

# LAPORAN PRAKTIKUM PRAKTIK SISTEM KENDALI

Judul Praktikum  
Pengendali Temperatur dengan  
Menggunakan PTC



Oleh:

Kelompok 2

1. Zulfa Sofia Dewi (21501241004)
2. Rifky Andigta Al-Fathir (21501241014)

JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

2022

# Pengendali Temperatur Dengan Menggunakan PTC

**Zulfa Sofia Dewi<sup>1</sup>, Rifky Andigta Al-Fathir<sup>2</sup>**

Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Yogyakarta

Jl Colombo no 1, Karangmalang Yogyakarta 55281

Email: [zulfasofia.2021@student.uny.ac.id](mailto:zulfasofia.2021@student.uny.ac.id)

[rifkyandigta.2021@student.uny.ac.id](mailto:rifkyandigta.2021@student.uny.ac.id)

## Abstrak

Tujuan dari praktikum ini yakni menganalisa rangkaian pengendali suhu atau temperatur dengan menggunakan *Positive Temperature Coefficient* (PTC) sebagai komponen aktif yang akan memicu perubahan hambatan yang berada didalamnya. *Positive Temperature Coefficient* (PTC) sendiri merupakan sebuah sensor yang dapat mengubah energi panas menjadi energi listrik, sensor yang dimiliki oleh PTC sangat sensitif dengan perubahan suhu yang ada di dalam ruangan serta secara langsung juga akan mempengaruhi besar atau kecil nilai hambatannya. Sehingga, disaat suhu disekitar PTC meningkat maka nilai tahanan dalam PTC akan ikut meningkat dan sebaliknya disaat suhu disekitar PTC menurun maka nilai tahanannya akan ikut menurun. Selain itu, sub kompetensi yang diajarkan dalam praktikum ini antara lain membuat rangkaian pengendali suhu dengan sensor resistor PTC, menggambarkan grafik karakteristik hubungan suhu-hambatan PTC, dan mencari serta memperbaiki kesalahan (*troubleshooting*) jika rangkaian sistem kendali pengaturan suhu dengan sensor suhu PTC tidak bekerja. Rangkaian pengendali suhu terdiri dari *Triode for Alternating Current* (TRIAC) yang dihubungkan ke *heater* berupa lampu pijar dengan daya 60 W/220 V sebagai simulator, TRIAC sendiri merupakan suatu komponen elektronik semikonduktor yang terdiri dari dioda empat lapis berstruktur N-P-N, TRIAC mempunyai tiga buah electrode yaitu *gate*, MT1 dan MT2, TRIAC pada rangkaian pengendali suhu berfungsi sebagai pengendali daya. Praktikum diawali dengan sumber tegangan AC sebesar 220 V yang diubah menjadi tegangan DC dengan menggunakan trafo, kemudian tegangan tersebut masuk kedalam dioda yang berperan sebagai penyearah. Sedangkan, PTC dihubungkan secara langsung dengan TRIAC. Sehingga, disaat keadaan saklar ON maka *heater* (lampu pijar) akan menyala dan ketika suhu PTC semakin tinggi maka *gate* TRIAC akan menghasilkan arus yang besar dan arus pada *heater* (lampu pijar) akan semakin kecil. Pada hasil praktikum menunjukkan rangkaian pertama bekerja pada suhu 28° C dengan arus pada *gate* ( $I_g$ ) adalah 49 mA dan tegangan pada PTC 13,5 V. Simulator berada pada kondisi off ketika suhu mencapai 85° C dengan arus pada *gate* ( $I_g$ ) 10 mA dan tegangan pada PTC 7,12

V. Sedangkan, simulator akan *ON* kembali ketika berada pada suhu  $68^{\circ}\text{C}$  dengan arus *gate* ( $I_g$ ) 10 mA dan tegangan pada PTC mencapai 6,49 V. Jadi, dapat disimpulkan bahwa sensor PTC memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi dan secara langsung merubah nilai tahanannya ketika terjadi perubahan suhu disekitarnya.

### **Abstract**

*The purpose of this practicum is to analyze the temperature control circuit using the Positive Temperature Coefficient (PTC) as an active component that will trigger changes in the resistance in it. Positive Temperature Coefficient (PTC) itself is a sensor that can convert heat energy into electrical energy, the sensor owned by PTC is very sensitive to changes in temperature in the room and will directly affect the large or small resistance value. Thus, when the temperature around the PTC increases, the resistance value in the PTC will also increase and vice versa when the temperature around the PTC decreases, the resistance value will also decrease. In addition, the sub-competencies taught in this practicum include making a temperature control circuit with a PTC resistor sensor, describing a graph of the temperature-resistance relationship of PTC, and finding and correcting errors (troubleshooting) if the temperature control system circuit with a PTC temperature sensor does not work. The temperature control circuit consists of a Triode for Alternating Current (TRIAC) which is connected to a heater in the form of an incandescent lamp with a power of 60 W/220 V as a simulator, TRIAC itself is a semiconductor electronic component consisting of a four-layer diode with an N-P-N structure, TRIAC has three electrodes namely gate, MT1 and MT2, TRIAC in the temperature control circuit functions as a power controller. The practicum begins with an AC voltage source of 220 V which is converted into a DC voltage using a transformer, then the voltage enters the diode which acts as a rectifier. Meanwhile, PTC is connected directly to TRIAC. So, when the switch is ON, the heater (incandescent lamp) will turn on and when the PTC temperature is higher, the TRIAC gate will produce a large current and the current in the heater (incandescent lamp) will be smaller. The experimental results show that the first circuit works at a temperature of  $28^{\circ}\text{C}$  with a current at the gate ( $I_g$ ) of 49 mA and a voltage at PTC 13.5 V. The simulator is in the off condition when the temperature reaches  $85^{\circ}\text{C}$  with a current at the gate ( $I_g$ ) of 10 mA and the voltage on the PTC is 7.12 V. Meanwhile, the simulator will ON again when it is at a temperature of  $68^{\circ}\text{C}$  with a gate current ( $I_g$ ) of 10 mA and the voltage on the PTC reaches 6.49 V. So, it can be concluded that the PTC sensor has a high level of sensitivity and directly change the value of its resistance when there is a change in the surrounding temperature.*

## Pendahuluan

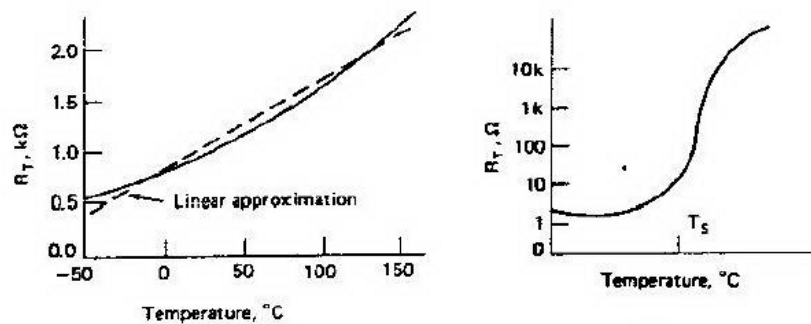
Suhu adalah ukuran panas atau dingin yang dinyatakan dalam beberapa skala dan menunjukkan arah di mana energi panas akan mengalir secara spontan yakni energi mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa suhu adalah ukuran kualitatif yang dapat diukur seberapa panas atau dinginnya suatu objek. Suhu disebabkan oleh energi kinetik dalam suatu benda yang diukur. Semakin besar energi kinetiknya, maka akan semakin tinggi pula suhu yang dihasilkan. Banyak sifat fisik yang dapat diukur dan berubah seiring suhu yang kita tanggapinya secara psikologis berubah, diantaranya suhu udara, kelembaban dan beberapa parameter suhu lainnya. Sistem Instrumentasi yang berbentuk akuisisi data telah dipergunakan secara luas dalam kegiatan perindustrian, karena merupakan bagian dari proses kontrol. Pengukuran besaran fisis adalah salah satu langkah dalam akuisisi data.

Temperatur merupakan salah satu besaran fisis yang sering dipakai dalam suatu sistem kontrol baik hanya untuk sistem monitoring saja atau untuk proses pengendalian lebih lanjut. Dalam suatu pengukuran suhu ruang ataupun suhu dalam keadaan alam bebas memerlukan sebuah instrumentasi untuk mengetahui berapa suhu yang terdeteksi, dalam hal ini yaitu menggunakan alat termometer. Pemakaian termometer adalah untuk mengetahui adanya suatu suhu yang berubah-ubah karena bertambahnya atau berkurangnya konsentrasi panas dan dingin pada lokasi yang dilakukan pengukuran. Pada dasarnya termometer adalah sebuah instrumentasi sebagai pengukuran suhu yang mana alat tersebut menggunakan sensor sebagai pendeteksinya dan merupakan satu rangkaian dengan alat pembacaan suhu yang terukur. Proses pengukuran melibatkan dua bagian penting, yaitu subjek yang melakukan pengukuran. Dalam hal ini, subjek yang melakukan pengukuran adalah kami dan objek yang diukur adalah suhu pada *heater* berupa lampu pijar dengan daya 60 W/220 V. Pada umumnya, subjek ukur dan objek ukur berada pada tempat yang sama, dimana proses pengukuran itu dilakukan. Ditempat itu juga, proses akuisisi, penyimpanan, pengolahan, serta analisa terhadap data hasil pengukuran dilakukan. Akan tetapi, tidak semua proses pengukuran dapat dilakukan seperti itu, adakalanya subjek ukur dengan objek yang diukur tidak bisa berada pada lokasi yang sama secara terus menerus. Hal ini, yang menyebabkan alat tersebut tidak bekerja secara efektif dalam suatu industri ataupun untuk pengukuran yang memerlukan pemantauan yang kontinyu.

Sensor adalah elemen sistem yang secara efektif berhubungan dengan proses dimana suatu variabel sedang diukur dan menghasilkan suatu keluaran dalam bentuk tertentu tergantung pada variabel masukannya, dapat digunakan oleh bagian sistem pengukuran yang lain untuk mengenali nilai variabel tersebut dan sensor dibedakan sesuai dengan aktifitas sensor yang didasarkan atas konversi sinyal yang dilakukan dari besaran sinyal bukan listrik (*non-electric*

signal value) ke besaran sinyal elektrik (*electric signal value*) yaitu, sensor aktif (*active sensor*) dan pasif sensor (*passive sensor*). Dengan pengertian lain, sensor adalah detektor yang memiliki kemampuan untuk mengukur beberapa jenis parameter fisik atau kuantitas seperti suhu, kecepatan aliran, tekanan, atau perpindahan akan mempengaruhi keadaan keluaran sensor.

