue kukus haruslah benar, karena apabila tidak benar, maka adonan tidak akan mengembang dan kue kukus tidak akan berhasil matang. Berikut ditampilkan data mengenai respon suhu saat proses pembuatan roti kukus.

Hasil pengujian proses pembuatan roti kukus sebagai berikut:

Tabel 4.9 Tabel Perubahan Suhu Saat Membuat Roti Kukus

No	Waktu (menit)	Suhu (°C)
1	1	35
2	5	35.7
3	10	38.6
4	15	47.5
5	20	66.3
6	25	87
7	30	90.7
8	35	92.2
9	40	92.4
10	45	92.8
11	50	92.5

Tabel 4.10 Tabel Efisiensi Saat Mengukus Kue

<i>Kukus</i>					Efisiensi (%)
No	Tanpa Kontrol		Dengan Kontrol		
	Suhu(°C)	Waktu (menit)	Suhu(°C)	Waktu (menit)	
1	92	14	92	29	51.72
2	92	15	92	30	50
3	92	17	92	32	26.88
4	92	15	92	30	50
5	92	16	92	31	48.39
6	92	14	92	29	21.72
7	92	13	92	28	53.57
8	92	16	92	21	48.39
9	92	15	92	30	50
10	92	14	92	29	51.7
rata-rata waktu		14.9		29.9	
rata-rata Efisiensi					50.24

Proses pengujian ini dilakukan selama 25 – 30 menit dan hasilnya kue kukus matang sempurna akan tetapi kue kukus tidak mengembang layaknya kue kukus yang dipasaran. Hal ini dikarenakan adanya faktor dari bahan adonan kue kukus. Perubahan kenaikan suhu yang diukur mulai stabil pada menit ke 15 proses pengukusan. Dan setelah itu, suhu stabil hingga sistem otomatis mati.

Pengujian kedua dilakukan kembali dengan nilai set point yang berbeda yaitu 107 °C. dalam pengujian ini, suhu yang dicapai tidak mencapai 107 °C tetapi stabil di 94 °C.

Pada pengujian ini, *rice cooker* menggunakan Metode Set Point PID sehingga mampu bekerja secara otomatis sesuai dengan jenis masakan. Dari data diketahui bahwa karakteristik pengukusan kue kukus memerlukan waktu set point 94 °C dengan kenaikan suhu linear terhadap pertambahan waktu. Hal ini dikarenakan apabila proses penanakan dalam suhu yang tinggi dan range kenaikan suhu dalam waktu singkat untuk mencapai steady state menyebabkan nasi kue menjadi sangat kering.

Pengambilan data dilakukan dengan memanfaatkan ADC0. Sistem kontrol dengan Metode Set Point PID yang dibuat salah satunya bekerja pada proses ini yaitu menyulutkan sinyal high dari mikrokontoler slave ATmega 8 ke rangkaian driver elemen pemanas.

Dari analisa hasil pengujian karakteristik suhu pengukusan kue kukus dapat disimpulkan bahwa kue kukus memerlukan suhu 92 °C dengan waktu mencapai steady-state pada menit ke-10. Lama penanakan memerlukan waktu sekitar 35 menit, setelah itu sistem akan mati dengan otomatis.



Gambar 4.3 Dokumentasi Pengukusan Kue

4.10 Kesimpulan Akhir Pengujian Karakteristik Suhu Pada *Rice cooker* Otomatis

Pengujian karakteristik suhu pada *rice cooker* dilakukan untuk mengetahui perlakuan kontrol yang tepat pada masing-masing jenis masakan yang dibuat. Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa untuk menghasilkan kualitas proses pemasakan yang hampir sama, terdapat perbedaan waktu proses pemasakan dengan *rice cooker* antara sebelum dimodifikasi dan sesudah dikontrol dengan Metode Set Point PID.

Pada tabel 4.9 menunjukkan perbandingan waktu pemasakan untuk masing-masing jenis masakan yang disajikan

Tabel 4.9 Tabel Data perbandingan proses pemasakan untuk masing-masing jenis masakan yang disajikan

Jenis Masakan	Waktu Pemasakan (menit)		Efisiensi Waktu (%)
	Tanpa Kontrol	Dengan Kontrol	
Nasi	45	23	48.9
Bubur	65	34	47.7
Roti Kukus	30	15	50.0

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari perancangan dan pengujian sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai suhu set point saat menanak nasi, membuat bubur, dan mengukus kue adalah 94 °C, 96 °C dan 92 °C.
2. Berdasarkan pengujian karakteristik *Rice cooker* saat menanak nasi, membuat bubur, dan mengukus kue apabila menggunakan Metode PID serta menggunakan heater eksternal bekerja lebih baik dibandingkan dengan oven menggunakan Metode On/Off dengan satu heater. Efisiensi waktu pemasakan sebesar 48.9% dari waktu awal memasak hingga matang.
3. Proses mempertahankan suhu agar stabil dilakukan dengan memberikan aksi pada pemanas *rice cooker* berdasarkan Set Point Metode PID.
4. Proses lamanya pemasakan didapatkan dari pengujian karakteristik suhu masing-masing masakan yang diterapkan pada mikrokontroler.
5. Modifikasi dengan penambahan pemanas eksternal mampu memberikan pengaruh efek panas yang lebih cepat hingga 31 menit jika dibandingkan dengan pemanas asli.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan pada tiap-tiap rangkaian terdapat beberapa permasalahan dan kekurangan dalam perancangan, maka dari itu disarankan:

1. Perlu adanya pengembangan untuk mode otomatis pada *Rice cooker* seperti indikator volume air dan volume beras yang akan dimasak waktu pemasakan.

2. Tambahkan mikrokontroller untuk mengatur suhu sendiri. Agar proses pemanasan bisa di lakukan terus menerus dan tidak menunggu terlalu lama.
3. Bila *rice cooker* khusus digunakan untuk proses pemasakan baik otomatis ataupun manual, sebaiknya panci dalam *rice cooker* didesain lebih tebal agar lebih kuat dan panasnya merata.
4. Modifikasi bagian *rice cooker* sebaiknya tidak membuat lubang di tutup *rice cooker* karena gunanya untuk menyimpan uap panas dan dapat mempertahankan panas di dalam *rice cooker*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yusanto, Dwi Hadi, (2009), "*Alat pengontrol Suhu Pada Rice Cooker dengan Kontrol on-off*", Elektronika Project, Universitas Negeri Malang, Malang.
- [2] Fuadi, Mohammad As'ad, (2014), "*Rancang Bangun Sterilisator Alat-Alat Medis Dengan Sistem Pengendali Temperatur*", Proyek Akhir, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya.
- [3] Dinata, Yuwono Marta, (2015), "*Arduino Itu Sangatlah Mudah. Panduan Lengkap Membuat Desain Elektro yang Inovatif*", Jakarta.
- [4] Samadikun, S, (1988), "*Sistem Instrumentasi Elektronika*", Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [5] Marchin, Joe, (1995), "*Listrik Device Thermocouple Signal Conditioning Using the AD594/AD595*", London.
- [6] Danel, Gusrizam, Wildian, (2012), "*Otomatisasi Keran Dispenser Berbasis Mikrokontroler AT89S52 Menggunakan Sensor Fotodiode dan Sensor Ultrasonik Ping*", Universitas Andalas, Padang.
- [7] Zhanggischan. Zuhail, (2004), "*Prinsip Dasar Elektronika*", PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [8] Pandiangan, Johannes, (2007), "*Perancangan Dan Penggunaan Photodiode Sebagai Sensor Penghindar Dinding Pada Robot Forklift*", Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara.
- [9] Ladyada, Putri, (2015), "*Elektronika Dasar*", Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan.
- [10] <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/GDM2004D.pdf>
Diakses pada tanggal 05 November 2016, Pukul 18:10 WIB)
- [11] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/DS1307.pdf>
Diakses pada tanggal 05 November 2016, Pukul 19.45 WIB)
- [12] Ogata. Katsuhiko, (2011), "*Modern Control Engineering*", Pearson Education. Jakarta.

