

**RANCANG BANGUN ALAT UJI *RELAY THERMAL* TRAFO TENAGA  
BERBASIS *ARDUINO MEGA 2560* DAN SENSOR SUHU  
*THERMOCOUPLE TYPE K***

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Laporan Ini Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana (S1)  
Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Sultan Agung



**DISUSUN OLEH :**

**MUHAMMAD NURHUDA**

**30602200203**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG  
2024**

**FINAL PROJECT**  
**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A POWER TRANSFORMER**  
**THERMAL RELAY TEST EQUIPMENT BASED ON ARDUINO MEGA 2560**  
**AND TYPE K THERMOCOUPLE TEMPERATURE SENSOR**

*Proposed to complete the requirement of obtain a bachelor's degree (S1)*  
*at Majoring of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology*  
*Universitas Islam Sultan Agung*



**Arranged By :**

**MUHAMMAD NURHUDA**

**30602200203**

**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING**  
**FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY**  
**UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**  
**SEMARANG**  
**2024**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**RANCANG BANGUN ALAT UJI RELAY THERMAL TRAFU TENAGA BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DAN SENSOR SUHU THERMOCOUPLE TYPE K**” ini disusun oleh:

Nama : MUHAMMAD NURHUDA  
NIM : 30602200203  
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Rabu  
Tanggal : 28 Agustus 2024

Pembimbing



Dr. Ir. Muhammad Khosyi'in, ST., MT., IPM.,  
NIDN : 0625077901

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.  
NIDN : 0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**RANCANG BANGUN ALAT UJI RELAY THERMAL TRAFU TENAGA BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DAN SENSOR SUHU THERMOCOUPLE TYPE K**” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Rabu  
Tanggal : 28 Agustus 2024

**Tim Penguji**

**Tanda Tangan**

**Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Arttini Dwi P., M.Si.**  
**NIDN : 0620026501**  
Ketua



**Imam Much Ibnu Subroto, M. Sc., Ph.D.**  
**NIDN : 0613037301**  
Penguji 1



**Dr. Ir. Muhammad Khosyi'in, ST., MT., IPM.**  
**NIDN : 0625077901**  
Penguji II



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Nurhuda  
NIM : 30602200203  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“RANCANG BANGUN ALAT UJI RELAY THERMAL TRAF0 TENAGA BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DAN SENSOR SUHU THERMOCOUPLE TYPE K”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, Agustus 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Nurhuda

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Nurhuda  
NIM : 30602200203  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri  
Alamat Asal : Rangkasbitung Timur, Lebak, Banten

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN ALAT UJI *RELAY THERMAL* TRAFO TENAGA BERBASIS *ARDUINO MEGA 2560* DAN SENSOR SUHU *THERMOCOUPLE TYPE K*”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, Agustus 2024

Yang Menyatakan



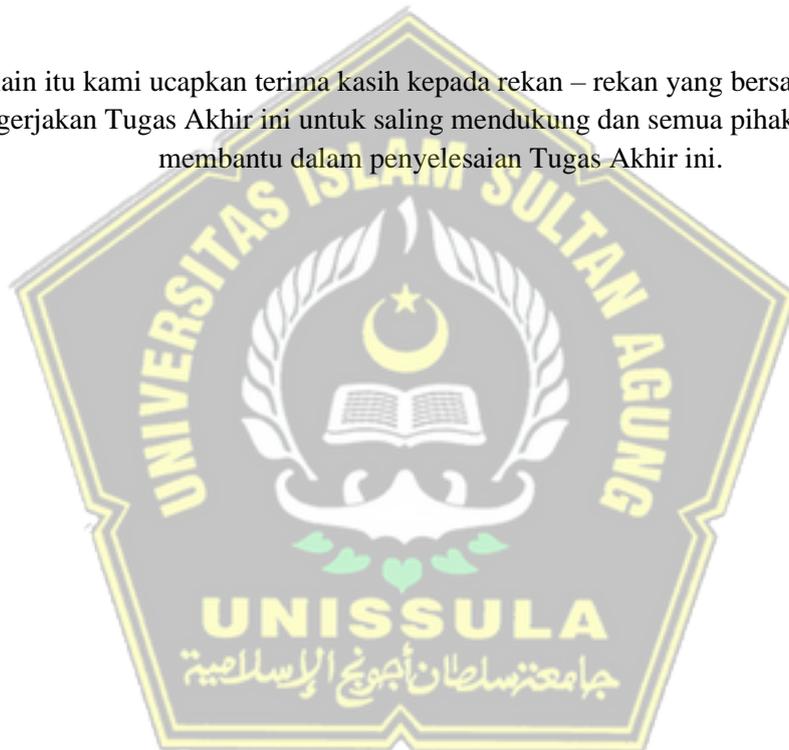
Muhammad Nurhuda

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur kepada Allah SWT atas segala Rahmat, Berkah dan Kasih sayangnya yang telah memberikan kesabaran, kesehatan dan kekuatan sehingga Tugas Akhir ini sebagai syarat untuk mendapatkan gelas Sarjana dapat diselesaikan.

Setelah mengucapkan Syukur kepada Allah SWT tak lupa juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu, Bapak, Istri dan Anak tercinta yang terus memberikan dukungan dan doa serta setia mendampingi.

Selain itu kami ucapkan terima kasih kepada rekan – rekan yang bersama – sama mengerjakan Tugas Akhir ini untuk saling mendukung dan semua pihak yang sudah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.



## HALAMAN MOTTO

"Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat." (Q.S. Al-Mujadalah ayat 11)

"Seungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri." (QS Ar -Rad 11)



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “**RANCANG BANGUN ALAT UJI RELAY THERMAL TRAFO TENAGA BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DAN SENSOR SUHU THERMOCOUPLE TYPPE K**” dalam rangka memenuhi tugas semester enam dan sebagai syarat kelulusan pendidikan diploma dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penyusunan Tugas Akhir ini, diantaranya :

1. Ibu Dr. Ir. Hj.Novi Marlyana, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khosyi'in, ST., MT., IPM., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Manajemen dan karyawan PT. PLN (Persero) UPT Cilegon yang telah membimbing dalam kegiatan penyusunan Tugas Akhir.
5. Ibu Kartina dan Bapak Slamet S.IP selaku kedua orang tua tercinta yang selalu memberikan dukungan selama proses perkuliahan dan penyusunan Tugas
6. Cheria Ayu Syafali dan Sarah Nur Faizah selaku istri dan anak tercinta yang selalu memberikan dukungan selama proses perkuliahan dan penyusunan Tugas Akhir.
7. Semua pihak yang telah membantu.

Semoga Allah SWT memberkahi dan membalas semua kebaikan yang telah dilakukan.

Semarang, Agustus 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LAPORAN TUGAS AKHIR</b> .....	i
<b>FINAL PROJECT</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	iv
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....	v
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	viii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>ABSTRAK</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Pembatasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> .....	6
2.1. Tinjauan Pustaka .....	6
2.2. Landasan Teori.....	8
2.2.1. Transformator Tenaga.....	8
2.2.2. Pengaruh Beban Terhadap Media Isolasi Transformator.....	9
2.2.3. Akurasi dan Presisi.....	12
2.2.4. Relay Thermal Trafo .....	12
2.2.5. Arduino Mega 2560 .....	15

2.2.6. Sensor Suhu <i>Thermocouple</i> .....	16
2.2.7. Power Supply .....	18
2.2.8. LM2596 DC to DC .....	19
2.2.9. Modul <i>Relay</i> .....	20
2.2.10. <i>Push Button</i> .....	21
2.2.11. <i>Pull Down Resistor</i> .....	23
2.2.12. <i>Thermal Printer</i> .....	24
2.2.13. <i>Keypad 4x4</i> .....	25
2.2.14. LCD 20 X 4.....	25
2.2.15. <i>Buzzer</i> .....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1. Gambaran Umum Sistem .....	28
3.2. Tahapan Penelitian .....	28
3.3. Perancangan Alat .....	31
3.3.1. Blok Diagram .....	31
3.3.2. <i>Flowchart</i> .....	33
3.3.3. Perancangan Perangkat Keras .....	38
3.3.4. Perancangan Perangkat Lunak .....	42
3.4. Pengujian Alat.....	45
<b>BAB IV DATA DAN ANALISA .....</b>	<b>47</b>
4.1. Hasil Perancangan Alat .....	47
4.2. Pengujian Alat.....	48
4.2.1. Pengujian Fungsi.....	48
4.2.2. Pengujian Sensor Suhu <i>Thermocouple Type K</i> .....	50
4.2.3. Pengujian Lapangan .....	53
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>56</b>
5.1. Kesimpulan .....	56
5.2. Saran.....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Kelas Toleransi Sensor Thermocouple Type K .....	15
<b>Tabel 3.1</b> Daftar Kebutuhan Komponen Elektronik.....	39
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil Pengujian Fungsi Komponen Secara Individu.....	49
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Pengujian Fungsi Alat Keseluruhan.....	49
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Pengujian Performa Alat.....	50
<b>Tabel 4.4</b> Spesifikasi Thermometer Acuan .....	51
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Perhitungan Nilai Akurasi.....	52
<b>Tabel 4.6</b> Spesifikasi Relay Thermal.....	53



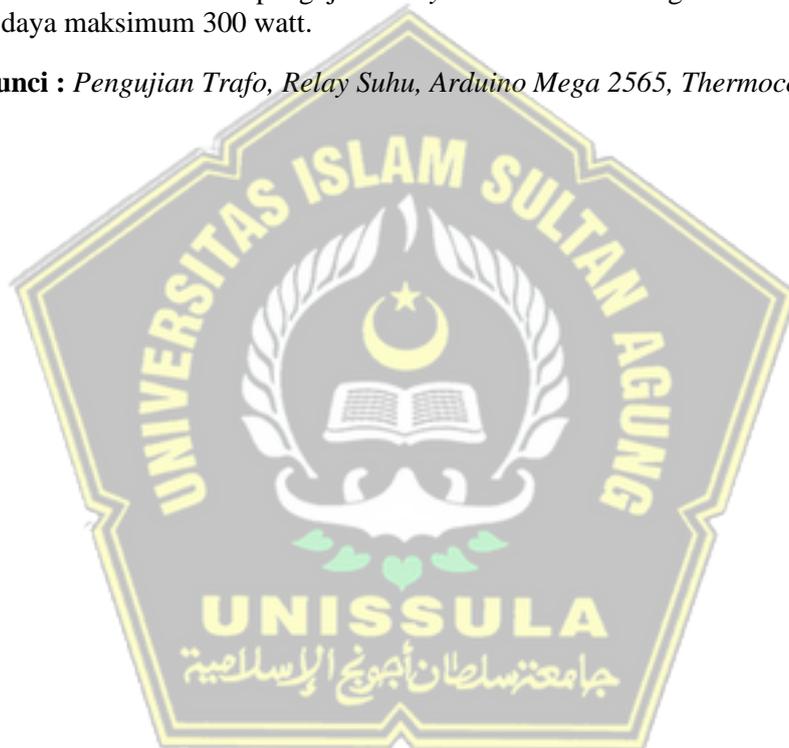
## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Prinsip Hukum Elektromagnetik .....	8
<b>Gambar 2.2</b> Trafo Tenaga.....	9
<b>Gambar 2.3</b> Media Isolasi Trafo Tenaga .....	11
<b>Gambar 2.4</b> Relay Suhu Trafo .....	13
<b>Gambar 2.5</b> Sensor Suhu Trafo .....	14
<b>Gambar 2.6</b> Grafik EMF Terhadap Temperatur Thermocouple Type K.....	15
<b>Gambar 2.7</b> Mapping Pin Arduino Mega 2560 .....	16
<b>Gambar 2.8</b> Prinsip Kerja Termokopel.....	17
<b>Gambar 2.9</b> Thermocouple Type K.....	18
<b>Gambar 2.10</b> Modul Power Supply .....	19
<b>Gambar 2.11</b> Modul Stepdown LM2596.....	20
<b>Gambar 2.12</b> Modul Relay .....	21
<b>Gambar 2.13</b> Prinsip Kerja Push Button .....	22
<b>Gambar 2.14</b> Push Button.....	22
<b>Gambar 2.15</b> Schematic Pull Down Resistor .....	23
<b>Gambar 2.16</b> Thermal Printer.....	24
<b>Gambar 2.17</b> Keypad 4X4.....	25
<b>Gambar 2.18</b> LCD 20 X 4 .....	26
<b>Gambar 2.19</b> Buzzer .....	27
<b>Gambar 3.1</b> Flowchart Tahap Penelitian .....	30
<b>Gambar 3.2</b> Blok Diagram Perancangan Sistem Secara Keseluruhan .....	31
<b>Gambar 3.3</b> Flowchart Uji Fungsi .....	34
<b>Gambar 3.4</b> Flowchart Uji Kalibrasi .....	38
<b>Gambar 3.5</b> Wiring Diagram Rancang Bangun Alat Uji Relay Thermal.....	40
<b>Gambar 3.6</b> Rancang Bangun Alat Uji Relay Thermal .....	42
<b>Gambar 3.7</b> Proses Instalasi Aplikasi Arduino IDE .....	43
<b>Gambar 3.8</b> Tampilan Awal Aplikasi Arduino IDE.....	43
<b>Gambar 3.9</b> Pemrograman Arduino IDE.....	44
<b>Gambar 3.10</b> Koneksi Interface Arduino IDE ke Arduino Mega 2560.....	44
<b>Gambar 3.11</b> Upload Program Arduino IDE ke Arduino Mega 2560.....	45
<b>Gambar 4.1</b> Tampilan Perancangan Elektrik Rancang Bangun Alat Uji Relay Thermal Trafo Tenaga.....	47
<b>Gambar 4.2</b> Tampilan Keseluruhan Rancang Bangun Alat Uji Relay Thermal Trafo Tenaga .....	48
<b>Gambar 4.3</b> Perbandingan Pembacaan Sensor Suhu dan Thermometer Acuan ..	51
<b>Gambar 4.4</b> Relay Thermal Trafo Tenaga.....	53
<b>Gambar 4.5</b> Proses Pengujian Lapangan .....	54
<b>Gambar 4.6</b> Print Out Hasil Pengujian Lapangan .....	54