Keluaran sensornya adalah tegangan atau arus yang mewakili besarnya parameter yang diukur. Sensor kemudian akan dapat mengkonversi pengukuran dan menjadi sinyal bahwa seseorang akan dapat membaca. Sebagian besar sensor yang digunakan saat ini benar-benar dapat berkomunikasi dengan perangkat elektronik yang akan melakukan pengukuran. Berbagai jenis sensor diklasifikasikan menurut parameter yang dapat mereka ukur, seperti sensor suhu, sensor cahaya, sensor jarak, sensor kelembababan, sensor gaya, dan lain sebagainya. Dalam praktikum kali ini, sensor yang digunakan adalah PTC. Sensor suhu yang biasa kita kenal sebagai sensor PTC (*Positive Temperature Coefficient*) adalah resistor dengan koefisien suhu positif, yang berarti bahwa tingkat resistansinya akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu.



Gambar 1. Grafik Hubungan Suhu dan Hambatan PTC  
(Sumber: zoniaelektro.net)

Thermistor merupakan jenis sensor suhu pasif yang mempunyai karakteristik sejenis dengan sensor suhu berbasis resistansi. Karakterisasi thermistor dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan keadaan pemanasan dari luar (*non-self heating*) dan keadaan pemanasan sendiri (*self-heating*). Termistor terdiri dari dua jenis yaitu NTC (*Negative Temperature Coefficient*) dan PTC (*Positive Temperature Coefficient*). Termistor PTC bekerja pada saat koefisien suhu tinggi, ketika koefisien suhu lebih besar maka tahanan pada sensor ini akan semakin besar sehingga mengaktifkan sifat *switching* pada sensor.

*Non-Self Heating*, sensor suhu PTC merupakan elemen pendeteksi suhu dari bahan semikonduktor yang menunjukkan perubahan nilai tahanan sebagai akibat perubahan suhu dilingkungan sensor tersebut. Elemen PTC terbuat dari keramik polikristalin yang di doping dengan Barium Titanate ( $BaTiO_3$ ) dan Yttrium Oksida ( $Yt_2O_3$ ). Sensor suhu PTC dengan bahan  $BaTiO_3$  memiliki respon tahanan nonlinier dengan suhu yang sangat tinggi. Karakteristik sensor

suhu PTC dapat dilihat dari kurva  $R_T(T)$  dengan mengukur nilai tahanan dari sensor terhadap perubahan suhu. Perubahan nilai tahanan sebuah sensor suhu PTC menggunakan persamaan berikut.

$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{\beta \left( \frac{T_s - T_C}{T_s} \right)} + R_0$$

dimana,  $R_{T_0}$  merupakan resistansi setelah kenaikan suhu (Ohm),  $T$  merupakan suhu pada elemen ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_c$  merupakan suhu setelah ada kenaikan (suhu Curie) ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan  $\beta$  merupakan karakteristik bahan.

*Self-Heating*, keadaan pemanasan *self-heating* karakteristik dari sensor suhu termistor ini dijelaskan oleh model arus tegangan  $I(V)$  dalam keadaan termal stabil di udara. Kurva  $I(V)$  mendefinisikan hubungan antara arus dan tegangan di setiap titik kesetimbangan termal. Ketika arus mengalir pada sensor suhu PTC, sensor akan memanaskan karena dayanya menghilang. Tegangan  $V_T$  yang diberikan pada sensor suhu PTC akan menimbulkan pemanasan sendiri terhadap elemen PTC dengan daya listrik  $P_{el}$  yang dihasilkan dari hambatan beban pada sensor  $R_T$ . Besar daya listrik yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan

$$P_{el} = \frac{V_T^2}{R_T}$$

Panas keluaran yang diberikan  $P_{th}$  dihasilkan dari kenaikan suhu  $T$  di suhu sekitar  $T_M$  dapat dijelaskan dengan persamaan

$$P_{th} = \frac{1}{R_w} (T_s - T_M) + C \frac{dT}{dt}$$

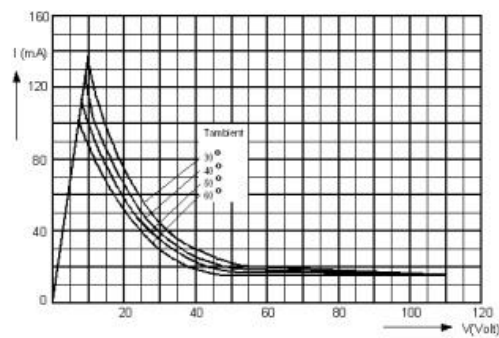
dimana  $R_w$  panas resistansi pada medium ( $^{\circ}\text{K/Watt}$ ). Kondisi keseimbangan dari daya listrik dan panas keluaran  $P_{th}$  dinyatakan dengan persamaan  $P_{el} = P_{th}$ .

Thermistor PTC dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu jenis pertama terdiri dari *thermally sensitif silicon resistors*, kadang-kadang disebut sebagai "*silistors*". *Device* ini menunjukkan nilai koefisien suhu positif yang cukup seragam (sekitar  $0,77\%/^{\circ}\text{C}$ ) kebanyakan dari silistor melalui berbagai wilayah/rentang operasional, tetapi dapat juga menunjukkan koefisien suhu negatif di wilayah temperatur yang melebihi  $150^{\circ}\text{C}$ . *Device* ini paling sering digunakan untuk

kompensasi terhadap *device semiconducting silicon* dalam kisaran temperatur antara  $-60^{\circ}\text{C}$  ke  $150^{\circ}\text{C}$ . Jenis kedua merupakan *polycrystalline* bahan keramik yang biasanya resistivitasnya tinggi tetapi terbuat dari semikonduktor dengan penambahan *dopants*. Umumnya dibuat dari campuran barium, timah dan strontium titanates dengan tambahan seperti *yttrium*, *manganese*, *tantalum* dan *silika*. *Device* ini memiliki daya tahan-suhu karakteristik negatif yang sangat kecil. Koefisien suhu *device* ini hingga mencapai suhu yang kritis, yang disebut sebagai "*curie*", perubahan atau transisi suhu. Suhu kritis ini merupakan pendekatan, *device* ini mulai menunjukkan peningkatan, resistansi suhu *coefficient* positif seperti peningkatan resistansi yang besar. Fungsi PTC thermistor yaitu digunakan untuk sensor temperatur.

PTC berfungsi sebagai tahanan atau resistansi dimana besar tahanannya berubah sesuai perubahan suhu. Disebut positif karena nilai tahanannya akan naik jika temperatur naik. Dan nilai tahanannya turun apabila temperatur turun. PTC bisa berfungsi sebagai sensor yaitu dari nilai tahanannya. Biasanya aplikasi dengan mengidentifikasikan arus yang mengalir melalui PTC. Jika PTC diberi tegangan maka akan mengalir arus. Jadi, besarnya arus ini akan berubah-ubah sesuai perubahan tahanan PTC. Arus ini kemudian diukur sebagai identifikasi perubahan temperatur. PTC adalah jenis resistor *non-linier* yang nilai hambatannya terpengaruh oleh perubahan suhu. Makin tinggi suhu yang mempengaruhi makin besar nilai hambatannya.

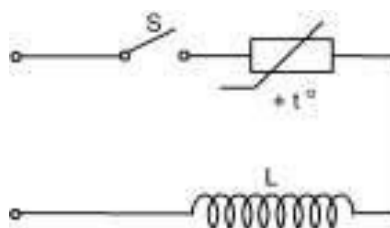
PTC merupakan resistor dengan koefisien positif. dalam hal ini, termistor PTC berbeda dengan termistor NTC, antara lain koefisien temperatur dari termistor PTC bernilai positif hanya dalam interval temperatur tertentu, sehingga diluar interval tersebut akan bernilai nol atau negatif dan harga mutlak serta koefisien temperatur dari termistor PTC jauh lebih besar dari pada termistor NTC. Termistor PTC terbuat dari  $\text{BaTiO}_3$ , cairan zat padat dari  $\text{BaTiO}_3$  dan  $\text{SrTiO}_3$  adalah analog dengan metode yang digunakan untuk persiapan membuat termistor NTC. Sejumlah ekstra tertentu pada ion-ion Ti dibangkitkan dengan memasukkan ion-ion lain yang mempunyai valensi yang berbeda. Karakteristik arus dan tegangan statis menarik karena kurva ini bisa menunjukkan dengan jelas kemampuan arus limit dari termistor PTC. Sampai level tegangan tertentu, karakteristik arus dan tegangannya merupakan garis lurus dan mengikuti hukum ohm, tetapi begitu PTC terpanasi dengan arus yang besar yaitu temperatur sudah sampai pada daerah *switching*, disini resistansi membesar.



Gambar 2. Grafik Karakteristik Tegangan dan Arus PTC  
(Sumber: zoniaelektro.net)

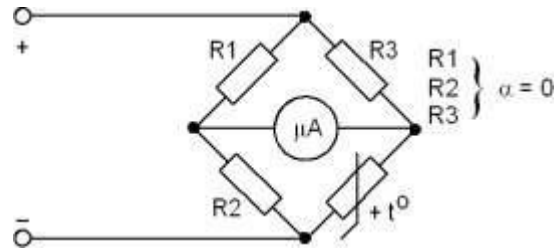
Sensor PTC memiliki kurva linear (NTC) ketika suhu sensor belum mencapai titik Curie (TC). Penelitian ini akan memanfaatkan daerah linear dari sensor PTC sebagai deteksi suhu dalam mode sensor non-self heating. Penelitian mengenai sensor PTC pernah dilakukan oleh Jack et al (2016) yang menyatakan bahwa pada saat sensor PTC diberikan tegangan maka sensor akan mengalami pemanasan sendiri (self heating) yang menyebabkan resistansi sensor meningkat secara signifikan. Sensor PTC memiliki sifat yang peka terhadap suhu serta memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi sehingga tidak terjadi anomali pengukuran ketika sensor berada dalam fluida panas (Horn, 2002; Umar, 2010). Tentu saja karakteristik tegangan dan arus ini bergantung pada temperatur sekitarnya, dan juga bergantung pada koefisien transfer panas yang ada disekelilingnya. PTC dengan variasi resistansi yang sangat tinggi dalam daerah temperatur yang agak terbatas, pada dasarnya digunakan sebagai “*Threshold Detector*”.

PTC merupakan komponen *non-polar* sehingga dalam pemasangan pada rangkaian elektronika tidak perlu memperhatikan polaritas. Sehingga, dapat dipasang bolak-balik. Pada gambar dibawah diperlihatkan beberapa contoh pemakaian dari thermistor tersebut.