LAMPIRAN

```
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <AD 595.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);

#define BINTANG 42
#define PAGAR 35
#define TOMBOL_A 65
#define TOMBOL_B 66
#define TOMBOL_C 67
#define TOMBOL_D 68
#define menu0
#define nasi 94
#define bubur 96
#define kukus 93

int up = TOMBOL_A;
int down = TOMBOL_B;
int enter = BINTANG;
int esc = PAGAR;

int menu, currentMenuItem = 0;
int LCDproses;
int aksi;

int BUZZ = 8;

int thermoDO = 0; //bisa juga S0
int thermoCS = 1;
int thermoCLK = 2; //bisa juga SCK
int thermocouple;
const byte ROWS = 4; //four rows
const byte COLS = 4; //three columns
char keys[ROWS][COLS] = {
  {1, 2, 3, 'A'},
  {4, 5, 6, 'B'},
  {7, 8, 9, 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {12, 11, 10, 9}; //connect to the row pinouts of the
keypad
byte colPins[COLS] = {6, 5, 4, 3}; //connect to the column pinouts of the keypad
```

```

Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS
);
// Set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display
long dtKey=0;
void setup(){
  //Serial.begin(9600);
  pinMode(BUZZ, OUTPUT);
  lcd.begin(20,4);
  lcd.backlight();

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("  WELCOME");

  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("  CREATED BY AS'AD");

  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("  PRESS ENTER");

  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("  [CAN] TO START");
  lcd.createChar(0, degree);
}
void loop(){
  char key = keypad.getKey();
  if (key){
    if(key == 0){ // clear data = tekan *;
      lcd.clear();
      dtKey=0; key = 0;
      lcd.print(dtKey);
    }
    if ( key == 48 )key=0; // conversi variable '0' ke 0
    lcd.clear();
    dtKey = dtKey*10+key;
    lcd.print(dtKey);

    if(key == BINTANG ){ // clear data = tekan #;
      lcd.clear();
      //dtKey=0; key =
      menus();
    }
    if(key == TOMBOL_A){ // clear data = tekan #;
      lcd.clear();
      //dtKey=0; key =
      nasi();
    }
    if(key == TOMBOL_B){ // clear data = tekan #;

```

```

        lcd.clear();
        //dtKey=0; key =
        bubur();
    }
    if(key == TOMBOL_C){ // clear data = tekan #;
        lcd.clear();
        //dtKey=0; key =
        kukus();
    }
    if(key == TOMBOL_D){ // clear data = tekan #;
        lcd.clear();
        //dtKey=0; key =
        konfirmasi();
    }
}
}
}

```

```

void PID_init()

```

```

{
    Kp[1]=9;
    Ki[1]=3;
    Kd[1]=5;

```

```

    Kp[1]=20;
    Ki[1]=1;
    Kd[1]=3;

```

```

    Kp[1]=10;
    Ki[1]=2;
    Kd[1]=3;

```

```

}
void ProsesPID (int sp)    // timer sampling 15ms

```

```

{ // bacaSuhu();
    static unsigned char a;
    a++;

```

```

    dataFix=baca Suhu();

```

```

    if(a%10==0)

```

```

    {
        error=sp-dataFix;

```

```

        integral=error+lasterror);
        derivative=(error=lasterror);

```

```

    if(sp == nasi)

```



```

{
  P=Kp[1]*error;
  I=Ki[1]*integral;
  D=Kd[1]*derivative;
}
else if (sp == bubur)
{
  P=Kp[1]*error;
  I=Ki[1]*integral;
  D=Kd[1]*derivative;
}
else if (sp == kukus)
{
  P=Kp[1]*error;
  I=Ki[1]*integral;
  D=Kd[1]*derivative;
}
}
//-----tampilan-----//
void menus(){
if (menu==0)
{
  delay(100);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("[A]=NASI");

  delay(100);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("[B]=BUBUR");

  delay(100);
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("[C]=KUKUS");

  delay(100);
  lcd.setCursor(0,4);
  lcd.print("[D]=MANUAL");
}

}
//-----NASI-----//
void nasi (){
if (menu==0)
{
  delay(100);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("PROSES MEMASAK NASI");
}
}

```

```

    }

}\
//-----BUBUR-----//
void bubur (){
  if (menu==0)
  {
    delay(100);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("PROSES MEMASAK BUBUR");
  }

}
//-----KUKUS-----//
void kukus (){
  if (menu==0)
  {
    delay(100);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("PROSES MENGUKUS KUE");
  }

}
//-----MANUAL-----//
void konfirmasi (){
  if (menu==0)
  {
    delay(100);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("  PROSES MEMASAK");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("  MODE MANUAL");
  }
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("SUHU = ");

  int dataku = thermocouple.readCelsius();

  lcd.print(dataku);

#if ARDUINO >= 100
  lcd.write((byte)0);
#else
  lcd.print(0, BYTE);
#endif

```

```
lcd.print("C ");  
delay(1000);  
  
if (dataku >= 60); {  
    digitalWrite(BUZZ, HIGH);  
}  
else {  
    digitalWrite(BUZZ, LOW);  
}  
}  
}
```

AD594/AD595

FEATURES

**Pretrimmed for Type J (AD594) or
Type K (AD595) Thermocouples**
Can Be Used with Type T Thermocouple Inputs
Low Impedance Voltage Output: 10 mV/°C
Built-In Ice Point Compensation
Wide Power Supply Range: +5 V to ±15 V
Low Power: <1 mW typical
Thermocouple Failure Alarm
Laser Wafer Trimmed to 1°C Calibration Accuracy
Setpoint Mode Operation
Self-Contained Celsius Thermometer Operation
High Impedance Differential Input
Side-Brazed DIP or Low Cost Cerdip