## ABSTRAK

Pengujian *relay thermal* merupakan suatu kegiatan yang wajib dilakukan dalam pelaksanaan pemeliharaan trafo tenaga. Selama ini proses pengujian *relay thermal* pada trafo tenaga masih dilaksanakan dengan metode konvensional secara manual dikarenakan belum tersedia fasilitas alat uji *relay thermal* pada trafo tenaga. Rancang Bangun Alat Uji *Relay Thermal* Pada Trafo Tenaga Berbasis *Arduino Mega 2560* dan *Thermocouple Type K* dirancang untuk dapat melakukan pengujian *relay thermal* pada trafo tenaga secara otomatis. Alat ini dikendalikan oleh *Arduino Mega 2565* yang mendapat *input* pembacaan suhu dari sensor suhu *Thermokopel Type K* dan dibandingkan dengan pembacaan suhu *relay thermal* pada trafo yang diuji untuk mendapatkan hasil pengujian yang ditampilkan oleh *LCD 20X4* sebagai perangkat *interface* dan dicetak oleh *printer thermal*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan alat ini mempunyai tingkat akurasi mencapai 99,96% dan dapat digunakan untuk melakukan pengujian *relay thermal* trafo tenaga dalam waktu 47 menit dengan daya maksimum 300 watt.

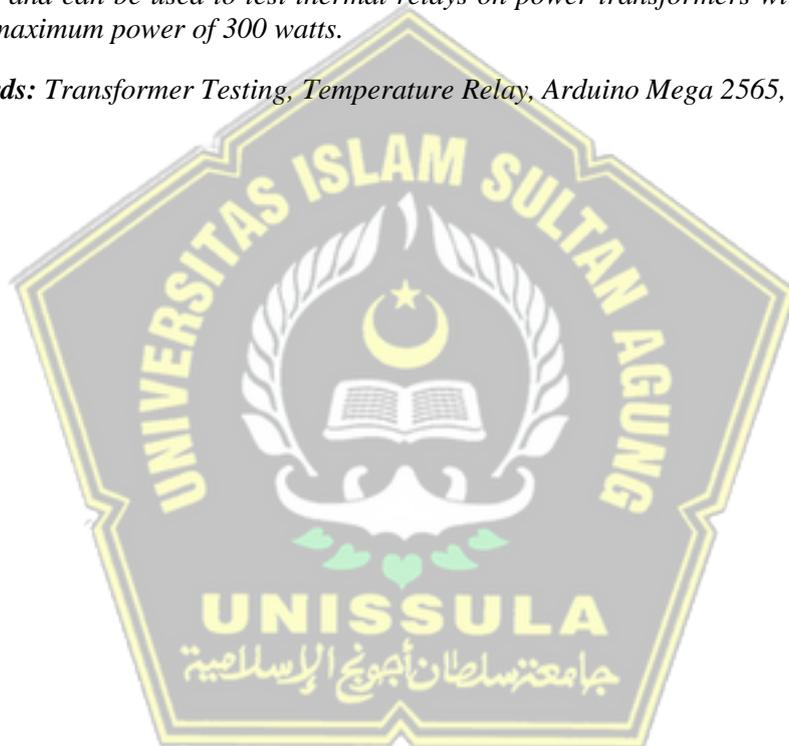
**Kata kunci :** *Pengujian Trafo, Relay Suhu, Arduino Mega 2565, Thermocouple.*



## **ABSTRACT**

*Thermal relay testing is an activity that must be carried out in the implementation of power transformer maintenance. So far, the process of testing thermal relays on power transformers is still carried out using conventional methods manually because there are no thermal relay test equipment facilities on power transformers. The Design and Construction of Thermal Relay Test Equipment on Power Transformers Based on Arduino Mega 2560 and Thermocouple Type K is designed to be able to test thermal relays on power transformers automatically. This tool is controlled by Arduino Mega 2565 which receives temperature reading input from the Thermocouple Type K temperature sensor and is compared with the temperature reading of the thermal relay on the transformer being tested to obtain test results displayed by the 20X4 LCD as an interface device and printed by a thermal printer. Based on the research conducted, this tool has an accuracy level of 99.96% and can be used to test thermal relays on power transformers within 47 minutes with a maximum power of 300 watts.*

**Keywords:** *Transformer Testing, Temperature Relay, Arduino Mega 2565, Thermocouple.*



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1.Latar Belakang

Sistem tenaga listrik sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia dalam segala sektor, oleh karena itu penyaluran tenaga listrik yang kontinu dan handal sangat diperlukan. Dalam sistem tenaga listrik mulai dari pembangkitan, transmisi dan pendistribusian tenaga listrik terdapat berbagai macam peralatan, salah satunya adalah transformator tenaga. Transformator tenaga berfungsi untuk mentransformasikan tegangan baik dari tinggi ke menengah atau sebaliknya yang kemudian disalurkan kepada konsumen sesuai dengan tingkatannya. Transformator tenaga merupakan peralatan yang menerapkan sistem yang cukup kompleks dengan biaya pengadaan dan perbaikan yang cukup tinggi. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi yang andal untuk menjaga keandalan sistem kinerja transformator. Terdapat banyak jenis sistem proteksi salah satunya adalah sistem proteksi dengan relay mekanik. *Relay thermal* merupakan salah satu *relay* mekanik yang berfungsi untuk memantau suhu minyak trafo, belitan primer, dan belitan sekunder. *Relay* ini merupakan *relay* yang cukup penting untuk mendukung sistem proteksi trafo karena dengan menggunakan *relay* ini petugas dapat memantau peningkatan suhu pada transformator [1].

Dengan menggunakan relay ini transformator dapat diatur untuk melakukan *trip* otomatis agar transformator tidak mengalami *overheat*. Suhu yang terlalu panas pada trafo tenaga dapat menyebabkan penurunan kualitas media isolasi yang dapat berpotensi mengakibatkan penurunan usia operasi trafo tenaga [2].

Berdasarkan rekaman gangguan pada tanggal 29 Oktober 2022 terjadi gangguan pada *Interbus Transformator 500 kV* unit 3 di GITET Cilegon Baru 500 kV akibat kesalahan kerja dari *relay thermal*, untuk itu diperlukan pembacaraan *relay thermal* yang akurat dan presisi guna menjaga kehandalan operasi trafo tenaga. Untuk menghindari terjadinya kesalahan kerja pada *relay*

*thermal* yang dapat mengakibatkan padamnya trafo tenaga sehingga beban konsumen tidak tersalurkan maka dilaksanakan pengujian *relay thermal* saat pemeliharaan rutin trafo tenaga. Pengujian *relay thermal* dilaksanakan untuk mengetahui tingkat kesalahan pembacaan pada *relay thermal* trafo tenaga. Pengujian *relay thermal* dilaksanakan dengan 2 (dua) metode yaitu uji fungsi dan uji kalibrasi [3]. Pengujian *relay thermal* trafo tenaga dilaksanakan dengan cara membandingkan pembacaan suhu pada *relay thermal* dengan pembacaan suhu pada alat uji [4].

Belum tersedianya alat uji secara resmi untuk melaksanakan pengujian *relay thermal* sehingga menyulitkan pada saat pelaksanaan pengujian *relay thermal*, selain itu hasil pengujian yang didapatkan bersifat subjektif karena bergantung kepada *feeling* pelaksana pengujian, hal ini dikarenakan metode pengujian yang dilaksanakan menggunakan metode konvensional dengan hanya membandingkan pembacaan *relay thermal* dengan *thermometer* acuan yang dimasukkan kedalam minyak yang dipanaskan menggunakan *heater* [3].

Oleh karena itu penulis berinovasi untuk membuat Rancang Bangun Alat Uji *Relay Thermal* Berbasis Mikrokontroler *Arduino Mega 2560* dan Sensor Suhu *Thermocouple Type K*. *Arduino mega 2560* adalah mikrokontroler sebuah board arduino yang menggunakan IC Mikrokontroler 2560. Board ini memiliki Pin I/O yang relatif banyak, 54 *digital Input / Output*, 15 buah di antaranya dapat digunakan sebagai *output PWM*, 16 buah *analog input*, 4 *UART (port serial)* [5]. Sensor *Thermocouple type K* merupakan alat pengukur suhu yang beroperasi berdasarkan prinsip termoelektrik. Kawat *thermocouple type K* suhu tinggi terdiri dari dua kabel logam yang berbeda, yaitu *Chromel* (paduan *Chromium-Nikel*) dan *Alumel* (paduan *Aluminium-Nikel*), yang dilas bersama untuk membentuk sambungan [6].

Dengan adanya alat ini diharapkan dapat lebih memaksimalkan dan menjamin keakuratan data pengujian *relay thermal* trafo tenaga untuk menunjang kehandalan operasi trafo tenaga.

## 1.2. Perumusan Masalah

*Relay thermal* pada transformator tenaga sangat penting untuk menjaga kehandalan penyaluran tenaga listrik. Tingkat akurasi dan presisi dari pembacaan *relay thermal* sebagai dasar dari fungsi kerja *relay thermal* sebagai proteksi internal transformator tenaga harus dipastikan secara rutin.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka didapatkan rumusan masalah antara lain sebagai berikut :

1. Bagaimana tingkat akurasi dan presisi dari sensor suhu *thermocouple type k* pada alat uji *relay thermal* ?
2. Bagaimana performa alat uji *relay thermal* berbasis *Arduino mega 2560* dan *thermocouple type k*?
3. Apakah alat uji *relay thermal* berbasis *Arduino mega 2560* dan *thermocouple type k* dapat meningkatkan efektifitas dalam pelaksanaan pengujian *relay thermal* trafo tenaga?

## 1.3. Pembatasan Masalah

Di dalam penulisan laporan tugas akhir ini, rancang bangun alat uji *relay thermal* trafo tenaga berbasis *arduino mega 2560* dan sensor suhu *thermocouple type k* yaitu mikrokontroler yang digunakan adalah *arduino mega 2560*, sensor suhu yang digunakan adalah *thermocouple type k*, standart yang digunakan dalam pengujian mengacu pada SKDIR PLN No 0520 tahun 2014, dan metode penelitian yang digunakan adalah metode komparasi yaitu membandingkan hasil pengujian atau pengukuran dari rancang bangun alat uji dengan *thermometer* standar.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan penelitian dan analisa data perhitungan tingkat akurasi dari pembacaan sensor suhu *thermocouple type k* pada alat uji *relay thermal*.
2. Melakukan penelitian dan pengujian performa alat uji *relay thermal* berbasis *Arduino mega 2560* dan *thermocouple type k*.
3. Melakukan pengujian alat uji pada trafo tenaga secara langsung untuk mengetahui tingkat efektifitas pengujian *relay thermal* menggunakan alat uji *relay thermal* berbasis *Arduino mega 2560* dan *thermocouple type k*.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mempermudah pelaksanaan pengujian *relay thermal* pada transformator tenaga.
2. Meningkatkan efisiensi waktu dan tenaga pelaksana dalam pelaksanaan pengujian *relay thermal* pada transformator tenaga.
3. Dapat memberikan hasil rancangan alat uji *relay thermal* menggunakan *Arduino Mega 2560* dan sensor suhu *Thermocouple type K* yang kedepannya dapat menjadi acuan dalam pengembangan alat uji serupa.
4. Meningkatkan inovasi dalam bidang *technical supporting* ketenagalistrikan.