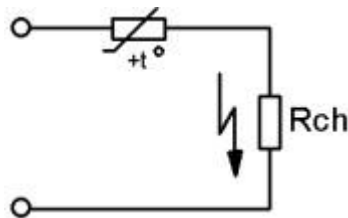


Gambar 3. PTC untuk membatasi arus puncak saat start  
(Sumber: thecityfoundry.com)

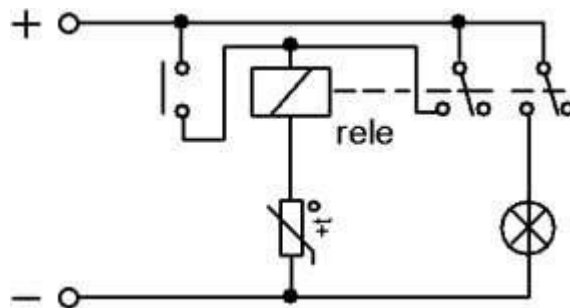




Gambar 4. Aplikasi PTC sebagai pengukuran temperature  
(Sumber: thecityfoundry.com)



Gambar 5. Aplikasi PTC sebagai Pengaman Beban Lebih atau Hubung Singkat  
(Sumber: thecityfoundry.com)



Gambar 6. Aplikasi PTC sebagai Penunda Waktu  
(Sumber: thecityfoundry.com)

Jangan memberikan tegangan diatas tegangan dibolehkan dari suatu PTC, karena hal ini bisa mengakibatkan rusaknya termistor. Jangan menghubungkan termistor dalam rangkaian seri untuk memperoleh tegangan atau daya yang besar. Sebab hal ini, bisa memungkinkan kerusakan pada PTC yang terpanaskan lebih dahulu dibandingkan yang lainnya, yang diakibatkan oleh tegangan jatuh yang berlebihan yang ada padanya.

Arduino merupakan rangkaian elektronik *opensource* yang di dalamnya terdapat komponen utama, yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR. Mikrokontroler adalah chip atau IC

(*Integrated Circuit*) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan memberikan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Mikrokontroler bertugas sebagai otak yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik.

Arduino Uno adalah rangkaian mikrokontroler berbasis ATmega328 yang memiliki 14 pin digital input/output (di mana pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 *input analog*, *clock speed* 16 MHZ, koneksi USB, *power supply*, *header ICSP*, dan tombol reset. Board mikrokontroller ini menggunakan sumber daya yang terhubung ke komputer dengan kabel USB atau daya eksternal dengan adaptor AC-DC atau baterai. Arduino UNO merupakan papan *board* yang banyak digunakan untuk belajar pemrograman mikrokontroller di kalangan pelajar ataupun para hobi robotika, selain harganya terjangkau arduino jenis ini juga sangat mudah kita jumpai di pasaran dan juga banyak *library* program yang mendukung. Berikut spesifikasi Board Arduino Uno.

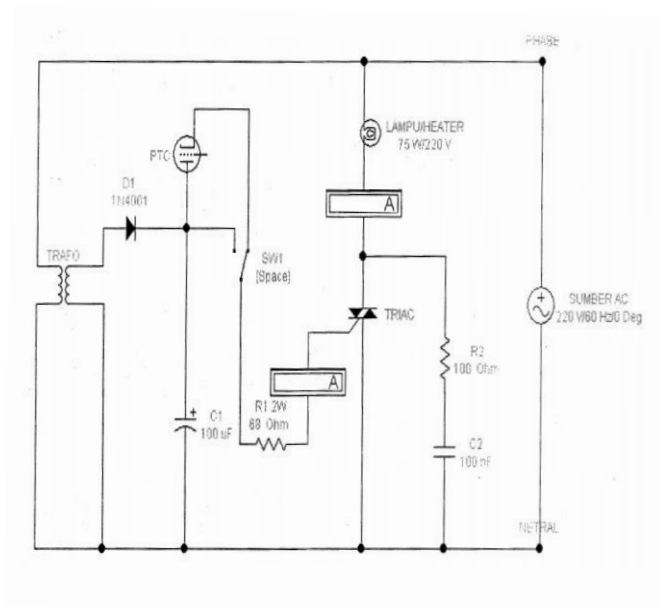
Mikrokontroler	Arduino
Tegangan Kerja	5 V
Tegangan Input	7 V – 12 V
Batas Tegangan <i>Input</i>	6 V – 20 V
Pin Digital I/O	14 (di mana 6 pin Output PWM)
Pin Analog <i>Input</i>	6
Arus DC per I/O Pin	40 mA
Arus DC untuk pin	3.3 V, 50 Ma
<i>Flash Memory</i>	32 KB (ATmega328)
<i>SRAM</i>	2 KB (ATmega328)
<i>EEPROM</i>	1 KB (ATmega328)

<i>Clock</i>	16 MHz
--------------	--------

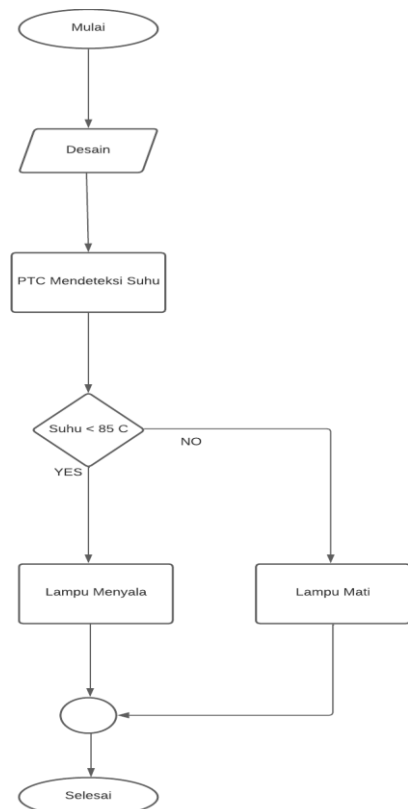
Tabel 1. Tabel Spesifikasi Board Arduino Uno

## Metode

Pengendali temperatur atau suhu dengan menggunakan PTC sebagai sensor suhu tersusun atas berbagai macam komponen – komponen elektronik, pada praktikum kali ini akan coba menggunakan tiga metode yaitu metode yang pertama rangkaian pengendali temperatur dengan *TRIAC* dan PTC sebagai sensor, berawal dari tegangan AC 220 V yang kemudian ditukar menjadi tegangan DC melalui trafo dan akan disearahkan lagi melalui diode penyearah, lalu mengalir langsung menuju PTC yang dihubungkan langsung dengan *TRIAC* dan lampu *heater* (beban) sebagai simulator. Gambar rangkaian pengendali temperatur dengan *TRIAC* dan PTC sebagai sensor dapat dilihat pada Gambar 7 dan untuk *flowchart* rangkaian pengendali temperatur dengan Triac dan PTC sebagai sensor dapat dilihat pada Gambar 8.



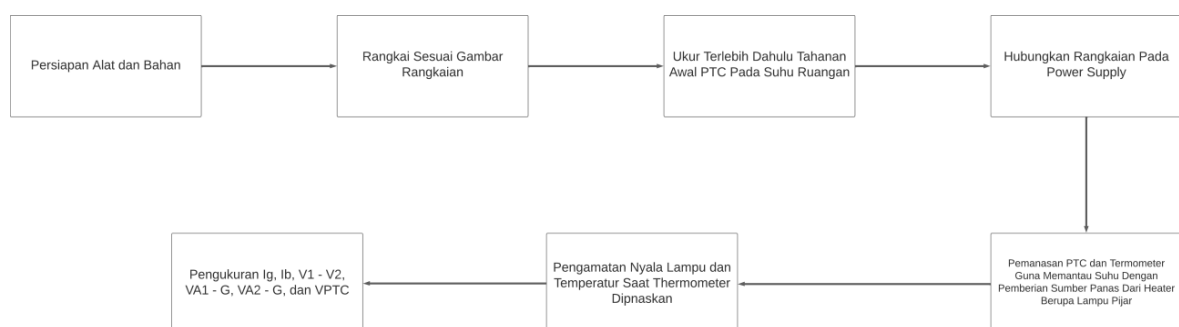
Gambar 7. Rangkaian Pengendali Temperatur dengan PTC  
(Sumber: Desain Pribadi)



Gambar 8. *Flowchart* Rangkaian Pengendali Temperatur dengan PTC  
(Sumber: Desain Pribadi)

Pada Gambar 7, dapat kita lihat bahwa sumber tegangan AC sebesar 220 V akan diubah menjadi tegangan DC melalui trafo dan disearahkan menggunakan diode penyearah. *Output* tegangan DC yang dihasilkan berkisar antara 7 V – 9V. Dioda kemudian terhubung dengan PTC yang dirangkai seri dengan kapasitor yang sudah ditambahkan saklar pada ujungnya. Keluaran dari saklar terhubung pada resistor yang kemudian dihubungkan dengan *gate* dari *TRIAC*, *heater* berupa lampu pijar dengan daya 60 W/220 V yang berperan sebagai simulator yang terhubung dengan MT1 dari *TRIAC*, kemudian resistor dan kapasitor yang dirangkai seri dihubungkan ke *TRIAC* dan dipasang secara paralel.

Pada Gambar 8, dapat kita lihat *flowchart* dari rangkaian pengendali temperatur dengan *TRIAC* dan PTC sebagai sensor. Desain *flowchart* pada Gambar 8 akan membentuk desain rangkaian dan simulasi dari pengendali temperatur. Setelah rangkaian dan simulasi berhasil dibuat maka yang selanjutnya terjadi adalah PTC melaksanakan tugasnya yaitu sebagai pendeteksi suhu disekitarnya ketika simulasi berjalan. Pada saat ini, terdapat dua kemungkinan yang mungkin terjadi. Dimana, ketika situasi pertama PTC berada pada suhu  $< 85^{\circ}\text{C}$  maka *heater* berupa lampu pijar dengan daya 60 W/220 V akan menyala dan situasi kedua yang kemungkinan terjadi yakni disaat suhu PTC  $> 85^{\circ}\text{C}$  maka *heater* (lampu pijar) akan mati. Besar batas suhu sebesar  $85^{\circ}\text{C}$  didapatkan dari praktikum yang sudah terlaksana. Dimana, Ketika keadaan suhu PTC  $< 85^{\circ}\text{C}$  yang perlu dilakukan pada saat praktikum adalah menaikkan suhu PTC dengan cara menempatkan PTC didekat *heater* (lampu pijar) sehingga suhu pada PTC bisa meningkat. Ketika sudah sesuai dengan parameter yang ditentukan, maka kita dapat melakukan proses pengambilan data yang diperlukan dan mencatat hasil yang diperoleh saat praktikum. Tahapan dan beberapa data yang dibutuhkan dalam eksperimen dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 9. Diagram Tahapan Praktikum  
(Sumber: Desain Pribadi)