PRODUCT DESCRIPTION

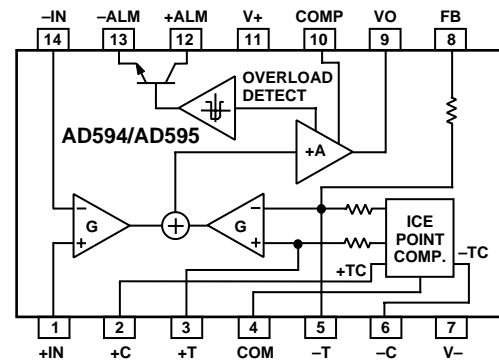
The AD594/AD595 is a complete instrumentation amplifier and thermocouple cold junction compensator on a monolithic chip. It combines an ice point reference with a precalibrated amplifier to produce a high level (10 mV/°C) output directly from a thermocouple signal. Pin-strapping options allow it to be used as a linear amplifier-compensator or as a switched output setpoint controller using either fixed or remote setpoint control. It can be used to amplify its compensation voltage directly, thereby converting it to a stand-alone Celsius transducer with a low impedance voltage output.

The AD594/AD595 includes a thermocouple failure alarm that indicates if one or both thermocouple leads become open. The alarm output has a flexible format which includes TTL drive capability.

The AD594/AD595 can be powered from a single ended supply (including +5 V) and by including a negative supply, temperatures below 0°C can be measured. To minimize self-heating, an unloaded AD594/AD595 will typically operate with a total supply current 160 µA, but is also capable of delivering in excess of ±5 mA to a load.

The AD594 is precalibrated by laser wafer trimming to match the characteristic of type J (iron-constantan) thermocouples and the AD595 is laser trimmed for type K (chromel-alumel) inputs. The temperature transducer voltages and gain control resistors

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



are available at the package pins so that the circuit can be recalibrated for the thermocouple types by the addition of two or three resistors. These terminals also allow more precise calibration for both thermocouple and thermometer applications.

The AD594/AD595 is available in two performance grades. The C and the A versions have calibration accuracies of ±1°C and ±3°C, respectively. Both are designed to be used from 0°C to +50°C, and are available in 14-pin, hermetically sealed, side-brazed ceramic DIPs as well as low cost cerdip packages.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD594/AD595 provides cold junction compensation, amplification, and an output buffer in a single IC package.
2. Compensation, zero, and scale factor are all precalibrated by laser wafer trimming (LWT) of each IC chip.
3. Flexible pinout provides for operation as a setpoint controller or a stand-alone temperature transducer calibrated in degrees Celsius.
4. Operation at remote application sites is facilitated by low quiescent current and a wide supply voltage range +5 V to dual supplies spanning 30 V.
5. Differential input rejects common-mode noise voltage on the thermocouple leads.

REV. C

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

AD594/AD595—SPECIFICATIONS (@ +25°C and $V_S = 5\text{ V}$, Type J (AD594), Type K (AD595) Thermocouple, unless otherwise noted)

Model	AD594A			AD594C			AD595A			AD595C			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
ABSOLUTE MAXIMUM RATING													
$+V_S$ to $-V_S$			36			36			36			36	Volts
Common-Mode Input Voltage	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	Volts
Differential Input Voltage	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	Volts
Alarm Voltages													
+ALM	$-V_S$		$-V_S + 36$	$-V_S$		$-V_S + 36$	$-V_S$		$-V_S + 36$	$-V_S$		$-V_S + 36$	Volts
-ALM	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	Volts
Operating Temperature Range	-55		+125	-55		+125	-55		+125	-55		+125	°C
Output Short Circuit to Common	Indefinite			Indefinite			Indefinite			Indefinite			
TEMPERATURE MEASUREMENT (Specified Temperature Range 0°C to +50°C)													
Calibration Error at +25°C ¹			±3			±1			±3			±1	°C
Stability vs. Temperature ²			±0.05			±0.025			±0.05			±0.025	°C/°C
Gain Error			±1.5			±0.75			±1.5			±0.75	%
Nominal Transfer Function			10			10			10			10	mV/°C
AMPLIFIER CHARACTERISTICS													
Closed Loop Gain ³	193.4			193.4			247.3			247.3			
Input Offset Voltage	(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			μV
Input Bias Current	0.1			0.1			0.1			0.1			μA
Differential Input Range	-10		+50	-10		+50	-10		+50	-10		+50	mV
Common-Mode Range	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	Volts
Common-Mode Sensitivity – RTO	10			10			10			10			mV/V
Power Supply Sensitivity – RTO	10			10			10			10			mV/V
Output Voltage Range													
Dual Supply	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	Volts
Single Supply	0		$+V_S - 2$	0		$+V_S - 2$	0		$+V_S + 2$	0		$+V_S - 2$	Volts
Usable Output Current ⁴		±5			±5			±5			±5		mA
3 dB Bandwidth	15			15			15			15			kHz
ALARM CHARACTERISTICS													
$V_{CE(SAT)}$ at 2 mA	0.3			0.3			0.3			0.3			Volts
Leakage Current	±1			±1			±1			±1			μA max
Operating Voltage at -ALM	$+V_S - 4$			$+V_S - 4$			$+V_S - 4$			$+V_S - 4$			Volts
Short Circuit Current	20			20			20			20			mA
POWER REQUIREMENTS													
Specified Performance													
Operating ⁵	$+V_S = 5, -V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 30$			$+V_S = 5, -V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 30$			$+V_S = 5, -V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 30$			$+V_S = 5, -V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 30$			Volts
Quiescent Current (No Load)													
$+V_S$	160	300		160	300		160	300		160	300		μA
$-V_S$	100			100			100			100			μA
PACKAGE OPTION													
TO-116 (D-14)	AD594AD			AD594CD			AD595AD			AD595CD			
Cerdip (Q-14)	AD594AQ			AD594CQ			AD595AQ			AD595CQ			

NOTES
¹Calibrated for minimum error at +25°C using a thermocouple sensitivity of 51.7 μV/°C. Since a J type thermocouple deviates from this straight line approximation, the AD594 will normally read 3.1 mV when the measuring junction is at 0°C. The AD595 will similarly read 2.7 mV at 0°C.
²Defined as the slope of the line connecting the AD594/AD595 errors measured at 0°C and 50°C ambient temperature.
³Pin 8 shorted to Pin 9.
⁴Current Sink Capability in single supply configuration is limited to current drawn to ground through a 50 kΩ resistor at output voltages below 2.5 V.
⁵ $-V_S$ must not exceed -16.5 V.

Specifications shown in **boldface** are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in **boldface** are tested on all production units. Specifications subject to change without notice.