#### 1.6. Sistematika Penulisan

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian serta tercantum sistematika dalam penulisan laporan tugas akhir.

##### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

Bab ini memuat tentang tinjauan pustaka dari penelitian serupa yang telah dilakukan terdahulu, sistem tenaga listrik, transformator tenaga, pengaruh pembebanan terhadap media isolasi tranformator, *relay thermal* sebagai

proteksi internal transformator tenaga serta komponen penyusun rancang bangun alat uji *relay thermal* trafo tenaga berbasis *arduino mega 2560* dan sensor suhu *thermocouple type k*.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang obyek penelitian, alat alat penelitian, data data penelitian, metode penelitian dan *flowchart*.

### **BAB IV DATA DAN ANALISA**

Bab ini membahas mengenai pembahasan hasil penelitian, yaitu data data hasil pengukuran atau pengujian dan analisa hasil dari pengukuran atau pengujian rancang bangun alat uji *relay thermal*.

### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dalam pengembangan penelitian ini.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini dilakukan tidak terlepas dari hasil penelitian – penelitian terdahulu yang pernah dilakukan sebagai bahan perbandingan dan kajian. Adapun hasil – hasil penelitian yang dijadikan perbandingan tidak terlepas dari topik penelitian yaitu mengenai pengujian *relay thermal* trafo tenaga berbasis mikrokontroler *arduino mega 2560* dan sensor suhu *thermocouple type k*.

Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh (Nur Sulistyawati, 2021) [4] dimana melakukan penelitian mengenai analisa hasil pengujian *relay thermal* pada trafo tenaga. Pengujian *relay thermal* dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan sensor suhu pada *relay thermal* trafo tenaga dengan pembacaan *thermometer* acuan dengan media minyak isolasi yang dipanaskan menggunakan *heater*. Hasil yang didapatkan menurut penulis baik karena tidak menunjukkan tingkat kesalahan (*error*) yang tinggi. Metode pengujian yang digunakan pada penelitian ini sama dengan metode yang akan digunakan pada rancang bangun pengujian *relay thermal* trafo tenaga berbasis mikrokontroler *arduino mega 2560* dan sensor suhu *thermocouple type k*, hanya saja pada penelitian ini pencatatan data masih dilakukan secara manual belum secara otomatis.

Menurut (B. Winardi, 2017) [7] dalam penelitiannya, penulis mensimulasikan proteksi *relay thermal* dengan memonitoring suhu transformator secara online. Simulasi ini menggunakan mikrokontroler *arduino mega 2560* dan sensor suhu *LM35*. Namun pada penelitian ini tidak dijelaskan mengenai pengujian *relay thermal* trafo tenaga. Penelitian ini menjadi referensi yang meyakinkan penulis bahwa sangat memungkinkan dalam membuat rancang bangun pengujian *relay thermal* trafo tenaga berbasis mikrokontroler *arduino mega 2560* dan sensor suhu *thermocouple type k*.

Menurut (C. Sulaeman & Kusnadi, 2019) [8] dalam penelitiannya mengenai kalibrasi sensor temperature dengan metode perbandingan dan simulasi ini menjelaskan mengenai metode kalibrasi sensor suhu PT100 dan *thermocouple* dengan mensimulasikan menggunakan air es dan air mendidih serta membandingkan pembacaan suhu menggunakan indikator *Digital Controller E5EK Omron*. Metode simulasi kalibrasi ini dapat diterapkan dalam penelitian penulis yang nantinya akan dikonversikan secara otomatis menggunakan logika pemrograman melalui mikrokontroler [9].

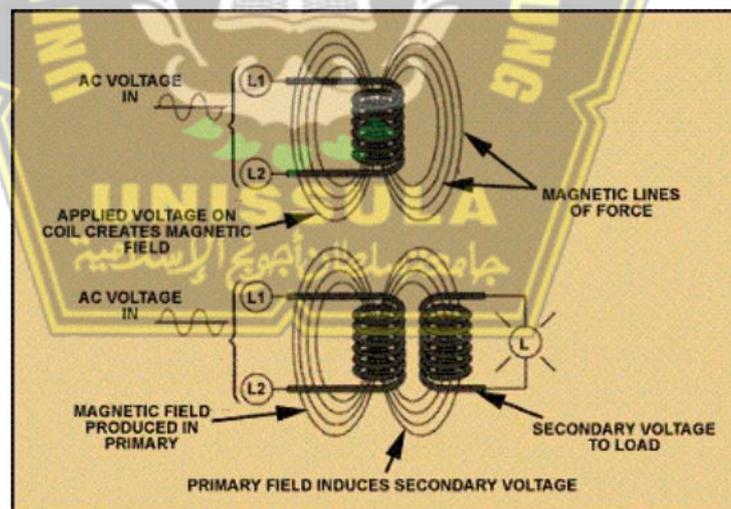
Menurut penelitian yang dilakukan oleh (M.A. Aryandana, 2021) [10]. Dalam penelitiannya membuat perancangan mengenai kalibrasi sensor suhu secara otomatis menggunakan sensor suhu *LM35*, *DHT11* dan *DHT22* menggunakan metode *Artificial Neural Network ANN*. Dari data yang didapatkan tersebut, digunakan metode ANN yang dapat mengurangi nilai error dari pembacaan sensor suhu terhadap nilai suhu aktual hingga didapatkan nilai prediksi suhunya. Dilakukan pula *tuning hyperparameter* untuk *epoch* dan *batch size* agar didapatkan nilai R2 terbaik.

Penelitian mengenai kalibrasi temperature juga dilakukan oleh (Firmansyah Azharul, Rahawati, Choiruddin & Wilarso, 2021) [11]. Dalam penelitiannya membuat rancang bangun alat kalibrasi pengukur suhu berbasis *temperature controller* yang digunakan untuk melakukan kalibrasi peralatan ukur temperatur secara otomatis. Perancangan alat kalibrasi ini menggunakan sensor suhu PT100 tipe K dan RTD (*Resistance Temperature Detector*) serta *heater* untuk memanaskan media pengujian yang digunakan untuk kalibrasi. Metode kalibrasi yang digunakan yaitu dengan cara membandingkan pembacaan suhu dengan suhu media yang telah dipanaskan pada temperatur tertentu lalu kemudian di catat dan dianalisa Tingkat deviasinya.

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. Transformator Tenaga

Salah satu komponen utama dalam suatu sistem tenaga listrik dari pembangkitan sampai kepada konsumen adalah transformator, yang berfungsi sebagai penyesuai terhadap tegangan beban. Trafo merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC 60076 -1 tahun 2011) [3]. Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi. Gambar 2.1 merupakan gambar prinsip hukum elektromagnetik.



**Gambar 2.1** Prinsip Hukum Elektromagnetik

Arus AC yang mengalir pada belitan primer membangkitkan flux magnet yang mengalir melalui inti besi yang terdapat diantara dua belitan, flux magnet tersebut menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial / tegangan induksi

Trafo tenaga merupakan peralatan yang sangat penting dalam kontinuitas penyaluran sistem tenaga listrik sehingga diperlukan suatu pengamanan atau proteksi untuk menjaga kehandalan trafo tenaga. Berdasarkan jenisnya sistem pengamanan atau proteksi pada trafo tenaga terbagi menjadi 2 (dua) yaitu proteksi elektris dan proteksi mekanik. Proteksi elektris terdiri dari *differential relay*, *over current relay*, *restricted earth fault* dan *ground fault relay* [1]. Sedangkan proteksi mekanik terdiri dari *relay bucholz*, *relay jansen*, *relay sudden pressure* dan *relay thermal* [1]. Gambar 2.2 merupakan gambar dari trafo tenaga yang terdapat pada gardu induk :



**Gambar 2.2** Trafo Tenaga

### **2.2.2. Pengaruh Beban Terhadap Media Isolasi Transformator**

Transformator dengan media isolasi minyak yang digunakan di Indonesia dirancang berdasarkan standar IEC (*International Electrotechnical Commission*), (Publikasi IEC 354, yang ditetapkan menjadi standar PLN (SPLN 17 A:1979) menerangkan bahwa trafo tenaga

dirancang untuk dibebani kontinu selama 24 jam pada suhu sekitar 20 °C [3]. Nilai-nilai tersebut menjamin trafo tidak mengalami kenaikan susut-umur (tetap sesuai perancangan), karena akan menyebabkan suhu titik-panas pada belitan mencapai 98 °C, (110 °C untuk standar IEEE,1999).

Dengan kondisi iklim tropis di Indonesia yang memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan dengan suhu sekitar efektif 30 °C, maka standar tersebut tidak sesuai lagi. Pengoperasian trafo pada suhu sekitar lebih dari 30 °C akan mengakibatkan kenaikan susut-umur yang lebih besar dari susut umur normalnya, sehingga terjadi penuaan yang lebih cepat pada isolasi belitan trafo.

Proses penuaan suatu trafo disebabkan oleh banyak hal dan berbagai kompleksitasnya seperti panas, listrik, kimia dan mekanik. Namun berdasarkan hasil survey penelitian yang telah dilakukan oleh *Marius-C.Popescu*, 2009, bahwa penyebab utama kerusakan pada trafo daya adalah akibat dari kegagalan isolasi dan dinyatakan sebesar 48% [12].

Peningkatan beban trafo tenaga akan meningkatkan suhu pada belitan dan minyak isolasi, sehingga beban di atas batas perancangan menimbulkan Risiko bagi trafo tenaga. Salah satu Risiko jika trafo tenaga ada pada kondisi beban tinggi adalah suhu belitan dan isolasi juga meningkat sebanding dengan kenaikan beban sehingga mengakibatkan menurunnya umur media isolasi trafo tenaga [2]. Salah satu media isolasi pada trafo tenaga adalah kertas isolasi yang digunakan pada belitan, umur kertas isolasi ini didasarkan pada suhu, kadar air, dan kadar oksigen dari waktu ke waktu. Penggunaan minyak untuk meminimalkan dampak kelembaban dan oksigen pada umur isolasi. Panas yang timbul pada belitan maupun inti trafo pada saat trafo dibebani tidak boleh berlebihan karena dapat merusak dan menurunkan kualitas kertas isolasi sehingga nilai tahanan isolasi belitan menurun. Gambar 2.3 merupakan gambar dari media isolasi trafo tenaga berupa kertas isolasi pada belitan trafo tenaga.



**Gambar 2.3** Media Isolasi Trafo Tenaga

Untuk mengatasi agar panas yang ditimbulkan akibat tingginya beban trafo tidak berlebihan maka digunakan media pendingin belitan pada trafo. Salah satu media pendingin belitan adalah minyak, minyak pendingin trafo juga berfungsi sebagai isolator. Selain itu pendinginan trafo juga terjadi dengan beberapa metode. Trafo tenaga dilengkapi dengan peralatan proteksi untuk melindungi dari gangguan serta peralatan bantu untuk menunjang operasi trafo tenaga tersebut diantaranya adalah peralatan pendingin yang berfungsi untuk menjaga suhu operasi trafo tenaga tersebut agar tetap pada suhu operasi yang optimal sehingga dapat menjaga kualitas dan umur dari media isolasi trafo tenaga [3].

Peralatan pendingin trafo tenaga terkoneksi dengan peralatan proteksi internal trafo tenaga yaitu berupa *relay* suhu. Jika suhu trafo tenaga sudah mencapai titik tertentu maka media pendingin akan bekerja untuk menjaga suhu trafo tenaga agar tidak melonjak terlalu tinggi. Dalam hal ini diperlukan keakuratan dalam pembacaan *relay* suhu agar tidak terjadi malfungsi yang dapat berakibat fatal. Oleh karena itu diperlukan pengujian pada *relay* suhu pada saat pemeliharaan trafo tenaga untuk memastikan kinerja *relay* suhu trafo masih baik atau tidak.