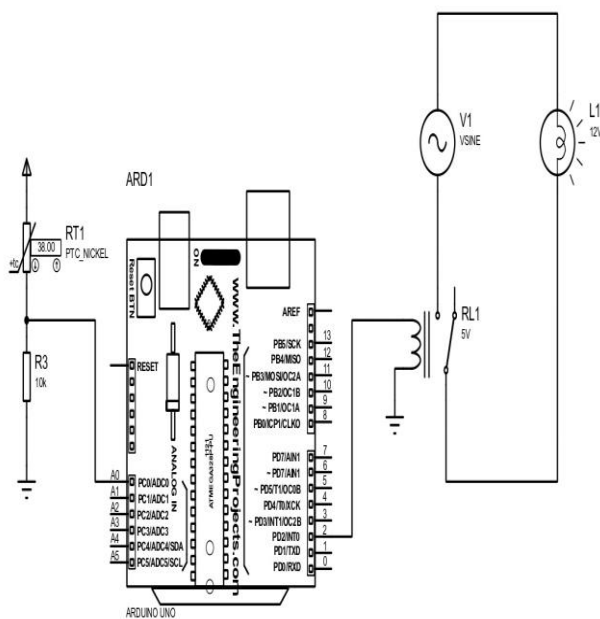
Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan saat praktikum pengendalian temperature dengan menggunakan PTC meliputi *Heater* berupa lampu pijar 60W/220V, Ammeter AC batas ukur 2.5 A, Miliampere DC 100 Ma, Multimeter, Termometer, dan Kabel penghubung (*jumper*) secukupnya. Rangkaian pengendali temperatur dengan *TRIAC* dan PTC sebagai sensor menunggu proses menerima input suhu dari PTC agar bisa bekerja, input suhu yang didapatkan akan secara langsung mengakibatkan arus yang mengalir pada pin *gate TRIAC*, ketika suhu PTC semakin naik maka arus pada pin *gate TRIAC* akan menghasilkan arus yang besar dan arus pada lampu heater sebagai simulator akan semakin kecil dan begitu juga sebaliknya. Rangkaian pengendali temperatur dengan *TRIAC* dan PTC sebagai sensor menggunakan, (1) Trafo, (2) Diode penyearah. (3) PTC sebagai sensor, (4) *TRIAC* sebagai pengatur daya, (5) Lampu Heater sebagai simulator. Gambar rangkaian pengendali temperatur dengan *TRIAC* dan PTC sebagai sensor secara konkret dapat dilihat pada Gambar 10.



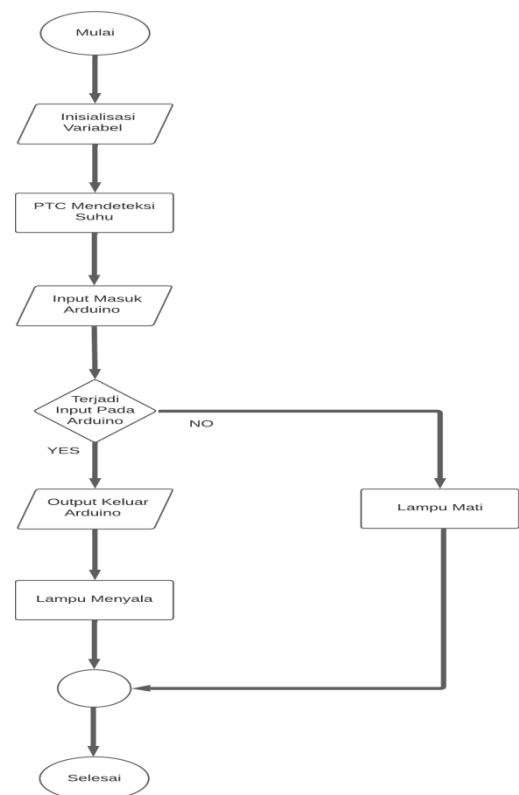
Gambar 10. Skala Laboratorium Rangkaian  
Pengendali Temperatur dengan PTC  
(Sumber: Desain Pribadi)

Gambar diatas merupakan gambar nyata atau skala laboratorium yang dirancang dalam praktikum sistem kendali rangkaian pengendali temperatur dengan *TRIAC* dan PTC sebagai sensor. Modul yang dipakai telah disediakan oleh lab yang dirakit sesuai dengan perencanaan oleh kakak tingkat yang telah melakukan praktek sebelumnya. Metode yang diterapkan untuk menghubungkan dari komponen satu ke komponen lainnya yakni menggunakan kabel – kabel penghubung atau biasa disebut kabel *jumper*. Sumber yang digunakan diambil dari sumber listrik AC PLN yang bertegangan 220 V dan akan langsung terhubung ke modul yang kemudian diubah menjadi tegangan DC 7 V – 9 V melalui trafo yang berada pada modul.

Metode kedua yang kami gunakan dalam membuat rangkaian pengendali temperatur yaitu menggunakan rangkaian pengendali temperatur dengan Arduino melalui PTC sebagai sensor, dimana arduino disini berperan sebagai driver menggantikan TRIAC pada metode pertama. Berawal dari PTC dan resistor yang dirangkai secara seri dan mendapatkan sumber DC sebesar 5 V dari arduino, PTC dijadikan *input* bagi arduino dan dihubungkan ke pin *analog input* yang telah diatur. Pada pin *output* yang telah diatur juga dihubungkan *relay* sebagai saklar penghubung antara tegangan DC dan AC, pada tegangan AC disambungkan langsung dengan lampu heater sebagai simulator. Gambar rangkaian pengendali temperatur dengan Arduino melalui PTC sebagai sensor dapat dilihat pada Gambar 11 dan untuk flowchart rangkaian pengendali temperatur dengan Arduino melalui PTC sebagai sensor dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 11. Rangkaian Pengendali Temperatur Arduino dengan PTC  
(Sumber: Desain Pribadi)



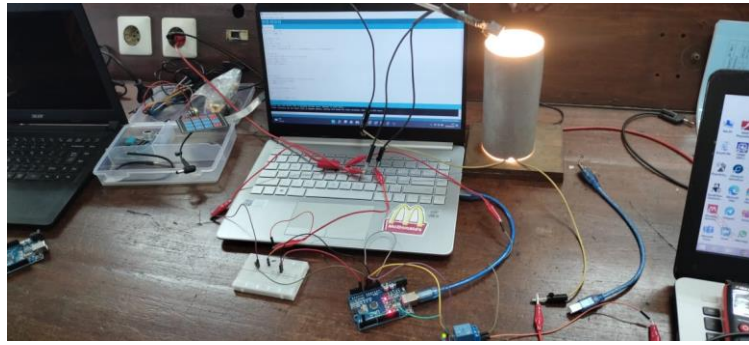
Gambar 12. Flowchart Rangkaian Pengendali Temperatur Arduinodengan PTC  
(Sumber: Desain Pribadi)

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa PTC yang dirangkai seri dengan resistor mendapatkan sumber sebesar 5 V dari arduino dan juga menjadi *input* terhadap arduino itu sendiri, pada pin

*output* arduino diperlukan *relay* untuk menjadi saklar penghubung antara tegangan DC dan AC yang akan di seri oleh sumber AC sebesar 220V dan lampu heater sebagai simulator. Pada arduino sudah diprogram agar ketika ada terjadi *input* pada pin yang telah ditentukan maka akan mengeluarkan output pada pin yang telah ditentukan juga dan akan dihubungkan langsung dengan *relay* dan rangkaian lampu heater yang menjadi simulator, hal ini tentu saja berbanding lurus dengan suhu yang dideteksi oleh PTC disaat suhu PTC rendah atau turun maka hambatan pada PTC akan ikut turun sehingga menyebabkan terjadinya *input* yang diterima arduino, begitu juga sebaliknya ketika suhu PTC naik yang juga akan menaikkan hambatannya sehingga mengakibatkan tidak terjadi *input* pada arduino serta tidak akan terjadi *output* pada pin 2.

Pada Gambar 12 dapat dilihat *flowchart* rangkaian pengendali temperatur arduino melalui PTC sebagai sensor. Hal pertama yang terjadi setelah rangkaian sudah selesai dirangkai yaitu arduino akan memberikan inisialisasi pada variabel – variabel yang sudah ditentukan pada program, kemudian PTC bertugas mendeteksi suhu yang berada di sekitarnya, dimana besar kecilnya suhu yang di deteksi akan mempengaruhi besar kecilnya hambatan yang berada pada PTC, semakin tinggi suhu pada PTC maka akan semakin tinggi juga hambatannya, begitu pula sebaliknya semakin rendah suhu pada PTC maka akan semakin rendah juga hambatan PTC yang secara otomatis akan mempengaruhi adanya *input* yang masuk atau tidaknya pada arduino. Disaat ada *input* yang terjadi pada arduino, maka akan ada *output* pada pin yang sudah ditentukan berdasarkan program pada arduino, pada pin *output* dihubungkan dengan relay yang berperan sebagai penghubung antara tegangan DC dan AC, keluaran relay dihubungkan seri langsung dengan sumber AC 220 V dan lampu heater sebagai simulator. Rangkaian pengendali temperatur arduino melalui PTC sebagai sensor menunggu proses *input* dari PTC yang dirangkai seri dengan resistor, pin arduino yang dipakai sebagai pin input mengikuti dengan program yang ada didalam arduino itu sendiri. Input yang diterima oleh pin arduino akan secara langsung mengakibatkan adanya *output* dari arduino sesuai dengan program arduino, pin *output* akan langsung terhubung dengan relay dan di seri dengan sumber AC dan simulator yang berbentuk lampu.

Rangkaian pengendali temperatur arduino melalui PTC sebagai sensor menggunakan, (1) Arduino, (2) Relay. (3) PTC sebagai sensor, (4) *Heater* berupa lampu pijar 60 W/ 220 V sebagai simulator. Gambar rangkaian pengendali temperatur arduino melalui PTC sebagai sensor secara konkret dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Skala Laboratorium Rangkaian Pengendali Temperatur Arduino melalui PTC  
(Sumber: Desain Pribadi)

Gambar diatas merupakan skala laboratorium atau gambar nyata yang dirancang dalam praktikum sistem kendali rangkaian pengendali temperatur Arduino melalui PTC sebagai sensor. Arduino yang dipakai menggunakan Arduino Uno R3, Arduino, Laptop dan Relay yang digunakan merupakan milik pribadi, komponen resistor, PTC dan *heater* berupa lampu pijar 60 W/220 V yang telah disediakan oleh laboratorium. Metode yang dipakai dalam menghubungkan antar komponen ke komponen lain yaitu menggunakan kabel - kabel penghubung yang juga disediakan oleh lab, sumber AC juga diambil dari sumber listrik PLN bertegangan 220 V pada laboratorium.

Berdasarkan praktikum, penggunaan themistor PTC sebagai sensor suhu dalam rangkaian pengendali temperatur sebenarnya kurang efektif, karena prinsip dasar dari sensor thermistor adalah perubahan nilai tahanan atau hambatan ketika temperatur atau suhu yang dideteksi oleh thermistor berubah output yang diberikan masih berupa analog, thermistor juga memiliki range pengukuran suhu yang sempit dan tidak linier dan rentan mengalami kerusakan. Akan lebih efektif jika menggunakan sensor suhu DHT22 karena output dari sensor akan berbentuk digital sehingga penggunaan pin analog tidak dibutuhkan lagi. Selain itu, sensor DHT22 juga mempunyai range pengukuran suhu yang cukup luas diantara  $-40^{\circ}\text{C}$  –  $80^{\circ}\text{C}$  dengan tingkat akurasi pengukuran suhu yang sangat bagus. Selain mampu mendeteksi suhu, sensor DHT22 juga mampu mendeteksi kelembaban dengan tingkat keakuratan yang tinggi, sensor DHT22 memiliki tegangan kerja sebesar 3.3 V – 5 V sehingga aman untuk dihubungkan dengan arduino yang memiliki sumber maksimal 5 V, sensor dan yang terpenting sensor DHT22 memiliki pengambilan sampel yang tidak lebih dari 0.5 Hz (pembaruan data setiap 2 detik).