INTERPRETING AD594/AD595 OUTPUT VOLTAGES

To achieve a temperature proportional output of 10 mV/°C and accurately compensate for the reference junction over the rated operating range of the circuit, the AD594/AD595 is gain trimmed to match the transfer characteristic of J and K type thermocouples at 25°C. For a type J output in this temperature range the TC is 51.70 μV/°C, while for a type K it is 40.44 μV/°C. The resulting gain for the AD594 is 193.4 (10 mV/°C divided by 51.7 μV/°C) and for the AD595 is 247.3 (10 mV/°C divided by 40.44 μV/°C). In addition, an absolute accuracy trim induces an input offset to the output amplifier characteristic of 16 μV for the AD594 and 11 μV for the AD595. This offset arises because the AD594/AD595 is trimmed for a 250 mV output while applying a 25°C thermocouple input.

Because a thermocouple output voltage is nonlinear with respect to temperature, and the AD594/AD595 linearly amplifies the

compensated signal, the following transfer functions should be used to determine the actual output voltages:

$$AD594 \text{ output} = (\text{Type J Voltage} + 16 \mu\text{V}) \times 193.4$$

$$AD595 \text{ output} = (\text{Type K Voltage} + 11 \mu\text{V}) \times 247.3 \text{ or conversely:}$$

$$\text{Type J voltage} = (AD594 \text{ output}/193.4) - 16 \mu\text{V}$$

$$\text{Type K voltage} = (AD595 \text{ output}/247.3) - 11 \mu\text{V}$$

Table I lists the ideal AD594/AD595 output voltages as a function of Celsius temperature for type J and K ANSI standard thermocouples, with the package and reference junction at 25°C. As is normally the case, these outputs are subject to calibration, gain and temperature sensitivity errors. Output values for intermediate temperatures can be interpolated, or calculated using the output equations and ANSI thermocouple voltage tables referred to zero degrees Celsius. Due to a slight variation in alloy content between ANSI type J and DIN FE-CUNI

Table I. Output Voltage vs. Thermocouple Temperature (Ambient +25°C, $V_S = -5\text{ V}, +15\text{ V}$)

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
-200	-7.890	-1523	-5.891	-1454
-180	-7.402	-1428	-5.550	-1370
-160	-6.821	-1316	-5.141	-1269
-140	-6.159	-1188	-4.669	-1152
-120	-5.426	-1046	-4.138	-1021
-100	-4.632	-893	-3.553	-876
-80	-3.785	-729	-2.920	-719
-60	-2.892	-556	-2.243	-552
-40	-1.960	-376	-1.527	-375
-20	-.995	-189	-.777	-189
-10	-.501	-94	-.392	-94
0	0	3.1	0	2.7
10	.507	101	.397	101
20	1.019	200	.798	200
25	1.277	250	1.000	250
30	1.536	300	1.203	300
40	2.058	401	1.611	401
50	2.585	503	2.022	503
60	3.115	606	2.436	605
80	4.186	813	3.266	810
100	5.268	1022	4.095	1015
120	6.359	1233	4.919	1219
140	7.457	1445	5.733	1420
160	8.560	1659	6.539	1620
180	9.667	1873	7.338	1817
200	10.777	2087	8.137	2015
220	11.887	2302	8.938	2213
240	12.998	2517	9.745	2413
260	14.108	2732	10.560	2614
280	15.217	2946	11.381	2817
300	16.325	3160	12.207	3022
320	17.432	3374	13.039	3227
340	18.537	3588	13.874	3434
360	19.640	3801	14.712	3641
380	20.743	4015	15.552	3849
400	21.846	4228	16.395	4057
420	22.949	4441	17.241	4266
440	24.054	4655	18.088	4476
460	25.161	4869	18.938	4686
480	26.272	5084	19.788	4896
500	27.388	5300	20.640	5107
520	28.511	5517	21.493	5318
540	29.642	5736	22.346	5529
560	30.782	5956	23.198	5740
580	31.933	6179	24.050	5950
600	33.096	6404	24.902	6161
620	34.273	6632	25.751	6371
640	35.464	6862	26.599	6581
660	36.671	7095	27.445	6790
680	37.893	7332	28.288	6998
700	39.130	7571	29.128	7206
720	40.382	7813	29.965	7413
740	41.647	8058	30.799	7619
750	42.283	8181	31.214	7722
760	-	-	31.629	7825
780	-	-	32.455	8029
800	-	-	33.277	8232
820	-	-	34.095	8434
840	-	-	34.909	8636
860	-	-	35.718	8836
880	-	-	36.524	9035
900	-	-	37.325	9233
920	-	-	38.122	9430
940	-	-	38.915	9626
960	-	-	39.703	9821
980	-	-	40.488	10015
1000	-	-	41.269	10209
1020	-	-	42.045	10400
1040	-	-	42.817	10591
1060	-	-	43.585	10781
1080	-	-	44.339	10970
1100	-	-	45.108	11158
1120	-	-	45.863	11345
1140	-	-	46.612	11530
1160	-	-	47.356	11714
1180	-	-	48.095	11897
1200	-	-	48.828	12078
1220	-	-	49.555	12258
1240	-	-	50.276	12436
1250	-	-	50.633	12524

thermocouples Table I should not be used in conjunction with European standard thermocouples. Instead the transfer function given previously and a DIN thermocouple table should be used. ANSI type K and DIN NiCr-Ni thermocouples are composed

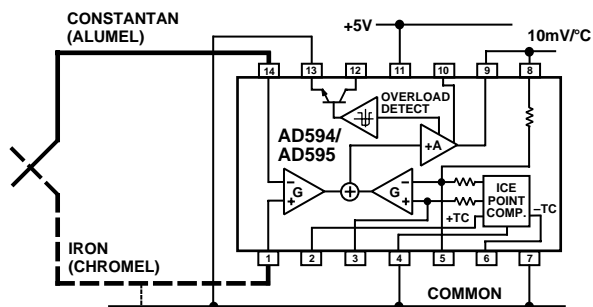


Figure 1. Basic Connection, Single Supply Operation

of identical alloys and exhibit similar behavior. The upper temperature limits in Table I are those recommended for type J and type K thermocouples by the majority of vendors.

SINGLE AND DUAL SUPPLY CONNECTIONS

The AD594/AD595 is a completely self-contained thermocouple conditioner. Using a single +5 V supply the interconnections shown in Figure 1 will provide a direct output from a type J thermocouple (AD594) or type K thermocouple (AD595) measuring from 0°C to +300°C.

Any convenient supply voltage from +5 V to +30 V may be used, with self-heating errors being minimized at lower supply levels. In the single supply configuration the +5 V supply connects to Pin 11 with the V- connection at Pin 7 strapped to power and signal common at Pin 4. The thermocouple wire inputs connect to Pins 1 and 14 either directly from the measuring point or through intervening connections of similar thermocouple wire type. When the alarm output at Pin 13 is not used it should be connected to common or -V. The precalibrated feedback network at Pin 8 is tied to the output at Pin 9 to provide a 10 mV/°C nominal temperature transfer characteristic.

By using a wider ranging dual supply, as shown in Figure 2, the AD594/AD595 can be interfaced to thermocouples measuring both negative and extended positive temperatures.