### 2.2.3. Akurasi dan Presisi

Nilai akurasi menggambarkan seberapa akurat system dapat mengklasifikasikan data secara benar. Artinya, kurasi adalah perbandingan antara data yang terklasifikasi benar dengan keseluruhan data [13]. Presisi adalah ukuran yang menunjukkan derajat kesesuaian antara hasil uji individual, diukur melalui penyebaran hasil individual dan rata – rata jika prosedur diterapkan secara berulang pada sampel – sampel yang diambil dari campuran yang homogen. Presisi menunjukkan Tingkat keakuratan di antara individual hasil uji dalam suatu pengujian. Presisi dapat dinyatakan sebagai *repeatability* (keterulangan) atau *reproducibility* (ketertiruan) [13].

Perhitungan nilai akurasi dan kesalahan dapat dilakukan dengan metode *MAPE*. *MAPE* (*Mean Absolute Percent Error*) merupakan perhitungan yang digunakan untuk menghitung rata-rata persentase kesalahan mutlak [14]. Perhitungan nilai akurasi dilakukan dengan formulasi pada persamaan 2.1 dan 2.2.

$$\text{Persentase Error} = \frac{|\text{Nilai terukur} - \text{Nilai yang diharapkan}|}{\text{Nilai yang diharapkan}} \times 100\% \quad (2.1)$$

$$\text{Persentase Akurasi} = (100\% - \text{Persentase Error}) \quad (2.2)$$

### 2.2.4. Relay Thermal Trafo

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, *losses* pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo. Untuk mengetahui suhu operasi dan indikasi ketidaknormalan suhu operasi pada trafo digunakan *relay* suhu. [1]

*Relay thermal* atau *relay* suhu pada transformator tenaga bekerja untuk mengamankan transformator tenaga dari suhu operasi yang terlalu tinggi atau abnormal [3]. *Relay* suhu pada transformator tenaga mempunyai *setting* suhu tertentu untuk memberikan perintah mendinginkan

transformator, alarm dan memutus transformator (*trip*). Pada suhu 75 °C *relay* akan memberi perintah untuk menoperasikan kipas pendingin (*fan*), pada suhu 90 °C *relay* akan memberi perintah untuk memberi alarm peringatan bahwa suhu operasi transformator mulai menunjukkan gejala abnormal, dan pada suhu 105 °C *relay* akan memberi perintah untuk memutuskan (*trip*) transformator tenaga [1]. Dengan demikian *relay* suhu bekerja mengamankan transformator tenaga agar tidak mengalami *breakdown*. Gambar 2.4 merupakan gambar bagian – bagian dari *relay* suhu pada transformator tenaga :



**Gambar 2.4** *Relay* Suhu Trafo

Pada gambar 2.4 ditunjukkan bagian-bagian *relay thermal*, antara lain sebagai berikut : [3]

1. Sensor suhu jenis *thermocouple*, berfungsi sebagai pengukur suhu.
2. Pipa kapiler, merupakan bagian dari sensor suhu yang berisi air raksa.
3. Skala meter, berfungsi sebagai nilai dan satuan dari pengukuran.
4. Jarum putih, berfungsi sebagai penunjukan suhu yang terukur
5. Jarum merah, berfungsi sebagai penunjukan suhu maksimal.
6. Piringan cakram, berfungsi sebagai pengatur setting *relay* suhu.
7. Terminasi kabel, berfungsi sebagai keluaran kontak dari *relay* suhu.
8. Tutup *relay* suhu, berfungsi sebagai pelindung *relay* suhu.
9. Packing, berfungsi sebagai pelindung dari rembesan air serta benda.

Jenis *relay* suhu pada transformator ada 3 (tiga) macam yaitu [3]:

1. *Oil Temperature Indicator*
2. *Winding HV Temperature Indicator*
3. *Winding LV Temperature Indicator*

Sensor suhu yang digunakan pada rangkaian *relay* suhu adalah sensor suhu jenis termokopel type K. Gambar 2.5 merupakan gambar dari sensor suhu jenis termokopel type K pada transformator tenaga :



**Gambar 2.5** Sensor Suhu Trafo

Berikut merupakan spesifikasi *thermocouple type* yang digunakan pada *relay* suhu transformator tenaga [15]:

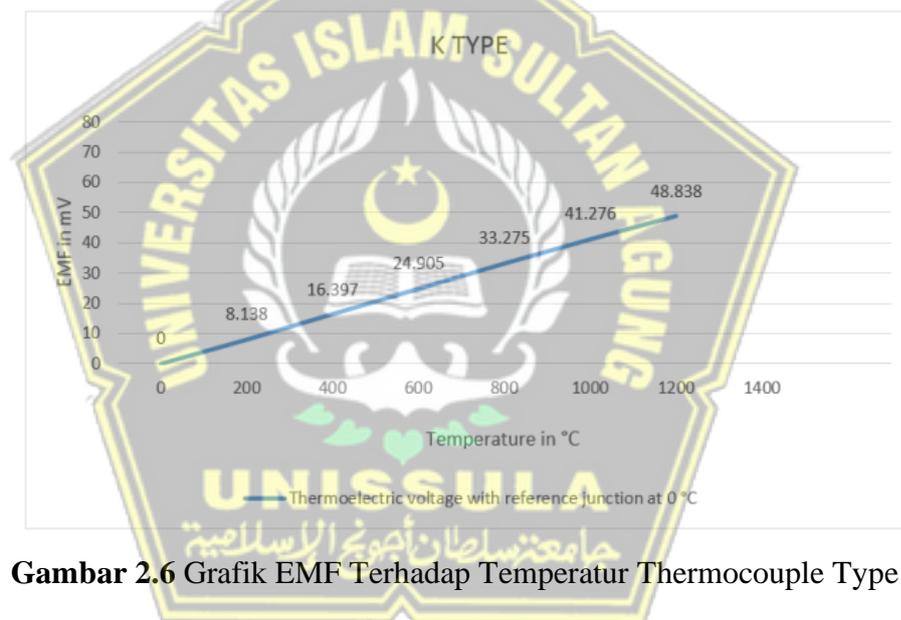
- a. Bahan Logam Konduktor Positif : Nickel-Chromium
- b. Bahan Logam Konduktor Negatif : Nickel-Aluminium
- c. Rentang Suhu :  $-270^{\circ}\text{C} - 1260^{\circ}\text{C}$
- d. Standar akurasi  $\pm 2,2^{\circ}\text{C}$  or  $\pm 0,75\%$

Tabel 2.1 merupakan table kelas toleransi dari *thermocouple type* yang digunakan pada *relay* suhu transformator tenaga [15].

**Tabel 2.1** Kelas Toleransi Sensor Thermocouple Type K

Type	Temperature Range (°C)				Tolerance Class	
	Continuous		Short-term		One	Two
	Low	High	Low	High		
K	0	+1100	-180	+1300	-40 – 375 : ±1,5 375 – 1000 : ±0,000 x T	-40 – 333 : ±2,5 333 – 1200 : ±0,0075 x T

Gambar 2.6 merupakan grafik EMF terhadap temperatur dari *thermocouple type k* yang digunakan pada *relay* suhu transformator tenaga [15].



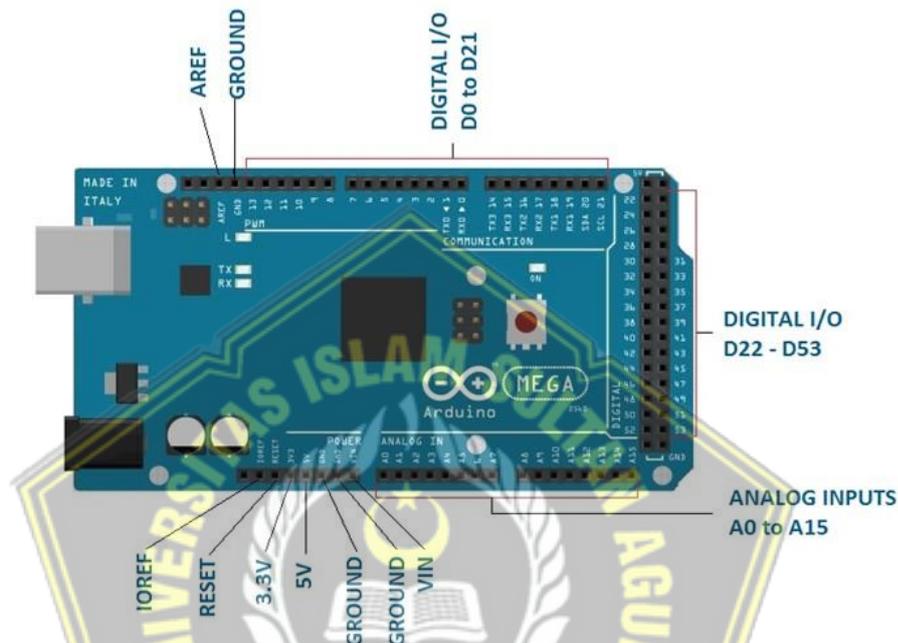
**Gambar 2.6** Grafik EMF Terhadap Temperatur Thermocouple Type K

### 2.2.5. Arduino Mega 2560

*Arduino* adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler [5].

Mikrokontroler sendiri merupakan sebuah komputer yang berukuran mikro dalam satu chip *IC (integrated circuit)* yang terdiri dari *processor*, *memory*, dan antarmuka yang bisa diprogram. Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kontrol yang mengatur *input*, proses, dan *output* sebuah rangkaian elektronik.

Papan *Arduino* dapat bekerja dengan rentang sumber tegangan yang direkomendasikan agar *Arduino* dapat beroperasi dengan optimal adalah 7 sampai 12 V. Gambar 2.7 merupakan gambar pembagian pin pada *Arduino Mega 2560* :



Gambar 2.7 Mapping Pin *Arduino Mega 2560*

Pemrograman *Arduino Mega 2560* dapat dilakukan menggunakan aplikasi IDE (*Integrated Development Environment*) yang merupakan *software open source* dari *Arduino*. *Software* ini berfungsi untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner, dan meng-*upload* ke dalam memori mikrokontroler [5]. *Arduino Mega 2560* dipilih karena mempunyai pin i/o digital sejumlah 54 pin yang sesuai dengan kebutuhan sistem.

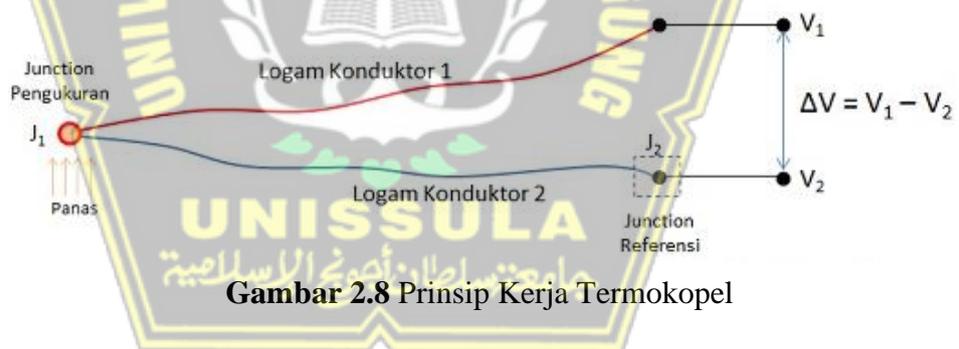
### 2.2.6. Sensor Suhu *Thermocouple*

Termokopel (*Thermocouple*) adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan

efek “*Thermo-electric*”. Beberapa kelebihan Termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara  $-200^{\circ}\text{C}$  hingga  $2000^{\circ}\text{C}$  [6]. Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, Termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan.

Prinsip kerja termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas.

Untuk lebih jelas mengenai Prinsip Kerja Termokopel, mari kita melihat gambar 2.8.

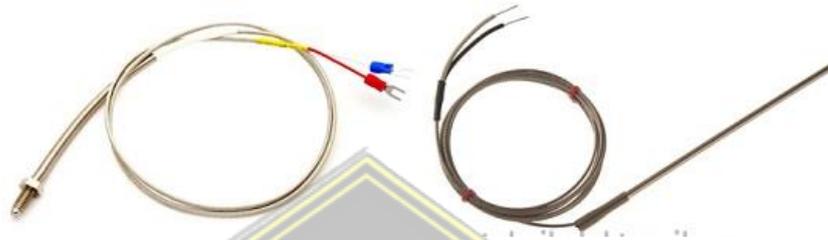


**Gambar 2.8** Prinsip Kerja Termokopel

Berdasarkan gambar 2.8, ketika kedua persimpangan atau Junction memiliki suhu yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah “NOL” atau  $V_1 = V_2$ . Akan tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau  $V_1 - V_2$ . Tegangan Listrik yang ditimbulkan ini pada umumnya sekitar  $1\ \mu\text{V} - 70\ \mu\text{V}$  pada tiap derajat Celcius. Tegangan tersebut

kemudian dikonversikan sesuai dengan Tabel referensi yang telah ditetapkan.