Perancangan program arduino, masing – masing komponen terhubung dengan arduino melalui pin yang berbeda – beda, berikut penjelasan hubungan dari setiap komponen ke Arduino:



- a. Pin Input (PTC diseri dengan resistor) terhubung ke pin A0 (Arduino)
- b. Pin Output (Relay diseri dengan sumber AC dan lampu heater) terhubung ke pin 2 (Arduino)
- c. Pin GND (Relay) terhubung ke pin GND (Arduino)
- d. Pin VCC (Relay) terhubung ke pin 5V (Arduino)
- e. Pin power (PTC) terhubung ke pin 5V (Arduino)

Program yang di isi pada Arduino :

```
const int ptc = A0;
const int lamp = 2;
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    pinMode (ptc, INPUT);
    pinMode (lamp, OUTPUT);
    Serial.begin (9600);
}
void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    int BACA = digitalRead(ptc);
    if (BACA == HIGH)
    {
        digitalWrite (lamp, HIGH);
    }
    else
    {
        digitalWrite (lamp, LOW);
    }
}
```

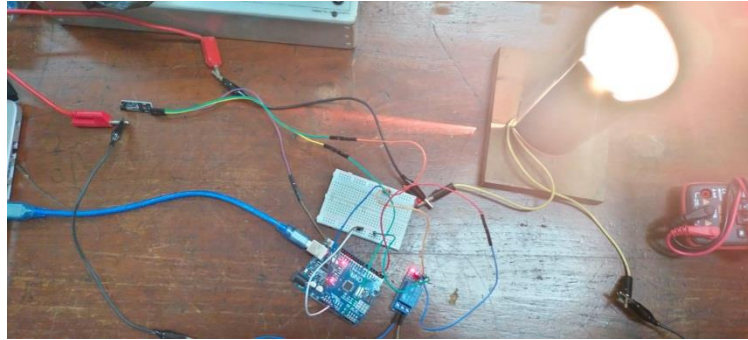
The circuit diagram illustrates the connection between an Arduino Uno and a transformer-based power supply. The Arduino Uno is shown with its ATmega328P microcontroller and various pins labeled. The VOUT pin is connected to the primary winding of a transformer (T1) via a 39 Ohm resistor. The secondary winding of the transformer is connected to a bridge rectifier (V1) and a load resistor (RL1). The transformer has a turns ratio of 1:12.5. The output voltage is measured across RL1.

```

graph TD
    Start([Mulai]) --> Init[/Inisialisasi Variabel/]
    Init --> Detect[LM35 Mendeteksi Suhu]
    Detect --> Input[/Input Masuk Arduino/]
    Input --> Decision{Suhu < 40}
    Decision -- YES --> Output[/Output Keluar Arduino/]
    Output --> LampOn[Lampu Menyala]
    LampOn --> Join(( ))
    Decision -- NO --> LampOff[Lampu Mati]
    LampOff --> Join
    Join --> End([Selesai])
  
```

Pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa LM35 mendapatkan sumber sebesar 5 V dari arduino dan juga menjadi *input* terhadap arduino itu sendiri, pada pin *output* arduino diperlukan *relay* untuk menjadi saklar penghubung antara tegangan DC dan AC yang akan di seri oleh sumber AC sebesar 220V dan lampu heater sebagai simulator. Pada Gambar 15 dapat dilihat *flowchart* rangkaian pengendali temperatur arduino melalui LM35 sebagai sensor, alur *flowchart* pada umumnya sama saja seperti metode kedua hanya saja yang membedakannya pada arduino langsung diatur besaran suhu pada saat kondisi lampu nyala dan pada suhu berapa juga kondisi lampu akan mati.

Rangkaian pengendali temperatur arduino melalui LM35 sebagai sensor menggunakan, (1) Arduino, (2) Relay. (3) LM35 sebagai sensor, (4) *Heater* berupa lampu pijar 60 W/ 220 V sebagai simulator. Gambar rangkaian pengendali temperatur arduino melalui PTC sebagai sensor secara konkret dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Skala Laboratorium Rangkaian Pengendali Temperatur Arduino melalui LM35  
(Sumber: Desain Pribadi)

Perancangan program arduino, masing – masing komponen terhubung dengan arduino melalui pin yang berbeda – beda, berikut penjelasan hubungan dari setiap komponen ke Arduino:

- a. Pin Vout (LM35) terhubung ke pin A0 (Arduino)
- b. Pin GND (LM35) terhubung ke pin GND (Arduino)
- c. Pin VCC (LM35) terhubung ke pin 5V (Arduino)
- d. Pin Output (Relay) terhubung ke pin 2 (Arduino)
- e. Pin GND (Relay) terhubung ke pin GND (Arduino)
- f. Pin VCC (Relay) terhubung ke pin 5V (Arduino)

Program yang di isi pada Arduino :

```
byte lm35= A0;
int nilai;
int lamp = 2;

void setup(){
  pinMode (lm35, INPUT);
  pinMode (lamp, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  nilai= analogRead(lm35);
  nilai= nilai*0.488;
  Serial.println(nilai);
  delay(500);
  if (nilai < 40)
  {
    digitalWrite (lamp, HIGH);
  }
  else
  {
    digitalWrite (lamp, LOW);
  }
}
```

## Temuan, Hasil, Tugas dan Pembahasan

Praktikum yang kami lakukan, diawali dengan pengujian rangkaian melalui pengukuran besaran listrik yang berkaitan dengan catu daya rangkaian pengendali suhu. Dalam praktikum ini, menggunakan beban yakni *heater* berupa lampu pijar dengan daya 60 W/220 V. Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan pengujian rangkaian pengendali suhu yang telah kami rakit sebelumnya. Pengujian sistem dilakukan dengan menguji cara kerja *Positive Temperature Coefficient* (PTC). Kondisi awal saat praktikum yakni sumber tegangan pada beban 220 V diubah menjadi tegangan DC dengan menggunakan transformator kemudian tegangan akan masuk pada dioda. PTC dihubungkan dengan *TRIAC* dan ketika saklar menyala *heater* berupa lampu pijar dengan daya 60 W/220 V akan menyala dengan suhu ruangan yang semakin lama akan semakin meningkat, arus pada *gate TRIAC* akan menghasilkan arus yang besar dan arus pada *heater* (lampu pijar) akan semakin menurun. Ketika pengujian dilakukan hasil yang didapat pada saat rangkaian bekerja untuk pertama kali yakni suhu awal dari lampu sebesar  $35^{\circ}\text{C}$ , dengan tahanan awal  $20\ \Omega$  dan tahanan akhir  $500\ \Omega$ . Sedangkan, arus pada *gate* dan arus pada beban mengalami perubahan ketika suhu meningkat.

Spesifikasi alat yang digunakan pada saat praktikum dilaboratorium :

- a. Penguji PTC sensor temperatur PTC (Positive Temperature Coefficient), artinya makin panas maka makin besar resistansinya. Menurut datasheetnya, komponen ini umumnya dipakai sebagai pembatas arus. Mekanismenya adalah arus pada PTC menghasilkan panas, dan panas ini akan menaikkan nilai resistansinya. Jika nilai resistansi tinggi, maka arus yang mengalir akan berkurang. ([elektrologi.kabarkita.org/ptc-positive-temperature-coefficient-c870](http://elektrologi.kabarkita.org/ptc-positive-temperature-coefficient-c870))
- b. Trafo 220 V/6 V / 1-2 A sebagai menaikkan dan menurunkan tegangan/ pengendali daya.
- c. Heater berupa Lampu Pijar 220 V sebagai penaik suhu/pemanas
- d. Ammeter AC batas ukur 2.5 A sebagai pengukur arus AC
- e. Miliampere DC 100mA sebagai pengukur arus DC
- f. Multimeter sebagai pengukur arus, tegangan, hambatan, tahanan pada rangkaian DC maupun AC
- g. Thermometer sebagai pengukur suhu pada sekitar PTC dan kamar
- h. Kabel penghubung sebagai penghubung komponen satu dengan yang lain, penghantar arus

Hasil pengujian saat rangkaian bekerja dapat dilihat dalam tabel berikut ini:

Tabel 2. Saat Pertama Rangkaian Bekerja

No	Suhu	I <sub>g</sub> (mA)	I <sub>b</sub> (A)	V <sub>a1-a2</sub> (V)	V <sub>a1-g</sub> (V)	V <sub>a2-g</sub> (V)	V <sub>PTC</sub> (V)
1	Suhu awal (28° C)	49 mA	3,8 A	0,8 V	0,7 V	0,7 V	13,5 V
2	50° C	43,5 mA	3,8 A	0,8 V	0,7 V	0,7 V	14,15 V
3	60° C	43 mA	3,8 A	0,87 V	0,7 V	0,7 V	14,25 V
4	70° C	42,5 mA	3,8 A	0,87 V	0,7 V	0,7 V	14,5 V
5	Suhu saat lampu mati (85° C)	10 mA	0 A	220 V	220 V	0,9 V	7,12 V

Keterangan :

- I<sub>g</sub> adalah arus yang mengalir pada electrode gate Triac
- I<sub>b</sub> adalah arus yang mengalir pada lampu heater sebagai beban
- V<sub>a1 – a2</sub> adalah tegangan diantara ammeter 1 dan ammeter 2
- V<sub>a1 – g</sub> adalah tegangan diantara ammeter 1 dan electrode gate pada Triac
- V<sub>a2 – g</sub> adalah tegangan diantara ammeter 2 dan electrode gate pada Triac
- V<sub>PTC</sub> adalah tegangan pada PTC

Perubahan arus, tegangan, dan suhu dapat kita lihat pada table diatas. Dari tabel 2, dapat kita simpulkan bahwa semakin meningkatnya suhu ruangan maka arus pada *gate* dan arus pada beban *heater* (lampu pijar) akan semakin menurun. Sehingga, tegangan pada A1, A2, tegangan pada *gate*, dan tegangan pada PTC (V<sub>PTC</sub>) semakin meningkat. Hal ini, menunjukkan bahwa rangkaian pengendali temperatur dengan menggunakan PTC bekerja sesuai dengan prinsip kerja PTC sebagai sensor suhu. Setelah dilakukan pengujian pertama saat rangkaian awal bekerja maka akan terjadi perubahan suhu yang sesuai dengan prinsip kerja PTC yakni semakin besar suhu yang diterima thermistor (*Input*), maka nilai resistansi yang dikeluarkan (*output*) akan semakin besar. Hasil pengujian kedua dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Saat lampu mati