AD594/AD595

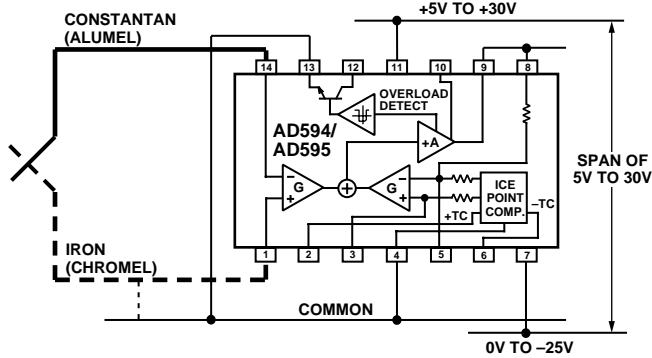


Figure 2. Dual Supply Operation

With a negative supply the output can indicate negative temperatures and drive grounded loads or loads returned to positive voltages. Increasing the positive supply from 5 V to 15 V extends the output voltage range well beyond the 750°C temperature limit recommended for type J thermocouples (AD594) and the 1250°C for type K thermocouples (AD595).

Common-mode voltages on the thermocouple inputs must remain within the common-mode range of the AD594/AD595, with a return path provided for the bias currents. If the thermocouple is not remotely grounded, then the dotted line connections in Figures 1 and 2 are recommended. A resistor may be needed in this connection to assure that common-mode voltages induced in the thermocouple loop are not converted to normal mode.

THERMOCOUPLE CONNECTIONS

The isothermal terminating connections of a pair of thermocouple wires forms an effective reference junction. This junction must be kept at the same temperature as the AD594/AD595 for the internal cold junction compensation to be effective.

A method that provides for thermal equilibrium is the printed circuit board connection layout illustrated in Figure 3.

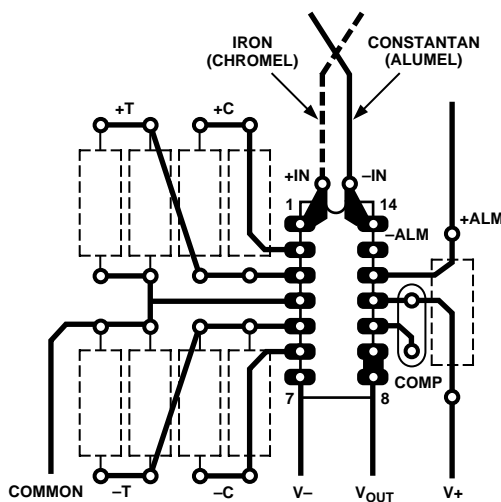


Figure 3. PCB Connections

Here the AD594/AD595 package temperature and circuit board are thermally contacted in the copper printed circuit board tracks under Pins 1 and 14. The reference junction is now composed of a copper-constantan (or copper-alumel) connection and copper-iron (or copper-chromel) connection, both of which are at the same temperature as the AD594/AD595.

The printed circuit board layout shown also provides for placement of optional alarm load resistors, recalibration resistors and a compensation capacitor to limit bandwidth.

To ensure secure bonding the thermocouple wire should be cleaned to remove oxidation prior to soldering. Noncorrosive rosin flux is effective with iron, constantan, chromel and alumel and the following solders: 95% tin-5% antimony, 95% tin-5% silver or 90% tin-10% lead.

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The AD594 behaves like two differential amplifiers. The outputs are summed and used to control a high gain amplifier, as shown in Figure 4.

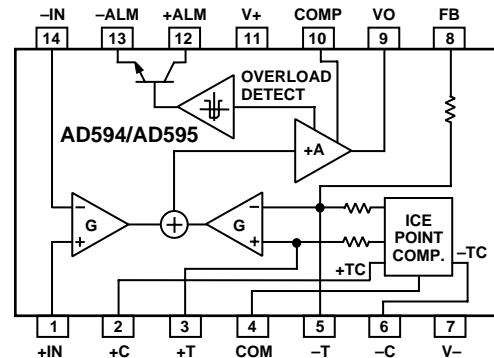


Figure 4. AD594/AD595 Block Diagram

In normal operation the main amplifier output, at Pin 9, is connected to the feedback network, at Pin 8. Thermocouple signals applied to the floating input stage, at Pins 1 and 14, are amplified by gain G of the differential amplifier and are then further amplified by gain A in the main amplifier. The output of the main amplifier is fed back to a second differential stage in an inverting connection. The feedback signal is amplified by this stage and is also applied to the main amplifier input through a summing circuit. Because of the inversion, the amplifier causes the feedback to be driven to reduce this difference signal to a small value. The two differential amplifiers are made to match and have identical gains, G. As a result, the feedback signal that must be applied to the right-hand differential amplifier will precisely match the thermocouple input signal when the difference signal has been reduced to zero. The feedback network is trimmed so that the effective gain to the output, at Pins 8 and 9, results in a voltage of 10 mV/°C of thermocouple excitation.

In addition to the feedback signal, a cold junction compensation voltage is applied to the right-hand differential amplifier. The compensation is a differential voltage proportional to the Celsius temperature of the AD594/AD595. This signal disturbs the differential input so that the amplifier output must adjust to restore the input to equal the applied thermocouple voltage.

The compensation is applied through the gain scaling resistors so that its effect on the main output is also 10 mV/°C. As a result, the compensation voltage adds to the effect of the thermocouple voltage a signal directly proportional to the difference between 0°C and the AD594/AD595 temperature. If the thermocouple reference junction is maintained at the AD594/AD595 temperature, the output of the AD594/AD595 will correspond to the reading that would have been obtained from amplification of a signal from a thermocouple referenced to an ice bath.

The AD594/AD595 also includes an input open circuit detector that switches on an alarm transistor. This transistor is actually a current-limited output buffer, but can be used up to the limit as a switch transistor for either pull-up or pull-down operation of external alarms.

The ice point compensation network has voltages available with positive and negative temperature coefficients. These voltages may be used with external resistors to modify the ice point compensation and recalibrate the AD594/AD595 as described in the next column.

The feedback resistor is separately pinned out so that its value can be padded with a series resistor, or replaced with an external resistor between Pins 5 and 9. External availability of the feedback resistor allows gain to be adjusted, and also permits the AD594/AD595 to operate in a switching mode for setpoint operation.

CAUTIONS:

The temperature compensation terminals (+C and -C) at Pins 2 and 6 are provided to supply small calibration currents only. The AD594/AD595 may be permanently damaged if they are grounded or connected to a low impedance.

The AD594/AD595 is internally frequency compensated for feedback ratios (corresponding to normal signal gain) of 75 or more. If a lower gain is desired, additional frequency compensation should be added in the form of a 300 pF capacitor from Pin 10 to the output at Pin 9. As shown in Figure 5 an additional 0.01 μ F capacitor between Pins 10 and 11 is recommended.