Gambar 2.9 merupakan sensor *thermocouple type k* yang digunakan pada alat :



**Gambar 2.9** *Thermocouple Type K*

Berikut merupakan spesifikasi *thermocouple type k*:

- a. Bahan Logam Konduktor Positif : Nickel-Chromium
- b. Bahan Logam Konduktor Negatif : Nickel-Aluminium
- c. Rentang Suhu :  $0^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$
- d. Standar akurasi  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$

### 2.2.7. Power Supply

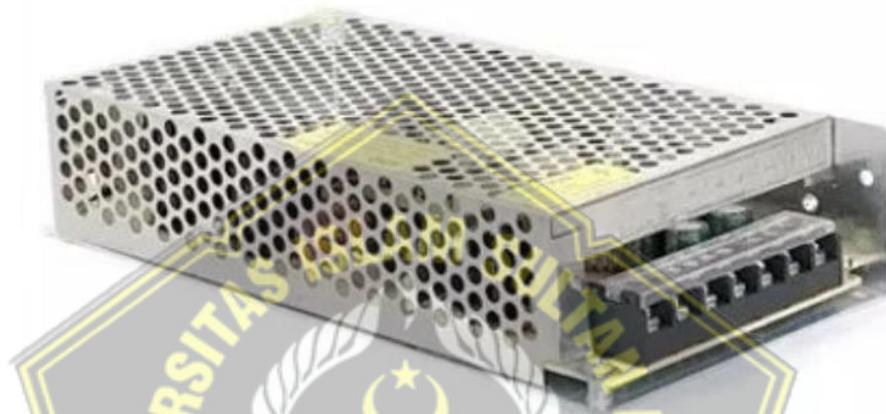
*Power supply* atau catu daya merupakan suatu rangkaian elektronik yang mengubah arus listrik bolak-balik AC menjadi arus listrik searah DC [16]. Catu daya menjadi bagian yang penting dalam elektronika yang berfungsi sebagai sumber tenaga listrik misalnya pada baterai atau accu. Catu daya (*Power Supply*) juga dapat digunakan sebagai perangkat yang memasok listrik energi untuk satu atau lebih beban listrik.

*Power supply* terdiri atas dua jenis yaitu *power supply* linier dan *power supply switching*. *Power supply linier* berarti tegangan luaran akan mengalir secara kontinyu ke beban. Sementara *power supply switching* merupakan *power supply* yang dibangun berdasarkan teknik pensaklaran sehingga tegangan yang mengalir ke beban tidak sama per sekian detik.

Sebenarnya istilah *linier* dan *switching* berasal dari jenis regulator yang dipakai pada *power supply*.

*Power supply* yang digunakan adalah *power supply linier* dengan tegangan keluaran 12 Volt DC dan arus maksimal 10 A.

Gambar 2.10 merupakan gambar dari modul *power supply* yang digunakan dalam perancangan alat ini :



**Gambar 2.10** Modul Power Supply

#### **2.2.8. LM2596 DC to DC**

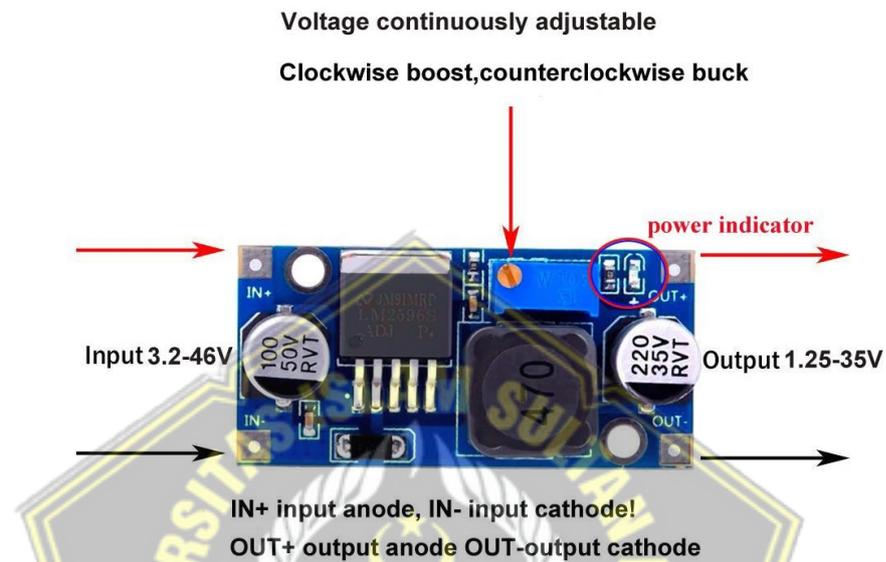
Modul LM2596 adalah modul yang sangat praktis digunakan untuk mengkonversi atau menurunkan tegangan DC dari catu daya sumber menjadi tegangan keluaran DC yang lebih rendah dan dapat diatur sesuai kebutuhan [17].

Dalam perancangan alat ini digunakan modul LM2596 untuk menurunkan tegangan *output* dari *power supply* sebesar 12 VDC menjadi 9 VDC untuk kemudian digunakan sebagai *supply* peralatan elektronika yang membutuhkan tegangan kerja sebesar 9 VDC.

Berikut merupakan spesifikasi dari modul *stepdown* LM2596 :

- a. Tegangan input : DC 3V-40V
- b. Tegangan output : DC 1.5V-35V
- c. Arus maksimal : 3A
- d. Ukuran Board : 42mm x 20mm x 14mm

Gambar 2.11 merupakan gambar dari modul LM2596 yang digunakan pada alat.



Gambar 2.11 Modul Stepdown LM2596

### 2.2.9. Modul Relay

Modul *relay* merupakan modul yang digunakan untuk menyambung dan memutus aliran arus listrik, modul *relay* mempunyai dua buah fungsi yaitu *normally open* dan *normally close* [18].

Relay tersusun dari empat komponen dasar, yaitu elektromagnet (*coil*), *armature*, *switch contact point* (saklar), dan *spring*. Kontak poin terbagi lagi menjadi dua jenis, antara lain adalah:

- a. *Normally Close* (NC): Kondisi awal sebelum diaktifkan, akan selalu berada di posisi close (tertutup).
- b. *Normally Open* (NO): Kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi open (terbuka).

Untuk cara kerja relay, besi atau *iron core* dililit oleh kumparan *coil*. Ketika kumparan *coil* dialiri arus listrik, maka akan muncul gaya elektromagnetik yang bisa menarik tuas *armature*, sehingga posisi kontak *switch* berubah, dari NC (*normally closed*) menjadi NO (*normally open*) [19].

Dalam perancangan alat ini menggunakan modul *relay* dengan 4 *channel* yang bekerja jika mendapat *trigger* berupa tegangan sebesar 5 VDC dan mampu bekerja dengan kapasitas arus sebesar 10 A.

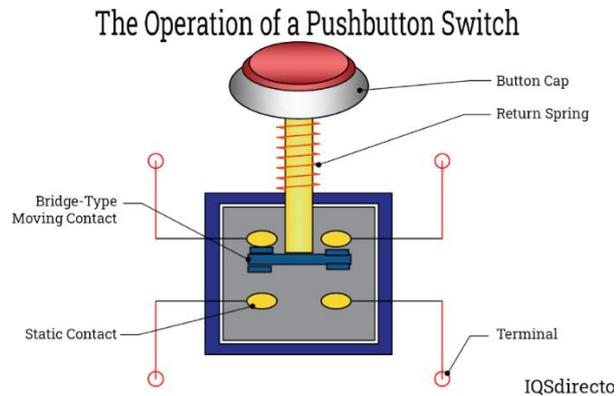
Gambar 2.12 merupakan gambar dari modul *relay* 4 *channel* yang digunakan pada alat.



Gambar 2.12 Modul Relay

### 2.2.10. Push Button

*Push button* merupakan komponen elektronika yang bekerja dengan cara ditekan. *Push button* berfungsi sebagai saklar untuk menghubungkan atau memutus arus listrik [18]. *Push button* sendiri memiliki fungsi *on* dan *off*. Karena cara kerjanya, *pushbutton* merupakan salah satu komponen penting pada sistem kontrol terutama digunakan sebagai *trigger input* pada sistem. Gambar 2.13 merupakan gambar prinsip kerja *push button*.



**Gambar 2.13** Prinsip Kerja *Push Button*

Ada beberapa jenis Push button, diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. PTM (push to make) switch atau NOPB (normally – open push – button) Push button jenis ini bekerja apabila tombol ditekan maka akan menutup sirkuit.
- b. PTB (push to break) switch atay NCPB (normally – close push – button) Push button jenis ini bekerja apabila tombol ditekan, maka akan membuka sirkuit. Jika tekanan dilepaskan atau terjadi tekanan berikutnya, maka akan menormalkan kembali tombol ke posisi semula dan sirkuit kembali ke status semula.

Gambar 2.14 merupakan gambar dari *push button* yang digunakan pada alat.

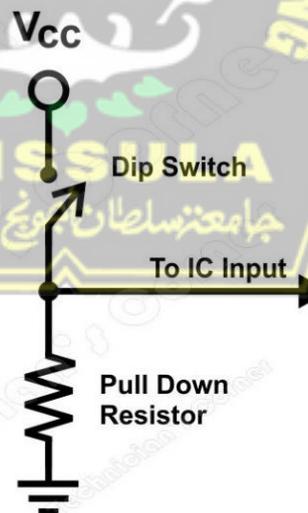


**Gambar 2.14** *Push Button*

### 2.2.11. Pull Down Resistor

Dalam rangkaian digital dikenal sinyal “*high*” dan “*low*” atau “1” dan “0”. Pada umumnya rangkaian digital memiliki sumber tegangan (VCC) sebesar 5 volt atau 3,3 volt. Pada rangkaian digital 5 volt sinyal “*high*” adalah 5 volt dan sinyal “*low*” adalah 0 volt, sedangkan pada rangkaian digital 3,3 volt sinyal “*high*” adalah 3,3 volt dan sinyal “*low*” adalah 0 volt. Tentunya sinyal “*high*” tidak harus persis 5 volt atau 3,3 volt, tergantung dari toleransi rangkaian dan IC (*Integrated Circuit*) yang digunakan. Pada suatu rangkaian digital, ketika menggunakan suatu *switch*, *push button*, sebagai data input ke mikrokontroler terkadang terjadi masalah nilai tidak terbaca. Nilai input tersebut mengambang (*float state*) antara *high* dan *low*. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat digunakan resistor *pull-up* atau *pull-down* [20].

Resistor *pull down* digunakan untuk mengatasi *floating* pada kondisi *low*. Perhatikan rangkaian *pull down* resistor pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Schematic Pull Down Resistor

Pada rangkaian diatas saat switch button ditekan pin input akan membaca *high* dan pin input akan membaca *low* saat *switch button* dilepas [20].

Pilihan antara *pull up* atau *pull down* tergantung pada rangkaian yang ingin ditambahkan. Pada rangkaian diatas untuk mengatasi *floating* harus ditambahkan *pull down*.

#### 2.2.12. *Thermal Printer*

*Thermal printer* 58mm adalah *printer* yg sangat kecil, *portable*, berukuran mini & cocok sbagai aksesories tambahan seperti *Arduino*, *Raspberry Pi* & lainnya. *Thermal printer* ini berfungsi seperti pada *printer* biasanya yaitu dapat mencetak karakter huruf, angka dan *barcode*.

Cara kerja *printer thermal* yaitu dengan cara memanaskan kertas *thermal* menggunakan elemen pemanas yang terdapat pada kepala *printer*. Ketika kertas *thermal* dipanaskan, *pigmen* yang terdapat pada kertas tersebut akan meleleh dan menempel pada kertas, membentuk gambar atau teks. Kertas *thermal* ini tersedia dalam bentuk gulungan, sehingga *printer* dapat mencetak gambar atau teks secara terus-menerus tanpa harus mengganti kertas.

Gambar 2.16 merupakan gambar dari *printer thermal* yang digunakan dalam perancangan alat.