No	Suhu	I <sub>g</sub> (mA)	I <sub>b</sub> (A)	V <sub>a1-a2</sub> (V)	V <sub>a1-g</sub> (V)	V <sub>a2-g</sub> (V)	V <sub>PTC</sub> (V)
1	Suhu saat lampu mati (85° C)	10 mA	0 A	220 V	220 V	0,9 V	7,12 V
2	Suhu saat lampu menyala lagi (68° C)	25 mA	2,8 A	120,5 V	120,2 V	0,9 V	6,49 V

Keterangan :

- I<sub>g</sub> adalah arus yang mengalir pada electrode gate Triac
- I<sub>b</sub> adalah arus yang mengalir pada lampu heater sebagai beban
- V<sub>a1 – a2</sub> adalah tegangan diantara ammeter 1 dan ammeter 2
- V<sub>a1 – g</sub> adalah tegangan diantara ammeter 1 dan electrode gate pada Triac
- V<sub>a2 – g</sub> adalah tegangan diantara ammeter 2 dan electrode gate pada Triac
- V<sub>PTC</sub> adalah tegangan pada PTC

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian rangkaian pengendali dengan menggunakan PTC pada saat lampu mati. Dengan kondisi lampu akan mati ketika mencapai suhu 85° C. Hal ini, menunjukkan bahwa PTC bekerja berdasarkan suhu. Ketika PTC telah memenuhi suhu tertentu maka PTC akan bekerja dan lampu akan mati. Arus *gate* (I<sub>g</sub>), arus beban (I<sub>b</sub>) dan arus *gate* (I<sub>g</sub>) mencapai 0 A, karena dihambat oleh PTC. Ketika sensor PTC mencapai batas maksimum suhu yaitu 85° C maka fungsi sensor berubah menjadi saklar dan akan memutuskan aliran serta menyebabkan beban (lampu) mati. Sehingga, suhu pada ruangan turun dan arus pada *TRIAC* akan turun. Sedangkan, tegangan pada A1-A2 konstan, yakni sebesar 220 V karena tidak terpengaruhi oleh beban (lampu).

Setelah pengujian saat lampu mati telah selesai, maka suhu akan turun mencapai suhu 68° C, sehingga beban (lampu) yang menjadi indikator akan menyala. Pada suhu 85° C arus pada gate 10 Ma dan beban masih 0 A, karena terhambat oleh PTC. Namun, pada saat suhu berada pada 68° C arus gate dan arus beban akan kembali membesar. Hasil pengujian ketika lampu menyala lagi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Setelah lampu menyala lagi

No	Suhu	Ig (mA)	Ib (A)	Va1-a2 (V)	Va1-g (V)	Va2-g (V)	VPTC (V)
1	Suhu saat lampu menyala lagi (68° C)	25 mA	2,8 A	120,5 V	120,2 V	0,9 V	6,49 V
2	70° C	42,8 mA	3,8 A	0,87 V	0,7 V	0,7 V	14,5 V
3	Suhu saat lampu mati (83° C)	10 mA	0 A	220 V	220 V	0,7 V	7,02 V

Keterangan :

- Ig adalah arus yang mengalir pada electrode gate Triac
- Ib adalah arus yang mengalir pada lampu heater sebagai beban
- Va1 – a2 adalah tegangan diantara ammeter 1 dan ammeter 2
- Va1 – g adalah tegangan diantara ammeter 1 dan electrode gate pada Triac
- Va2 – g adalah tegangan diantara ammeter 2 dan electrode gate pada Triac
- VPTC adalah tegangan pada PTC

Tabel 4. menunjukkan hasil pengujian ketika lampu menyala lagi. Arus gate dan arus beban pada suhu 60°- 100° C mengalami peningkatan sesuai dengan prinsip kerja PTC. Ketika sensor suhu kembali normal maka saklar secara otomatis akan on kembali. Suhu ruang dan arus gate (Ig) akan mengalami perubahan secara bertahap. Namun, arus pada beban rendah dan konstan. Arus gate (Ig) menunjukkan 0.28 mA, Tegangan pada A1-A2 3.1 V, tegangan pada



A2-gate 80 V, dan tegangan pada PTC menunjukkan 5 V. Arus pada beban ( $I_b$ ) selama menyala lagi memiliki arus yang sama yaitu 0.2 A. Praktikum pengendali temperatur menggunakan *Positive Temperature Coefficient* (PTC) telah sesuai dengan teori PTC dimana setelah kondisi awal lampu menyala hingga mencapai suhu 100° C dengan arus gate mengalami perubahan, dan dengan arus beban tergolong tetap. Saat suhu ruangan mencapai batas maksimum maka saklar akan otomatis *off*, dan beban (lampu) yang menjadi indikator akan mati.

Arus pada gate akan konstan. Ketika suhu rendah mencapai batas 60° C maka saklar akan kembali on dengan otomatis. Dan arus pada gate dan beban akan kembali normal. Sedangkan, tegangan pada A1-A2 gate kembali normal. Praktikum diawali dengan merangkai rangkaian sesuai dengan modul, dimana kondisi pertama sumber tegangan pada beban 220 V yang diubah menjadi tegangan DC dengan menggunakan trafo lalu tegangan masuk pada diode. PTC dihubungkan dengan *TRIAC* dan ketika saklar *on* beban (lampu) akan menyala dengan suhu ruangan yang semakin lama akan semakin naik, dan arus pada gate *TRIAC* akan menghasilkan arus yang besar dan arus pada beban (lampu) akan semakin kecil.

Sensor Termistor sebenarnya tidak hanya berjenis PTC saja, adajuga jenis NTC (*Negative Temperature Coefficient*) yang memiliki karakteristik kebalikan dari PTC, semakin tinggi nilai suhu yang dideteksi oleh sensor NTC maka semakin kecil juga hambatan yang ada didalan NTC itu sendiri.

Pada metode selanjutnya yaitu pada rangkaian pengendali temperatur dengan Arduino melalui LM35 sebagai sensor suhu, pada arduino yang dipakai telah di program agar ketika suhu yang diterima oleh LM35 dibawah 40° C, maka akan terjadi output yang mengakibatkan lampu heater menyala, begitu pula sebaliknya ketika suhu yang diterima oleh LM35 diatas 40° C maka tidak akan terjadi output sehingga mengakibatkan lampu heater mati. Hasil pengujian saat rangkaian bekerja dapat dilihat dalam tabel berikut ini:

Tabel 5. Hasil pengujian dengan LM35

No	Suhu	Kondisi Lampu
1	Suhu awal (28° C)	Menyala
2	35° C	Menyala
3	Suhu saat lampu mati (41° C)	Mati
4	Suhu saat lampu menyala lagi (39° C)	Menyala

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian rangkaian pengendali temperatur dengan Arduino melalui LM35 sebagai sensor suhu. Pada kondisi awal (Suhu Ruangan) yaitu sebesar 28° C dan kondisi lampu heater menyala karena sesuai dengan program pada arduino, ketika sensor suhu LM35 didekatkan dengan lampu heater dengan maksud menaikkan suhunya, ketika suhu yang dideteksi oleh LM35 lebih dari 40° C maka lampu heater akan mati. Disaat lampu mati maka jauhkan LM35 dengan lampu heater dengan tujuan menurunkan kembali suhunya, disaat mencapai suhu dibawah dari 40° C maka lampu heater akan hidup kembali.

Pemantauan suhu melalui arduino :

a. Ketika suhu naik

26

27

28

29

30

30

31

32

33

34

36

37

38

39

40

41 // Saat Lampu Mati

42

43

46

47

48

b. Ketika suhu turun

48

47

46

43

42

40

39 // Saat Lampu Menyala Kembali

38

37

35

34

33

32

31

30

29

28

27

27

26

Penugasan yang diberikan pada Job Sheet :

- a. Hitunglah tegangan PTC pada setiap perubahan suhu dengan hukum Ohm dan gambarkan grafik karakteristik hubungan suhu dan hambatan PTC.

Jawab: Perubahan yang perlu diingat bahwa skala resistansi PTC berbentuk dalam logaritmik dan resistansinya berubah mulai dari beberapa ratus ohm pada temperatur 75 °C dan beberapa ratus kilo ohm pada temperatur 150 °C. Disaat berada pada level tegangan tertentu, karakteristik arus dan tegangan PTC merupakan garis lurus dan mengikuti hukum ohm, tetapi begitu PTC dipanaskan dengan arus yang besar yaitu temperatur sudah sampai pada daerah *switching*, disini resistansi membesar. Rumus yang digunakan untuk menghitung tegangan PTC pada setiap perubahan suhu sama saja dengan perhitungan tegangan biasa yaitu  $V = IR$ , tetapi disini besar kecilnya nilai variabel I dan variabel R ditentukan langsung oleh perubahan suhu yang diterima oleh PTC, semakin tinggi suhu yang dideteksi oleh PTC maka nilai variabel R atau hambatan

akan semakin tinggi juga dan secara tidak langsung mempengaruhi nilai variable I atau kuat arusnya juga.

Berikut ini rumus PTC :

$$\Delta R = k\Delta T$$

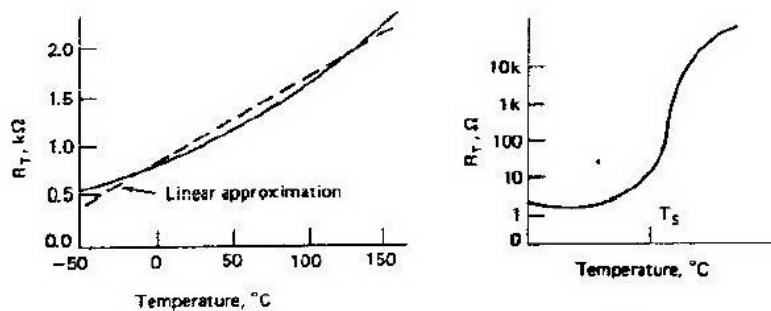
keterangan :

$\Delta R$  = Perubahan resistansi

$\Delta T$  = Perubahan Suhu

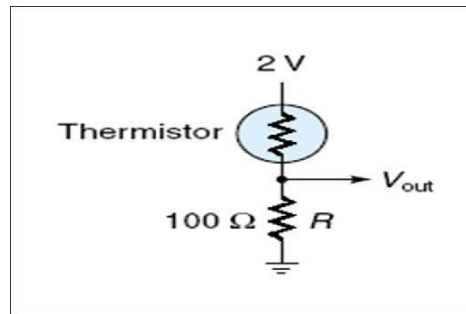
$k$  = Orde pertama koefisien suhu dari resistansi.

Grafik karakteristik hubungan suhu dan hambatan.