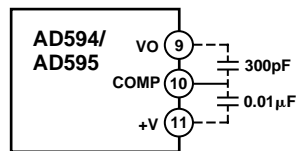


Figure 5. Low Gain Frequency Compensation

RECALIBRATION PRINCIPLES AND LIMITATIONS

The ice point compensation network of the AD594/AD595 produces a differential signal which is zero at 0°C and corresponds to the output of an ice referenced thermocouple at the temperature of the chip. The positive TC output of the circuit is proportional to Kelvin temperature and appears as a voltage at +T. It is possible to decrease this signal by loading it with a resistor from +T to COM, or increase it with a pull-up resistor from +T to the larger positive TC voltage at +C. Note that adjustments to +T should be made by measuring the voltage which tracks it at -T. To avoid destabilizing the feedback amplifier the measuring instrument should be isolated by a few thousand ohms in series with the lead connected to -T.

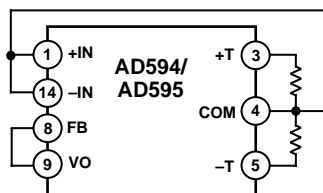


Figure 6. Decreased Sensitivity Adjustment

Changing the positive TC half of the differential output of the compensation scheme shifts the zero point away from 0°C. The zero can be restored by adjusting the current flow into the negative input of the feedback amplifier, the -T pin. A current into

this terminal can be produced with a resistor between -C and -T to balance an increase in +T, or a resistor from -T to COM to offset a decrease in +T.

If the compensation is adjusted substantially to accommodate a different thermocouple type, its effect on the final output voltage will increase or decrease in proportion. To restore the nominal output to 10 mV/°C the gain may be adjusted to match the new compensation and thermocouple input characteristics. When reducing the compensation the resistance between -T and COM automatically increases the gain to within 0.5% of the correct value. If a smaller gain is required, however, the nominal 47 k Ω internal feedback resistor can be paralleled or replaced with an external resistor.

Fine calibration adjustments will require temperature response measurements of individual devices to assure accuracy. Major reconfigurations for other thermocouple types can be achieved without seriously compromising initial calibration accuracy, so long as the procedure is done at a fixed temperature using the factory calibration as a reference. It should be noted that intermediate recalibration conditions may require the use of a negative supply.

EXAMPLE: TYPE E RECALIBRATION—AD594/AD595

Both the AD594 and AD595 can be configured to condition the output of a type E (chromel-constantan) thermocouple. Temperature characteristics of type E thermocouples differ less from type J, than from type K, therefore the AD594 is preferred for recalibration.

While maintaining the device at a constant temperature follow the recalibration steps given here. First, measure the device temperature by tying both inputs to common (or a selected common-mode potential) and connecting FB to VO. The AD594 is now in the stand alone Celsius thermometer mode. For this example assume the ambient is 24°C and the initial output VO is 240 mV. Check the output at VO to verify that it corresponds to the temperature of the device.

Next, measure the voltage -T at Pin 5 with a high impedance DVM (capacitance should be isolated by a few thousand ohms of resistance at the measured terminals). At 24°C the -T voltage will be about 8.3 mV. To adjust the compensation of an AD594 to a type E thermocouple a resistor, R1, should be connected between +T and +C, Pins 2 and 3, to raise the voltage at -T by the ratio of thermocouple sensitivities. The ratio for converting a type J device to a type E characteristic is:

$$r(AD594) = (60.9 \mu V/^{\circ}C) / (51.7 \mu V/^{\circ}C) = 1.18$$

Thus, multiply the initial voltage measured at -T by r and experimentally determine the R1 value required to raise -T to that level. For the example the new -T voltage should be about 9.8 mV. The resistance value should be approximately 1.8 k Ω .

The zero differential point must now be shifted back to 0°C. This is accomplished by multiplying the original output voltage VO by r and adjusting the measured output voltage to this value by experimentally adding a resistor, R2, between -C and -T, Pins 5 and 6. The target output value in this case should be about 283 mV. The resistance value of R2 should be approximately 240 k Ω .

Finally, the gain must be recalibrated such that the output VO indicates the device's temperature once again. Do this by adding a third resistor, R3, between FB and -T, Pins 8 and 5. VO should now be back to the initial 240 mV reading. The resistance value

AD594/AD595

of R3 should be approximately 280 k Ω . The final connection diagram is shown in Figure 7. An approximate verification of the effectiveness of recalibration is to measure the differential gain to the output. For type E it should be 164.2.

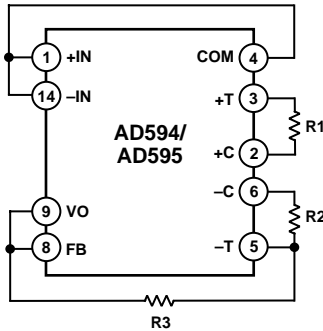


Figure 7. Type E Recalibration

When implementing a similar recalibration procedure for the AD595 the values for R1, R2, R3 and r will be approximately 650 Ω , 84 k Ω , 93 k Ω and 1.51, respectively. Power consumption will increase by about 50% when using the AD595 with type E inputs.

Note that during this procedure it is crucial to maintain the AD594/AD595 at a stable temperature because it is used as the temperature reference. Contact with fingers or any tools not at ambient temperature will quickly produce errors. Radiational heating from a change in lighting or approach of a soldering iron must also be guarded against.

USING TYPE T THERMOCOUPLES WITH THE AD595

Because of the similarity of thermal EMFs in the 0°C to +50°C range between type K and type T thermocouples, the AD595 can be directly used with both types of inputs. Within this ambient temperature range the AD595 should exhibit no more than an additional 0.2°C output calibration error when used with type T inputs. The error arises because the ice point compensator is trimmed to type K characteristics at 25°C. To calculate the AD595 output values over the recommended -200°C to +350°C range for type T thermocouples, simply use the ANSI thermocouple voltages referred to 0°C and the output equation given on page 2 for the AD595. Because of the relatively large nonlinearities associated with type T thermocouples the output will deviate widely from the nominal 10 mV/°C. However, cold junction compensation over the rated 0°C to +50°C ambient will remain accurate.

STABILITY OVER TEMPERATURE

Each AD594/AD595 is tested for error over temperature with the measuring thermocouple at 0°C. The combined effects of cold junction compensation error, amplifier offset drift and gain error determine the stability of the AD594/AD595 output over the rated ambient temperature range. Figure 8 shows an AD594/AD595 drift error envelope. The slope of this figure has units of °C/°C.