**Gambar 2.16** *Thermal Printer*

### 2.2.13. Keypad 4x4

*Keypad* 4×4 merupakan sebuah komponen berisi tombol-tombol dan disusun secara matriks yang berfungsi sebagai inputan kedalam suatu sistem tertentu [21]. Implementasi keypad ini sering kita jumpai, misalnya pada mesin ATM, pom bensin, meteran listrik dan masih banyak lainnya. *Keypad* ini berisi tombol berupa angka, huruf dan karakter. Gambar 2.17 merupakan gambar *keypad* yang digunakan pada alat.



Gambar 2.17 Keypad 4X4

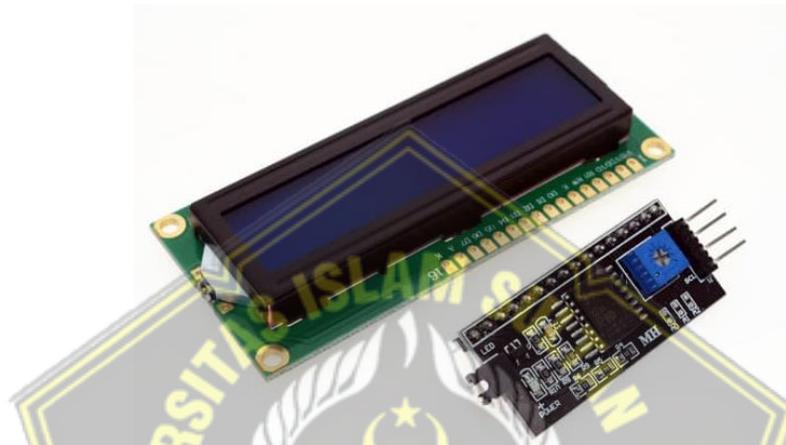
### 2.2.14. LCD 20 X 4

Display elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. LCD ( *Liquid Crystal Display* ) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat menggunakan teknologi CMOS logic yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD ini berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka, ataupun grafik [21].

Prinsip kerja LCD 20 X 4 adalah dengan menggunakan lapisan film yang berisi kristal cair dan diletakkan di antara dua lempeng kaca yang telah dipasang elektroda logam transparan. Saat tegangan dicatukan pada

beberapa pasang elektroda, molekul-molekul kristal cair akan menyusun agar cahaya yang mengenainya akan diserap. Dari hasil penyerapan cahaya tersebut akan terbentuk huruf, angka, atau gambar sesuai bagian yang diaktifkan [21].

Gambar 2.18 merupakan gambar dari LCD 20 X 4 yang digunakan dalam perancangan alat :



**Gambar 2.18** LCD 20 X 4

Prinsip kerja LCD 20 X 4 adalah dengan menggunakan lapisan film yang berisi kristal cair dan diletakkan di antara dua lempeng kaca yang telah dipasang elektroda logam transparan. Saat tegangan dicatukan pada beberapa pasang elektroda, molekul-molekul kristal cair akan menyusun agar cahaya yang mengenainya akan diserap. Dari hasil penyerapan cahaya tersebut akan terbentuk huruf, angka, atau gambar sesuai bagian yang diaktifkan.

#### **2.2.15. Buzzer**

*Piezoelektrik buzzer* adalah sebuah komponen elektronika yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik atau sebaliknya berdasarkan efek *piezoelektrik*. *Piezoelektrik* yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi getaran suara (bunyi) disebut juga dengan *piezoelektrik buzzer* [21].

*Buzzer* memiliki prinsip dasar seperti *loud speaker*. Jadi, *buzzer* terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma dan kemudian kumparan tersebut dialiri arus sehingga menjadi electromagnet.

Kumparan tersebut akan tertarik ke luar atau ke dalam, tergantung pada arah arus dan juga polaritas magnet, dikarenakan kumparan dipasang pada diafragma maka setiap gerakan kumparan akan menggerakkan diafragma juga secara bolak-balik. Sehingga menjadikan udara bergetar dan menghasilkan suara.

Gambar 2.19 merupakan gambar dari *buzzer* yang digunakan dalam perancangan alat :



Gambar 2.19 *Buzzer*

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Gambaran Umum Sistem**

Pada penelitian kali ini, pembuatan pemuatan suatu rancang bangun alat uji berbasis mikrokontroler guna memastikan kesesuaian dan kelayakan dari proteksi mekanik trafo tenaga yaitu *relay thermal*. Dengan tujuan adanya alat ini yaitu dapat memudahkan pelaksana pengujian di lapangan karena cara pengoperasiannya yang mudah dan berbasis otomasi serta dilengkapi dengan display LCD dan juga *print out* hasil pengujian yang sudah disertakan analisa kesimpulan kondisi *relay thermal* trafo tenaga berdasarkan hasil pengujian. Alat ini diaplikasikan pada saat pelaksanaan pemeliharaan trafo tenaga yang mana dapat menambah efektifitas pelaksanaan pengujian terutama dalam sisi waktu pelaksanaan dan jumlah petugas pelaksana pengujian. Metode penelitian yang di susun pada bab ini diantaranya adalah desain penelitian, sumber data penelitian, perancangan alat dan pengujian alat.

#### **3.2. Tahapan Penelitian**

Pada sub bab ini dibahas mengenai tahapan alur penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan tahapan penelitian yang dilakukan :

1. Studi Literatur

Tahap studi literatur adalah tahap dimana dilakukannya pencarian informasi yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan melalui sumber berupa buku, jurnal, karya tulis ilmiah dan juga skripsi tugas akhir atau penelitian yang sesuai dengan topik permasalahan pembuatan rancang bangun alat uji *relay thermal* pada trafo tenaga berbasis mikrokontroler.

2. Penentuan Tujuan Penelitian

Penentuan tujuan penelitian dilakukan untuk mengetahui arah dalam pelaksanaan penelitian dan juga laporan hasil penelitian.

### 3. Perancangan Alat

Perancangan alat dilakukan untuk menentukan desain sistem keseluruhan dari alat dimulai dari perancangan perangkat keras yaitu menentukan komponen elektronika yang akan digunakan dengan membuat blok diagram. Kemudian perancangan perangkat lunak yaitu menentukan alur kerja dari alat yang dibuat dengan pembuatan *flowchart* yang kemudian dituangkan dalam bahasa pemrograman mikrokontroler.

### 4. Pembuatan Alat

Pada tahapan kali ini dilakukan pengimplementasian dari perancangan alat yang akan dibuat, mulai dari perakitan perangkat keras kemudian penyusunan program perangkat lunak hingga menjadi alat rancang bangun alat uji *relay thermal* pada trafo tenaga berbasis mikrokontroler sesuai dengan yang telah dirancang.

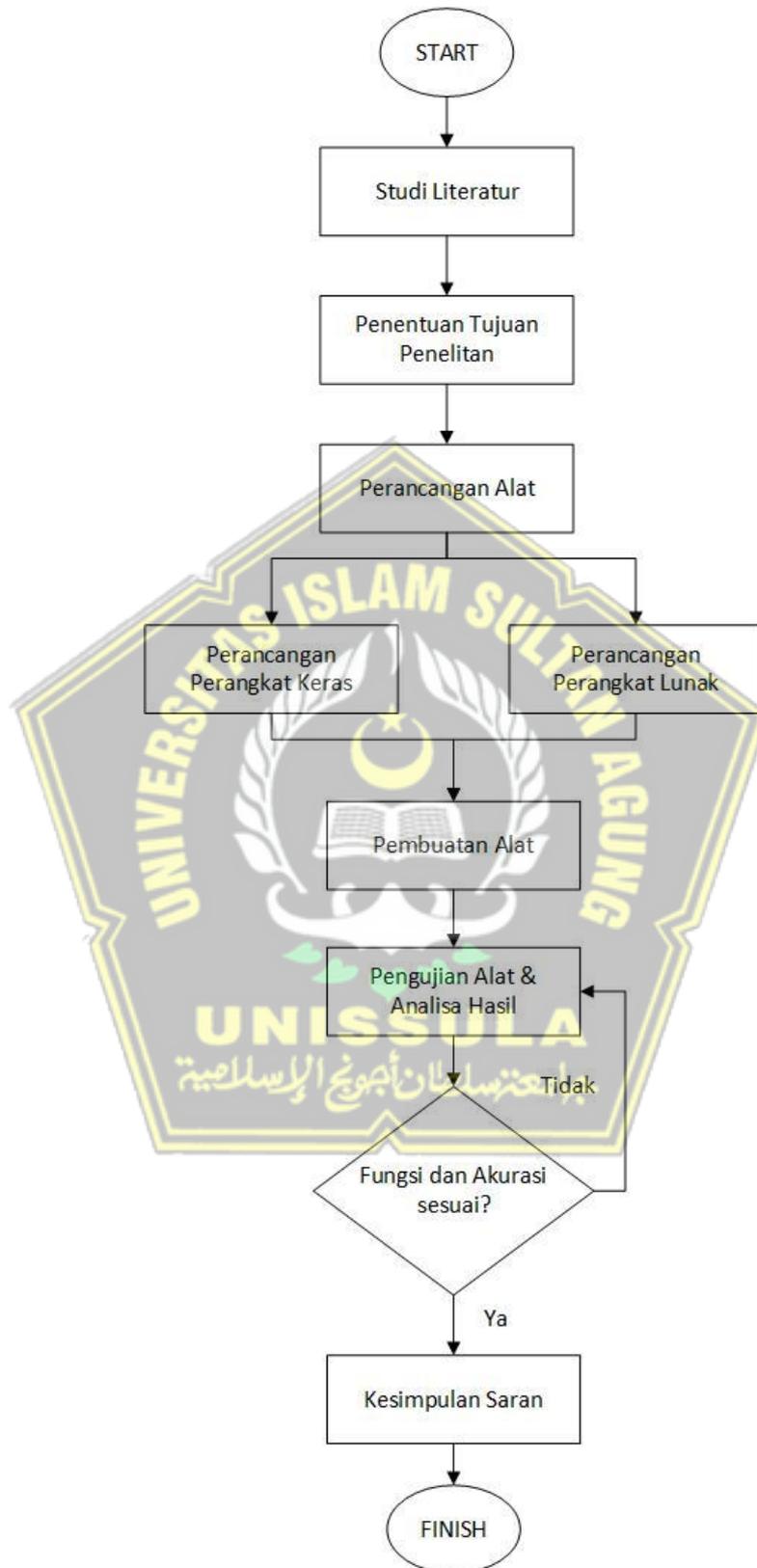
### 5. Pengujian Alat & Analisa Hasil

Pada tahapan kali ini, dilakukan proses uji coba pada alat rancang bangun alat uji *relay thermal* pada trafo tenaga berbasis mikrokontroler yang telah dibuat. Pengujian dilakukan untuk memastikan kesesuaian fungsi dari perancangan sistem serta untuk mengetahui nilai eror dan juga nilai akurasi dari alat yang telah dibuat.

### 6. Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan akhir kali ini, dimana dilakukan penarikan kesimpulan dari proses dan analisa hasil penelitian, kemudian memberikan saran agar penelitian dapat lebih berkembang dan menjadi lebih baik lagi.

Untuk mempermudah dalam memahami langkah – langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini, maka prosedur penelitian ini disajikan dalam bentuk flowchat pada gambar 3.1.