Gambar 17. Grafik Hubungan Suhu dan Hambatan PTC  
(Sumber : zoniaelektro.net)

Percobaan mengubah besar suhu yang dideteksi ke besaran tegangan menggunakan sensor temistor, Pada percobaan ini memakai thermistor yang memiliki kapasitas 50  $K\Omega$ , karena bila memakai thermistor dengan kapasitas ini bisa menggunakan rangkaian pembagi tegangan sebagai rangkaian pengolah sinyal, karena memiliki perubahan resistansi yang signifikan dan menghasilkan nilai tegangan yang besar, mudah dibaca jika terjadi perubahan suhu. Berikut ini adalah gambar pengolahan sinyal yang kami uji. Percobaan menggunakan supply sebesar 5V karena tegangan yang diharapkan maksimum bernilai sebesar 5V. Tingkat range tegangan yang diinginkan sebesar 0 - 5V sebagai output yang dihasilkan oleh thermistor ini.



Gambar 18. Rangkaian Uji Temistor Sebagai Pembagi Tegangan  
(Sumber : Desain Pribadi)

Dengan menggunakan rumus bisa digunakan untuk menghitung tegangan yang dihasilkan oleh thermistor. Pada percobaan yang dilakukan resistor yang akan digunakan adalah  $10\text{K } \Omega$ . Dalam percobaan ini bisa dihitung sensitivitas dari thermistor  $50\text{K } \Omega$  yang saya gunakan. Setelah dihitung didapatkan hasil sebesar  $\pm 0.042 \text{ V} / ^\circ\text{C}$ . Kita bisa menghitung perbandingan tegangan dengan suhu dengan menggunakan sensitivitas dari thermistor, atau bisa juga menggunakan perhitungan pembagi tegangan. Ternyata hasil yang didapat di dalam percobaan ini berbeda dengan teori contohnya adalah sensitivitas yang setelah melakukan percobaan bernilai  $\pm 0.042 \text{ V}/^\circ\text{C}$  sedangkan dengan teori memiliki nilai  $\pm 10\text{mV}/^\circ\text{C}$ . Percobaan berhasil karena terbukti bahwa sensor thermistor yang digunakan berjenis NPN, karena semakin bertambahnya suhu pada thermistor semakin berkurang juga nilai resistansi dari thermistor tersebut. Dengan menggunakan sensor ini kita bisa mengetahui perubahan suhu yang terjadi di udara maupun di air.

- b. Dari grafik karakteristik di atas, jelaskan apakah respons PTC *linear*? Bandingkan dengan satu jenis sensor suhu yang lain dan jelaskan masing-masing kelemahan dan kelebihan.

Jawab: Respon PTC terhadap hubungan resistansi terhadap karakteristik suhunya adalah *non-linear*. Dimana, semakin tinggi suhu yang dideteksi oleh sensor PTC, semakin tinggi juga hambatan pada PTC itu sendiri dan secara tidak langsung mempengaruhi arus yang akan mengalir. Penggunaan sensor thermistor PTC pada rangkaian pengatur temperatur atau suhu bisa dibilang kurang efektif dikarenakan beberapa faktor. Meskipun sensor thermistor PTC mempunyai tingkat respon terhadap suhu yang cepat dan efisien pada

rentang suhu yang kecil, tetapi sensor termistor PTC juga masih memiliki banyak kekurangan yakni tidak mampu menerima perubahan suhu yang sangat besar seperti

yang dibutuhkan motor tertentu, bentuk *output* yang dikeluarkan oleh PTC juga masih berbentuk *analog*. Jika dibandingkan dengan sensor suhu lainnya seperti *Resistance Temperature Detector* (RTD), RTD masih memiliki beberapa sifat yang mirip dengan thermistor, sama-sama memiliki resistansi yang bervariasi tergantung pada suhu yang dideteksinya. Perbedaan utama antara RTD dan PTC adalah jenis bahan yang digunakan untuk membuatnya. Thermistor biasanya dibuat dengan bahan keramik atau polimer, sedangkan RTD terbuat dari logam murni. Dalam hal kinerja, thermistor unggul pada hampir semua aspek. Thermistor juga lebih akurat, lebih murah, dan memiliki waktu respon lebih cepat daripada RTD. Satu-satunya kelemahan thermistor terhadap RTD adalah dalam hal kisaran suhu. RTD dapat mengukur suhu pada rentang yang lebih luas daripada thermistor. Selain itu, tidak ada alasan untuk menggunakan RTD dibandingkan dengan thermistor. *Resistance Thermal Detector* (RTD) perubahan tahanannya lebih *linear* terhadap temperatur uji tetapi koefisien lebih rendah dari termistor dan model matematis liniernya adalah :

$$R_T = R_0(1 + \alpha \Delta t)$$

Keterangan :

$R_0$  = tahanan konduktor pada temperatur awal (biasanya 0 °C).

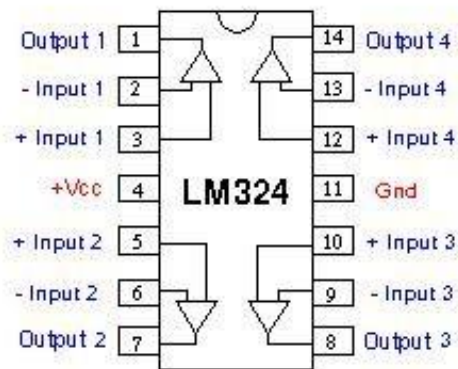
$R_T$  = tahanan konduktor pada temperatur  $t$  °C.

$\alpha$  = koefisien temperatur tahanan.

$\Delta t$  = selisih antara temperatur kerja dengan temperatur awal.

Penggunaan sensor thermistor akan lebih efektif jika memakai modul sensor DHT22. Cara sensor DHT22 mendeteksi suhu yaitu dengan cara menggunakan sensor thermistor yang terpasang dibagian permukaannya, output dari sensor DHT22 sudah berupa digital sehingga penggunaan pin analog tidak dibutuhkan lagi.

Sensor suhu yang bertipe IC masih ada beberapa seperti sensor suhu IC LM324 dan merupakan IC Operational Amplifier, IC ini mempunyai 4 buah op-amp yang berfungsi sebagai comparator. IC ini mempunyai tegangan kerja antara +5 V sampai +15V untuk +Vcc dan -5V sampai -15V untuk -Vcc. Adapun definisi dari masing-masing pin IC LM324 adalah sebagai berikut :



Gambar 19. Konstruksi IC LM324  
(Sumber : pinterest.com)

- a. Pin 1,7,8,14 (Output)  
Merupakan sinyal output.
- b. Pin 2,6,9,13 (Inverting Input)  
Semua sinyal input yang berada di pin ini akan mempunyai output yang berkebalikan dari input.
- c. Pin 3,5,10,12 (Non-inverting input)  
Semua sinyal input yang berada di pin ini akan mempunyai output yang sama dengan input (tidak berkebalikan).
- d. Pin 4 (+Vcc)  
Pin ini dapat beroperasi pada tegangan antara +5 Volt sampai +15 Volt.
- e. Pin 11 (-Vcc)  
Pin ini dapat beroperasi pada tegangan antara -5 Volt sampai -15 Volt.

Sensor suhu yang bertipe IC lainnya ada sensor suhu IC LM35, Sensor LM35 bekerja dengan mengubah besaran suhu menjadi besaran tegangan. Tegangan ideal yang keluar dari LM35 mempunyai perbandingan  $100^{\circ}\text{C}$  setara dengan 1 volt. Sensor ini mempunyai pemanasan diri (*self heating*) kurang dari  $0,1^{\circ}\text{C}$ , dapat dioperasikan dengan menggunakan *power supply* tunggal dan dapat dihubungkan antar muka (*interface*) rangkaian control yang sangat mudah. IC LM 35 sebagai sensor suhu yang teliti dan terkemas dalam bentuk *Integrated Circuit* (IC), dimana output tegangan keluaran sangat linear terhadap perubahan suhu. Sensor ini berfungsi sebagai penguah dari besaran fisis suhu ke besaran tegangan yang memiliki koefisien sebesar  $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  yang berarti bahwa kenaikan suhu  $1^{\circ}\text{C}$  maka akan terjadi kenaikan tegangan sebesar 10 mV. IC LM

35 ini tidak memerlukan pengkalibrasian atau penyetelan dari luar karena ketelitiannya sampai lebih kurang seperempat derajat celcius pada temperature ruang. Jangka sensor

mulai dari  $-55^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $150^{\circ}\text{C}$ , IC LM35 penggunaannya sangat mudah, difungsikan sebagai kontrol dari indikator tampilan catu daya terbelah. IC LM 35 dapat dialiri arus  $60\text{ }\mu\text{A}$  dari supplay sehingga panas yang ditimbulkan sendiri sangat rendah kurang dari  $0^{\circ}\text{C}$  di dalam suhu ruangan. Adapun karakteristik sensor LM35 yaitu :

- a. Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu  $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ , sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam *celcius*.
- b. Memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu  $0,5^{\circ}\text{C}$  pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$
- c. Memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara  $-55^{\circ}\text{C}$  sampai  $+150^{\circ}\text{C}$ .
- d. Bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt.
- e. Memiliki arus rendah yaitu kurang dari  $60\text{ }\mu\text{A}$ .
- f. Memiliki pemanasan sendiri yang rendah (*low-heating*) yaitu kurang dari  $0,1^{\circ}\text{C}$  pada udara diam.
- g. Memiliki impedansi keluaran yang rendah yaitu  $0,1\text{ W}$  untuk beban  $1\text{ mA}$ .
- h. Memiliki ketidaklinieran hanya sekitar  $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ .

Untuk mendeteksi suhu digunakan sebuah sensor suhu LM35 yang dapat dikalibrasikan langsung dalam  $^{\circ}\text{C}$  (*celcius*), LM35 ini difungsikan sebagai basic temperature sensor. Adapun keistimewaan dari IC LM 35 adalah :

- a. Kalibrasi dalam satuan derajat celcius.
- b. Linieritas  $+10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ .
- c. Akurasi  $0,5^{\circ}\text{C}$  pada suhu ruang.
- d. Range  $+2^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ .
- e. Dioperasikan pada catu daya  $4\text{ V} - 30\text{ V}$ .
- f. Arus yang mengalir kurang dari  $60\text{ }\mu\text{A}$

Kelebihan dan kelemahan sensor LM35 adalah :

Kelebihan :

- a. Rentang suhu yang jauh, antara  $-55$  sampai  $+150^{\circ}\text{C}$
- b. *Low self-heating*, sebesar  $0,08^{\circ}\text{C}$
- c. Beroperasi pada tegangan 4 sampai 30V
- d. Rangkaian tidak rumit

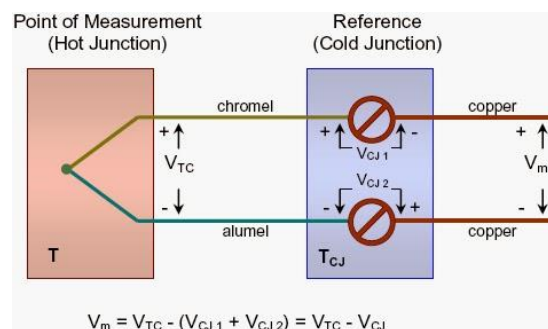


- e. Tidak memerlukan pengkondisian sinyal

Kekurangan :