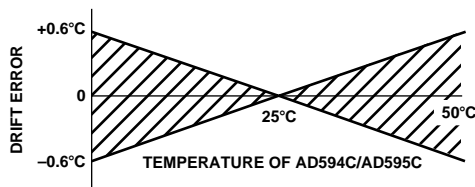


Figure 8. Drift Error vs. Temperature

THERMAL ENVIRONMENT EFFECTS

The inherent low power dissipation of the AD594/AD595 and the low thermal resistance of the package make self-heating errors almost negligible. For example, in still air the chip to ambient thermal resistance is about 80°C/watt (for the D package). At the nominal dissipation of 800 μ W the self-heating in free air is less than 0.065°C. Submerged in fluorinert liquid (unstirred) the thermal resistance is about 40°C/watt, resulting in a self-heating error of about 0.032°C.

SETPOINT CONTROLLER

The AD594/AD595 can readily be connected as a setpoint controller as shown in Figure 9.

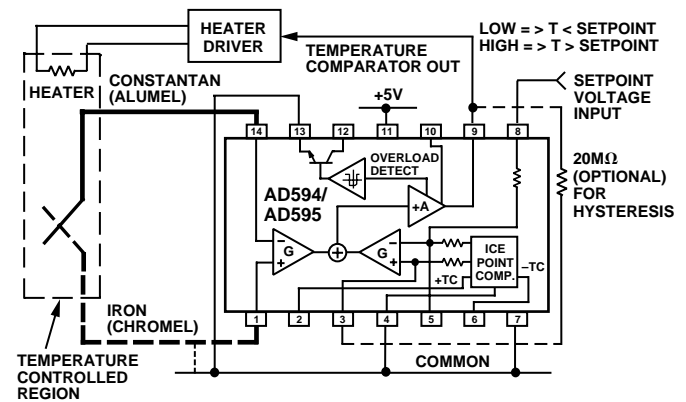


Figure 9. Setpoint Controller

The thermocouple is used to sense the unknown temperature and provide a thermal EMF to the input of the AD594/AD595. The signal is cold junction compensated, amplified to 10 mV/°C and compared to an external setpoint voltage applied by the user to the feedback at Pin 8. Table I lists the correspondence between setpoint voltage and temperature, accounting for the nonlinearity of the measurement thermocouple. If the setpoint temperature range is within the operating range (-55°C to +125°C) of the AD594/AD595, the chip can be used as the transducer for the circuit by shorting the inputs together and utilizing the nominal calibration of 10 mV/°C. This is the centigrade thermometer configuration as shown in Figure 13.

In operation if the setpoint voltage is above the voltage corresponding to the temperature being measured the output swings low to approximately zero volts. Conversely, when the temperature rises above the setpoint voltage the output switches to the positive limit of about 4 volts with a +5 V supply. Figure 9 shows the setpoint comparator configuration complete with a heater element driver circuit being controlled by the AD594/AD595 toggled output. Hysteresis can be introduced by injecting a current into the positive input of the feedback amplifier when the output is toggled high. With an AD594 about 200 nA into the +T terminal provides 1°C of hysteresis. When using a single 5 V supply with an AD594, a 20 M Ω resistor from V_O to +T will supply the 200 nA of current when the output is forced high (about 4 V). To widen the hysteresis band decrease the resistance connected from V_O to +T.

ALARM CIRCUIT

In all applications of the AD594/AD595 the $-ALM$ connection, Pin 13, should be constrained so that it is not more positive than $(V+) - 4\text{ V}$. This can be most easily achieved by connecting Pin 13 to either common at Pin 4 or $V-$ at Pin 7. For most applications that use the alarm signal, Pin 13 will be grounded and the signal will be taken from $+ALM$ on Pin 12. A typical application is shown in Figure 10.

In this configuration the alarm transistor will be off in normal operation and the $20\text{ k}\Omega$ pull up will cause the $+ALM$ output on Pin 12 to go high. If one or both of the thermocouple leads are interrupted, the $+ALM$ pin will be driven low. As shown in Figure 10 this signal is compatible with the input of a TTL gate which can be used as a buffer and/or inverter.

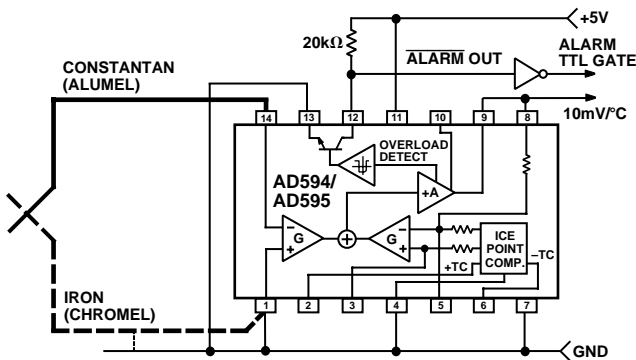


Figure 10. Using the Alarm to Drive a TTL Gate ("Grounded" Emitter Configuration)

Since the alarm is a high level output it may be used to directly drive an LED or other indicator as shown in Figure 11.

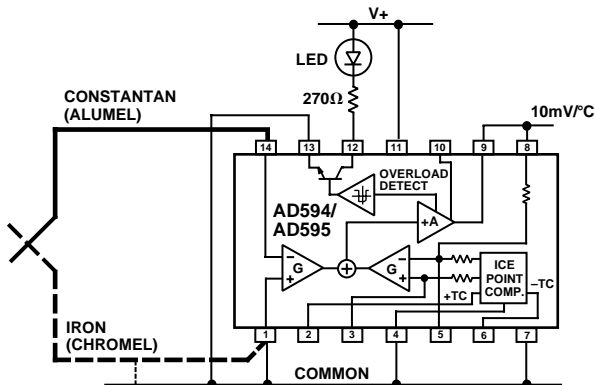


Figure 11. Alarm Directly Drives LED

A $270\ \Omega$ series resistor will limit current in the LED to 10 mA , but may be omitted since the alarm output transistor is current limited at about 20 mA . The transistor, however, will operate in a high dissipation mode and the temperature of the circuit will rise well above ambient. Note that the cold junction compensation will be affected whenever the alarm circuit is activated. The time required for the chip to return to ambient temperature will depend on the power dissipation of the alarm circuit, the nature of the thermal path to the environment and the alarm duration.

The alarm can be used with both single and dual supplies. It can be operated above or below ground. The collector and emitter of the output transistor can be used in any normal switch configuration. As an example a negative referenced load can be driven from $-ALM$ as shown in Figure 12.

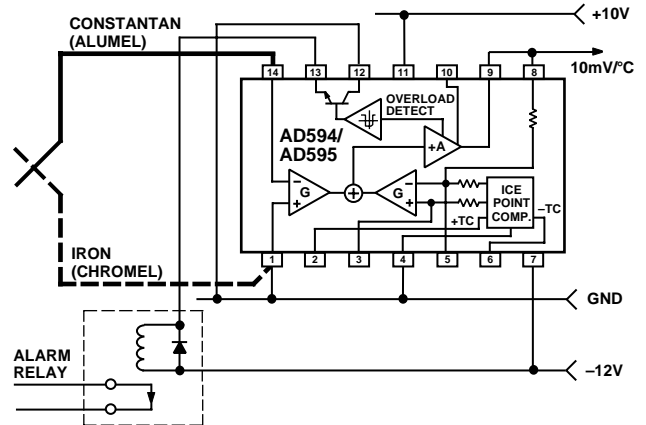


Figure 12. $-ALM$ Driving A Negative Referenced Load

The collector ($+ALM$) should not be allowed to become more positive than $(V-) + 36\text{ V}$, however, it may be permitted to be more positive than $V+$. The emitter voltage ($-ALM$) should be constrained so that it does not become more positive than 4 volts below the $V+$ applied to the circuit.