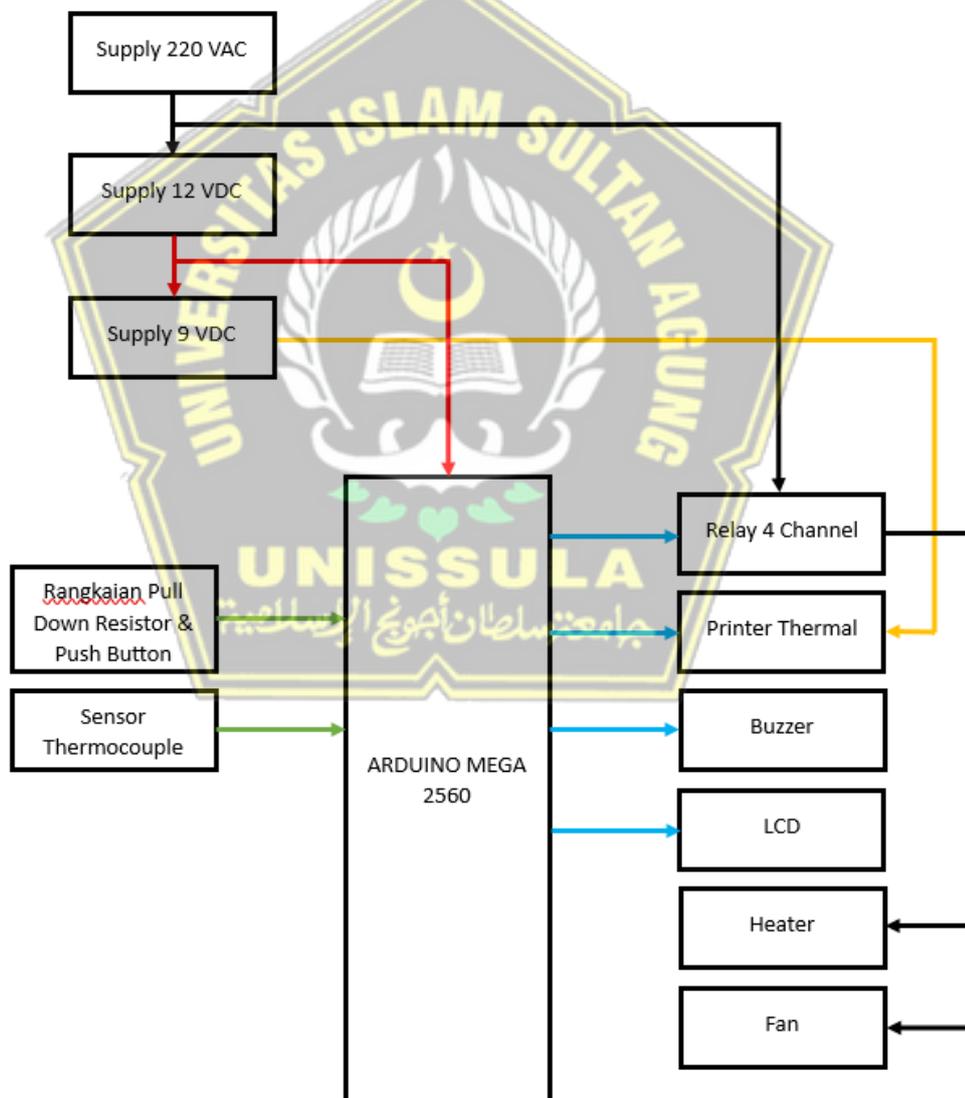
**Gambar 3.1** *Flowchart Tahap Penelitian*

### 3.3. Perancangan Alat

Dalam tahap perancangan alat, penulis mulai merancang dimulai dari pembuatan perangkat keras hingga memprogram mikrokontroler atau perangkat lunak yang akan digunakan pada penelitian rancang bangun alat uji *relay thermal* pada trafo tenaga.

#### 3.3.1. Blok Diagram

Perancangan sistem ini menggunakan beberapa perangkat elektronika yang dirangkai sesuai dengan blok diagram pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Blok Diagram Perancangan Sistem Secara Keseluruhan

Setiap perangkat elektronika yang digunakan dalam perancangan sesuai blok digram pada gambar 3.2 tentunya mempunyai fungsi dan spesifikasi yang telah sesuai dengan kebutuhan alat, berikut beberapa perangkat elektronika yang digunakan :

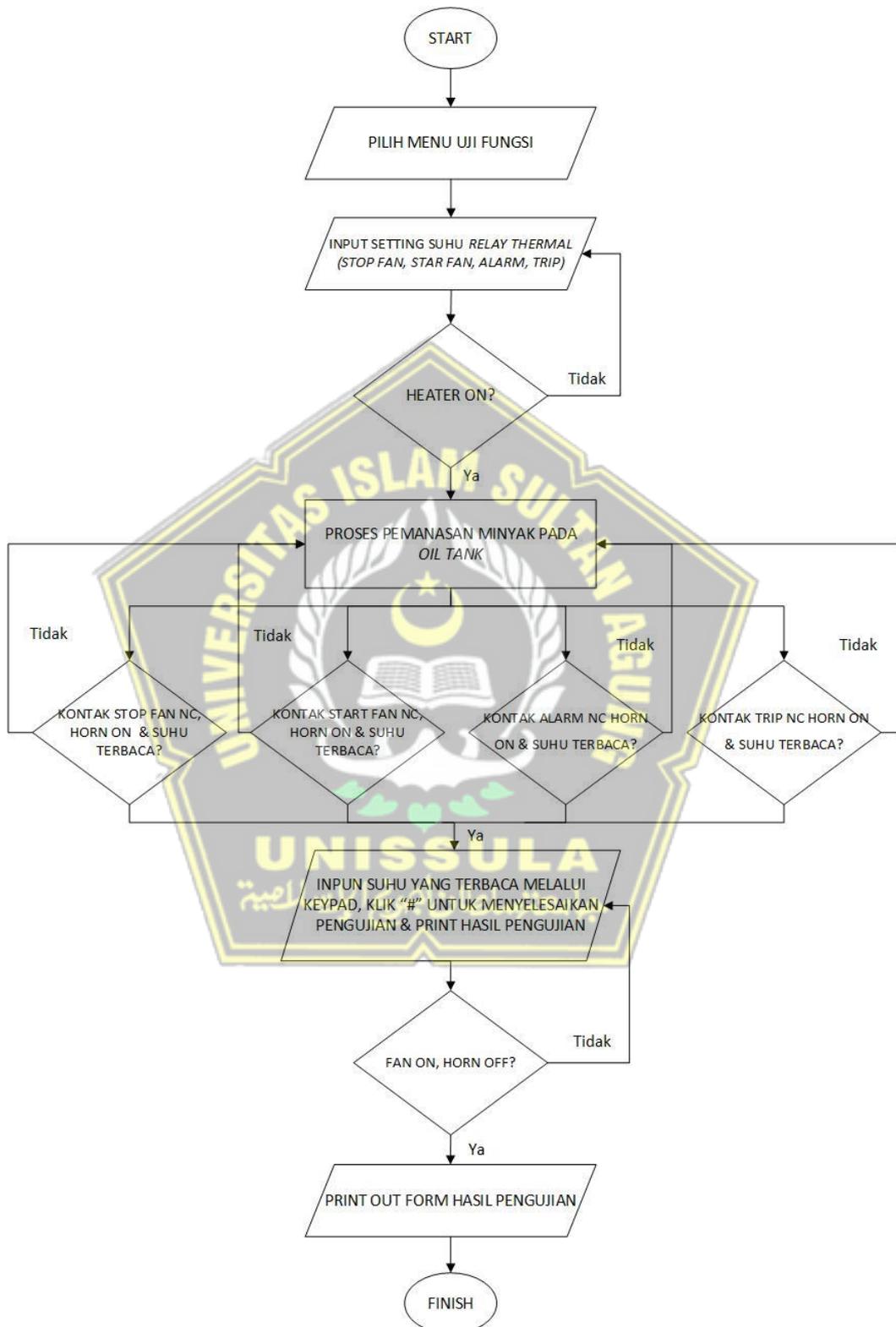
1. Mikrokontroler *Arduino Mega 2560* berfungsi sebagai pusat pengendali utama dari sistem alat uji ini yang mengontrol semua *input* dan *output* dari alat ini. *Arduino Mega 2560* mempunyai pin I/O digital sejumlah 54 buah, pin digital PWM sejumlah 15 buah dan pin analog sejumlah 16 buah serta mempunyai tegangan I/O sebesar 5 VDC hal ini tentunya sangat sesuai dengan kebutuhan alat yang menggunakan banyak perangkat sehingga membutuhkan banyak pin I/O yang digunakan serta tegangan I/O yang umum digunakan untuk beberapa perangkat elektronika lainnya.
2. Sensor suhu *thermocouple type K* berfungsi sebagai perangkat *input* pada alat ini. Sensor suhu *thermocouple type K* digunakan sebagai alat ukur temperatur acuan yang digunakan untuk pembandingan terhadap hasil pengukuran temperatur pada *relay thermal transformer* tenaga. Sensor suhu *thermocouple type K* digunakan pada alat ini karena sesuai dengan tipe sensor yang digunakan pada *relay thermal transformer* yang akan diuji. Sensor ini juga sangat cocok digunakan pada media *liquid* atau cair yang mana pada alat ini digunakan minyak sebagai media pengukuran temperatur.
3. Modul *relay 4 channel* berfungsi untuk mengontrol *on/off heater, fan dan pilot lamp*. *Relay* bekerja dengan *supply 5 VDC* dan mendapat perintah logika *high / low* dari *Arduino Mega 2560*.
4. *Keypad* dan *push button* sebagai perangkat untuk *input* data dan memberi perintah. *Keypad* yang digunakan adalah *keypad 4X4* yang membutuhkan 8 pin *digital input* pada *Arduino* untuk 16 tombol. *Push button* yang digunakan menggunakan rangkaian *pulldown resistor* untuk mencegah *floating* pada *input* yang diterima *Arduino*, *push button* yang terpasang sebanyak 3 buah yang digunakan untuk *on/off fan, heater, dan reset*.

5. *Heater* sebagai perangkat pemanas minyak yang digunakan untuk media pengujian. *Heater* yang digunakan memerlukan *supply* 220 VAC.
6. *Fan* atau kipas sebagai perangkat untuk pendingin minyak sebagai media pengujian. *Fan* yang digunakan memerlukan *supply* 220 VAC.
7. *LCD* 20 X 4 sebagai perangkat *interface* untuk menampilkan menu pengujian dan data hasil pengujian. *LCD* 20 X 4 digunakan karena dapat menampilkan karakter yang cukup banyak yaitu sejumlah 80 karakter. Hal ini tentunya sesuai dengan kebutuhan alat yang akan menampilkan banyak data.
8. *Printer thermal* sebagai perangkat untuk mencetak *output* berupa form hasil pengujian. *Printer thermal* memerlukan *supply* 9 VDC yang di dapatkan dari hasil konversi tegangan DC oleh modul *stepdown Dc to DC LM2596*.
9. *Buzzer* sebagai *annunciator* yang memberikan tanda bahwa pengujian telah selesai. *Buzzer* bekerja dengan mendapat *trigger* tegangan 5 VDC dari *Arduino*.

### **3.3.2. Flowchart**

Prosedur pengujian *relay thermal* pada trafo tenaga sesuai dengan KEPDIR PT.PLN (Persero) No. 0520 Tahun 2014 tentang Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Tenaga yaitu terdiri dari 2 (dua) jenis pengujian yaitu pengujian fungsi dan pengujian kalibrasi [3]. Proses pengujian tersebut direalisasikan dalam bentuk perintah melalui mikrokontroler pada alat yang dibuat. Untuk memahami lebih lanjut alur dari masing – masing pengujian maka dapat dilihat melalui *flowchart* pada gambar 3.3 dan gambar 3.4.