Membutuhkan sumber tegangan untuk beroperasi

Selain itu ada juga sensor Thermokopel yang berfungsi sebagai sensor suhu rendah dan tinggi yaitu suhu serendah 300 °F sampai dengan suhu tinggi yang digunakan pada proses industri baja, gelas dan keramik yang lebih dari 3000°F. *Thermokopel* dibentuk dari dua buah penghantar yang berbeda jenisnya. Prinsip kerja dari *Thermokopel* yaitu jika salah satu bagian pangkal dipanasi, maka pada kedua ujung penghantar yang lain akan muncul beda potensial (*electro motive force*). Sebuah rangkaian termokopel sederhana dibentuk oleh 2 buah penghantar yang berbeda jenis yang dililit bersama-sama. Salah satu ujung T merupakan *measuring junction* dan ujung yang lain sebagai *reference junction*. *Reference junction* dijaga pada suhu konstan 32 °F (0 °C). Bila ujung T dipanasi hingga terjadi perbedaan suhu terhadap ujung Tr, maka pada kedua ujung penghantar besi dan konstantan pada pangkal Tr menimbulkan beda potensial (*electro motive force*) sehingga mengalir arus listrik pada rangkaian tersebut, ini yang disebut *efek Seebeck*



Gambar 20. Kontruksi pengukuran dengan Thermokopel  
(Sumber : <http://margionoabdil.blogspot.com>)

*Thermokopel* bekerja berdasarkan perbedaan pengukuran. Oleh karena itu jika digunakan untuk mengukur suhu yang tidak diketahui, terlebih dulu harus diketahui tegangan V<sub>c</sub> pada suhu referensi. Bila *thermokopel* digunakan untuk mengukur suhu yang tinggi maka akan muncul tegangan sebesar V<sub>h</sub>. Tegangan sesungguhnya adalah selisih antara V<sub>c</sub> dan V<sub>h</sub> yang disebut *net voltage* (V<sub>net</sub>). Besarnya V<sub>net</sub> ditentukan dengan rumus:

$$V_{net} = V_h - V_c$$

Keterangan :

$V_{net}$  = tegangan keluaran thermokopel (Volt).

$V_h$  = tegangan yang diukur pada suhu tinggi (Volt).

$V_c$  = tegangan referensi (Volt).

- f. Pada jangkauan suhu berapa pada lampu tetap menyala (antara lampu menyala, hidup dan menyala lagi). Jelaskan penerapan jangkauan suhu ini pada aplikasi praktis.

Jawab : Berdasarkan praktikum yang telah dilakukan pada laboratorium, pada rangkaian pengendali suhu melalui PTC sebagai sensor suhu dengan lampu heater sebagai simulator, awalnya lampu menyala pada rentang suhu ruangan  $28^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ , lampu mati pada suhu  $85^{\circ}\text{C}$  yang dikarenakan hambatan pada PTC yang tinggi sesuai dengan suhu yang dideteksinya. Kemudian lampu akan menyala kembali pada suhu  $63^{\circ}\text{C}$  seiring dengan mengecilnya nilai hambatannya, lalu PTC dipanaskan kembali dengan cara didekatkan dengan lampu heater, lampu kembali mati pada suhu  $83^{\circ}\text{C}$ . Beberapa contoh penerapan pada aplikasi praktis seperti thermostat atau bisa juga disebut thermometer digital, pengukur temperature oli bagi sebuah mobil agar bisa menghindari overheat, dalam peralatan rumah tanggapun bisa diaplikasikan pada oven, lemari es, *microwave*, dan juga kompor listrik sebagai sensor. Pengaplikasiannya juga dapat ditemukan pada baterai isi ulang, thermistor pada baterai berperan untuk memastikan suhu baterai ketika sedang dalam kondisi pengisian agar tetap berada pada suhu normal dan tidak melampauinya, kalau sampai melampaui baterai bisa meledak.

- g. Apakah pengaruh terhadap kerja rangkaian bila lampunya diperkuat dayanya dan bagaimana kalau dikurangi.

Jawab: Pengaruh yang akan terjadi terhadap kerja rangkaian apabila daya lampunya diperkuat yaitu akan membutuhkan suhu yang lebih besar dari sebelumnya untuk sampai pada kondisi lampu mati, begitu pula sebaliknya disaat daya lampunya diperlemah maka akan membutuhkan suhu yang lebih kecil dari sebelumnya untuk sampai pada kondisi lampu mati.

## Kesimpulan

Praktikum yang kami lakukan, diawali dengan pengujian rangkaian melalui pengukuran besaran listrik yang berkaitan dengan catu daya rangkaian pengendali suhu. Dalam praktikum ini, menggunakan beban yakni heater berupa lampu pijar dengan daya 60 W/220 V. Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan pengujian rangkaian pengendali suhu yang telah kami rakit sebelumnya. Pengujian sistem dilakukan dengan menguji cara kerja *Positive Temperature Coefficient* (PTC). Kondisi awal saat praktikum yakni sumber tegangan pada beban 220 V diubah menjadi tegangan DC dengan menggunakan transformator kemudian tegangan akan masuk pada dioda. PTC dihubungkan dengan TRIAC dan ketika saklar menyala *heater* berupa lampu pijar dengan daya 60 W/220 V akan menyala dengan suhu ruangan yang semakin lama akan semakin meningkat, arus pada *gate TRIAC* akan menghasilkan arus yang besar dan arus pada heater akan semakin menurun. Hal ini, menunjukkan bahwa rangkaian pengendali temperatur dengan menggunakan PTC bekerja sesuai dengan prinsip kerja PTC sebagai sensor suhu. Setelah dilakukan pengujian pertama saat rangkaian awal bekerja maka akan terjadi perubahan suhu yang sesuai dengan prinsip kerja PTC yakni semakin besar suhu yang diterima thermistor, maka nilai resistansi yang dikeluarkan akan semakin besar

Hasil pengujian rangkaian pengendali dengan menggunakan PTC pada saat lampu mati. Dengan kondisi lampu akan mati ketika mencapai suhu 85° C. Hal ini, menunjukkan bahwa PTC bekerja berdasarkan suhu. Ketika PTC telah memenuhi suhu tertentu maka PTC akan bekerja dan lampu akan mati. Namun, pada saat suhu berada pada 68° C arus gate dan arus beban akan kembali membesar.

Hasil pengujian rangkaian pengendali dengan menggunakan PTC pada saat lampu menyala lagi. Arus gate dan arus beban pada suhu 68 C mengalami peningkatan sesuai dengan prinsip kerja PTC. Ketika sensor suhu kembali normal maka saklar secara otomatis akan *ON* kembali. Suhu ruang dan arus gate akan mengalami perubahan secara bertahap. Namun, arus pada beban rendah dan konstan. Arus gate menunjukkan 25 mA, Tegangan pada A1-A2 120,5 V, tegangan pada A2-gate 0,9 V, dan tegangan pada PTC menunjukkan 6,49 V. Arus pada beban selama menyala lagi memiliki arus sebesar 2,8 A. Praktikum pengendali temperatur menggunakan *Positive Temperature Coefficient* (PTC) telah sesuai dengan teori PTC dimana setelah kondisi awal lampu menyala hingga mencapai suhu 68° C dengan arus gate mengalami perubahan, dan dengan arus beban tergolong tetap.

## Daftar Pustaka

- Nurhayati, dkk (2022), *Analisis Perbedaan Suhu dan Resistansi pada Termistor PTC dengan Menggunakan Media Dingin dan Media Panas*. UIN Ar-Raniry, Banda Aceh, diakses pada 19 September 2022
- Muhammad Rizky (2017), *Sistem Pengendalian Suhu Ruangan Dengan TRIAC dan Sensor Suhu*. Teknik Elektronika Politeknik Negeri Bandung, Bandung, diakses pada 19 September 2022
- Yulian Rizki (2019), *Pengendali Temperatur Dengan PTC*. Teknik Elektronika Universitas Negeri Yogyakarta, Sleman, diakses pada 19 September 2022
- Ibrahim, Drogan (2006). *Microcontroller Based Applied Control*. Cyprus , John Willey and Sons, Ltd. diakses pada 19 September 2022
- Merten, D (2016). *Pengaturan Suhu dan Kelembaban pada Kandang Ayam Tertutup Berbasis Sensor DHT11*. *Jurnal*. diakses pada 19 September 2022
- Ogata. K. (1996). *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta , PT Penerbit Erlangga, diakses pada 19 September 2022
- Abdul Kadir (2014), *Buku Pintar Pemrograman Arduino*, Penerbit. MediaKom, diakses pada 20 September 2022
- Aritra De. (2012). *Water Temperature Controller Using Microcontroller and Correction Using Fuzzy Logic*. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. Volume 2. diakses pada 20 September 2022
- Restu Pramuktio (2020). *Penggunaan PLC Dalam Pengontrolan Temperatur, Simulasi Pada Prototye Ruangan*, (Online),  
([https://www.academia.edu/36149899/PENGGUNAAN\\_PLC\\_DALAM\\_PENGONTROLAN\\_TEMPERATUR\\_SIMULASI\\_PADA\\_PROTOTYPE\\_RUANGAN](https://www.academia.edu/36149899/PENGGUNAAN_PLC_DALAM_PENGONTROLAN_TEMPERATUR_SIMULASI_PADA_PROTOTYPE_RUANGAN)), diakses pada 20 September 2022
- Arlina (2020). *Sistem Kendali Suhu Menggunakan Positive Temperatur Coefficient (PTC)* ,(Online),( [https://cedexlist.blogspot.com/2016/02/sistem-kendali-suhu-menggunakan\\_42.html](https://cedexlist.blogspot.com/2016/02/sistem-kendali-suhu-menggunakan_42.html)), diakses pada 20 September 2022
- Febrian, A. (2102). *Pengertian PTC*, (Online),  
(<http://optimussoftware.blogspot.com/2013/08/pengertian-ptc-dan-cara-kerja-ptc.html>), diakses pada 20 September 2022
- Dian, M. (2013). *Pengertian sensor suhu*, (Online), ([http://bit.ly/copy\\_win](http://bit.ly/copy_win),  
<http://komponenelektronika.biz/sensor-suhu.html>), diakses pada 20 September 2022

Abubakar, et al (2017), *Calibration of ZMPT101B Voltage Sensor Module Using Polynomial Regression For Accurate Load Monitoring*, Faculty of engineering University Teknologi Malaysia. diakses pada 20 September 2022

Blocher, Richard. (2004), *Dasar Elektronika*, Penerbit, Andi Offset Yogyakarta Wildwood Avenue, Woburn, MA 01801 2041, A Division of reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1999. diakses pada 20 September 2022

Yadda, Abdul Harris, *Thermistor sebagai sensor temperatur untuk transducer kadar air udara berbasis Psikrometri*, Puslit KIM-LIPI, 2009. diakses pada 20 September 2022