Additionally, the AD594/AD595 can be configured to produce an extreme upscale or downscale output in applications where an extra signal line for an alarm is inappropriate. By tying either of the thermocouple inputs to common most runaway control conditions can be automatically avoided. A $+IN$ to common connection creates a downscale output if the thermocouple opens, while connecting $-IN$ to common provides an upscale output.

CELSIUS THERMOMETER

The AD594/AD595 may be configured as a stand-alone Celsius thermometer as shown in Figure 13.

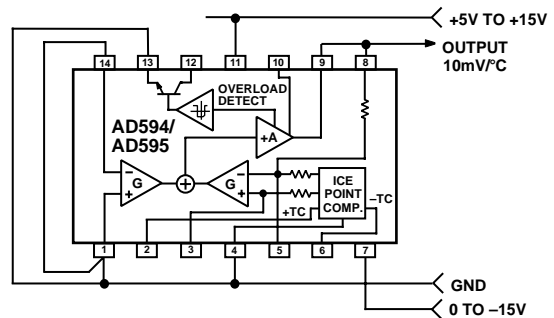


Figure 13. AD594/AD595 as a Stand-Alone Celsius Thermometer

Simply omit the thermocouple and connect the inputs (Pins 1 and 14) to common. The output now will reflect the compensation voltage and hence will indicate the AD594/AD595 temperature with a scale factor of $10\text{ mV}/^\circ\text{C}$. In this three terminal, voltage output, temperature sensing mode, the AD594/AD595 will operate over the full military -55°C to $+125^\circ\text{C}$ temperature range.

AD594/AD595

THERMOCOUPLE BASICS

Thermocouples are economical and rugged; they have reasonably good long-term stability. Because of their small size, they respond quickly and are good choices where fast response is important. They function over temperature ranges from cryogenics to jet-engine exhaust and have reasonable linearity and accuracy.

Because the number of free electrons in a piece of metal depends on both temperature and composition of the metal, two pieces of dissimilar metal in isothermal and contact will exhibit a potential difference that is a repeatable function of temperature, as shown in Figure 14. The resulting voltage depends on the temperatures, T1 and T2, in a repeatable way.

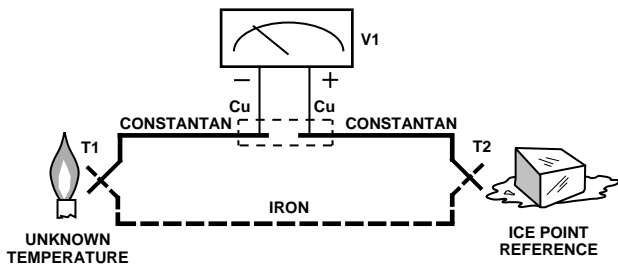


Figure 14. Thermocouple Voltage with 0°C Reference

Since the thermocouple is basically a differential rather than absolute measuring device, a know reference temperature is required for one of the junctions if the temperature of the other is to be inferred from the output voltage. Thermocouples made of specially selected materials have been exhaustively characterized in terms of voltage versus temperature compared to primary temperature standards. Most notably the water-ice point of 0°C is used for tables of standard thermocouple performance.

An alternative measurement technique, illustrated in Figure 15, is used in most practical applications where accuracy requirements do not warrant maintenance of primary standards. The reference junction temperature is allowed to change with the environment of the measurement system, but it is carefully measured by some type of absolute thermometer. A measurement of the thermocouple voltage combined with a knowledge of the reference temperature can be used to calculate the measurement junction temperature. Usual practice, however, is to use a convenient thermoelectric method to measure the reference temperature

and to arrange its output voltage so that it corresponds to a thermocouple referred to 0°C. This voltage is simply added to the thermocouple voltage and the sum then corresponds to the standard voltage tabulated for an ice-point referenced thermocouple.

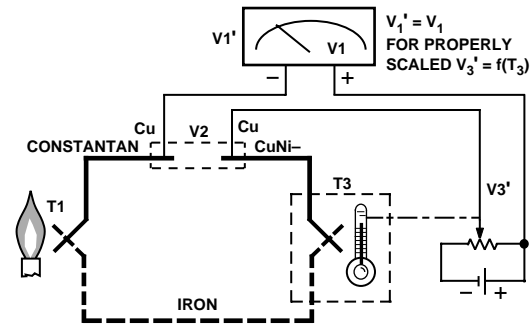


Figure 15. Substitution of Measured Reference Temperature for Ice Point Reference

The temperature sensitivity of silicon integrated circuit transistors is quite predictable and repeatable. This sensitivity is exploited in the AD594/AD595 to produce a temperature related voltage to compensate the reference of “cold” junction of a thermocouple as shown in Figure 16.

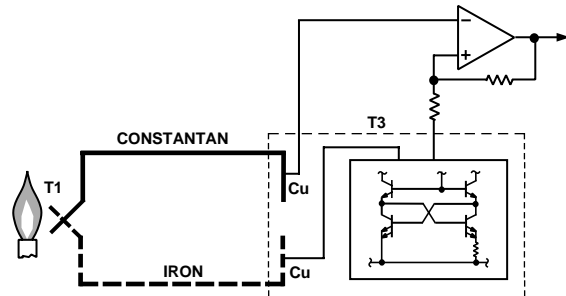


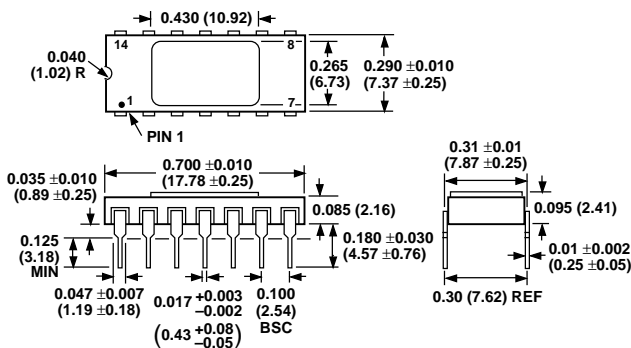
Figure 16. Connecting Isothermal Junctions

Since the compensation is at the reference junction temperature, it is often convenient to form the reference “junction” by connecting directly to the circuit wiring. So long as these connections and the compensation are at the same temperature no error will result.

OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

TO-116 (D) Package



Cerdip (Q) Package