## 1. Flowchart Pengujian Fungsi

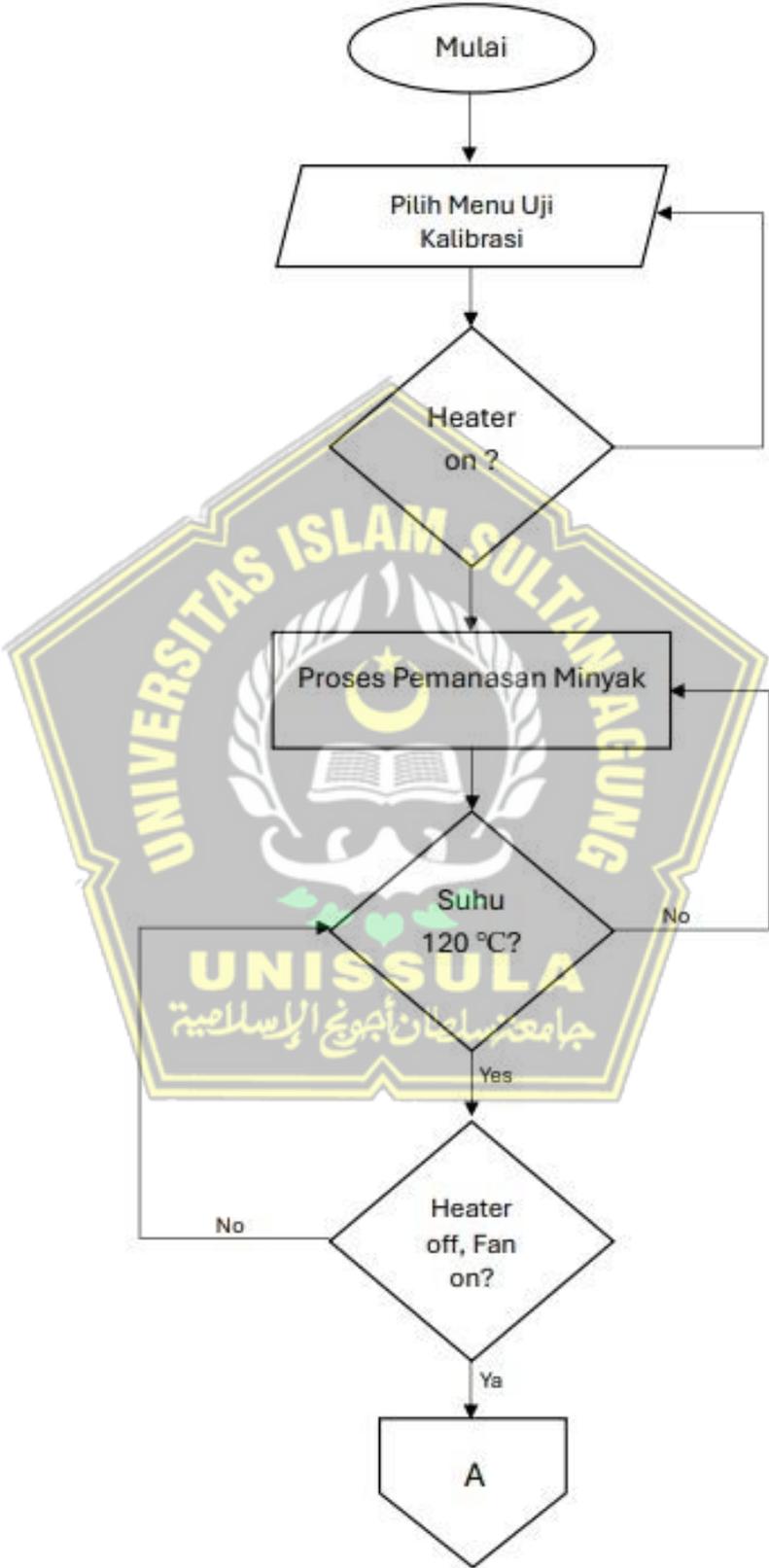


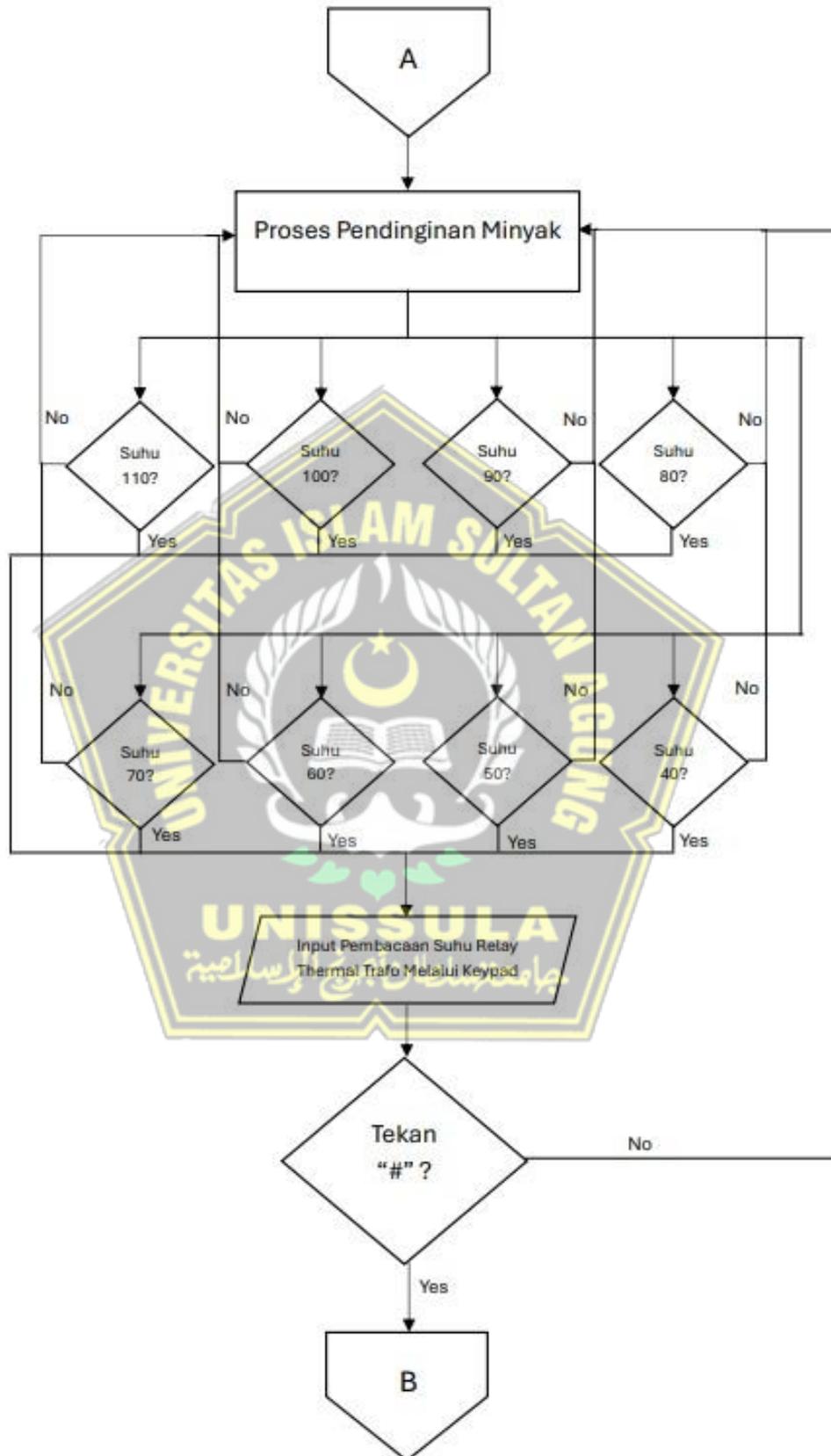
**Gambar 3.3** Flowchart Uji Fungsi

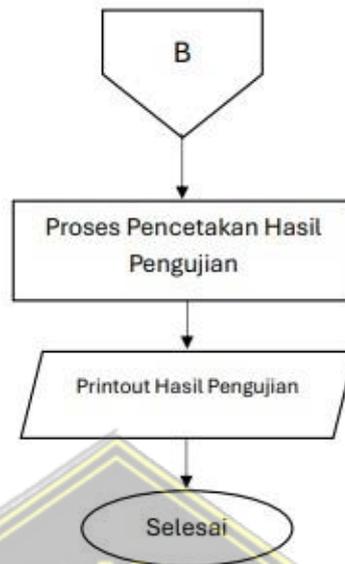
Dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.3, sistem dimulai dari merangkai dan menyalakan alat kemudian *user* memberi perintah untuk melaksanakan uji fungsi dengan memilih menu uji fungsi dan dilanjutkan dengan meng-*input* data *setting* yang diperlukan. Setelah meng-*input* data setting maka *heater* akan *on* untuk memanaskan minyak yang digunakan sebagai media pengujian. Ketika kontak pada masing – masing item pengujian (*start fan, stop fan, alarm, trip*) bekerja pada posisi *NC (Normally Close)* maka *buzzer* akan *on* dan *user* dapat meng-*input* pembacaan suhu yang tertera pada *relay thermal transformator* dan kemudian data akan diproses oleh alat untuk mendapatkan form hasil pengujian.



2. Flowchart Pengujian Kalibrasi







**Gambar 3.4** Flowchart Uji Kalibrasi

Dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.4, sistem dimulai dari merangkai dan menyalakan alat kemudian *user* memberi perintah untuk melaksanakan uji kalibrasi dengan memilih menu uji kalibrasi dan dilanjutkan dengan meng-*input* data *setting* yang diperlukan kemudian *heater* akan *on* untuk memanaskan minyak yang digunakan sebagai media pengujian hingga suhu 120° C. Setelah suhu 120° C tercapai maka *heater* akan *off* dan *fan* akan *on* untuk mendinginkan minyak. Ketika pembacaan suhu pada suhu acuan yaitu 110, 100, 90, 80, 70, 60, 50 dan 40° C tercapai maka *user* dapat meng-*input* pembacaan suhu yang tertera pada *relay thermal transformator* dan kemudian data akan diproses oleh alat untuk mendapatkan form hasil pengujian.

### 3.3.3. Perancangan Perangkat Keras

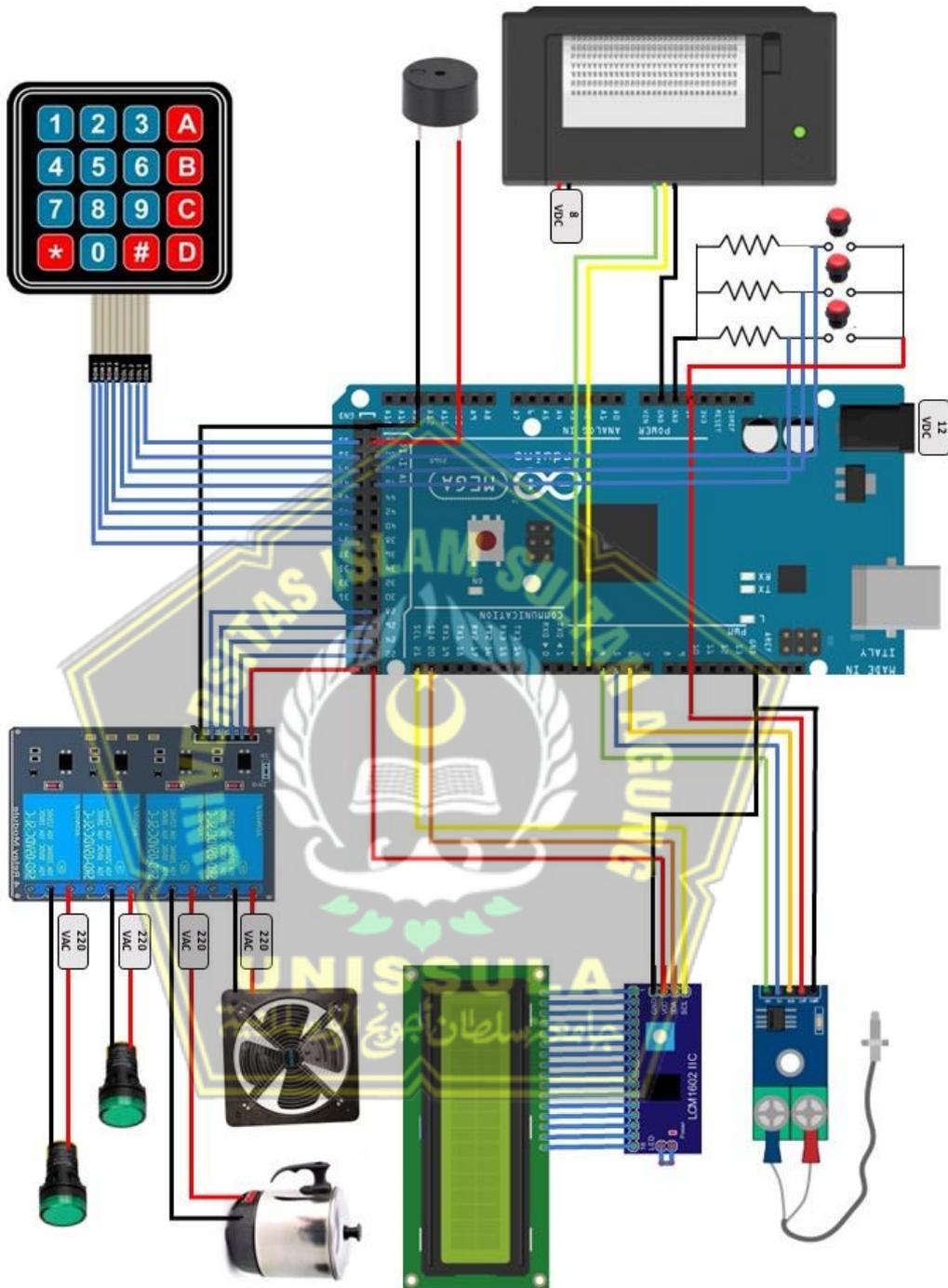
#### 1. Perancangan Perangkat Elektrik

Perancangan elektrik, yakni diagram pengkabelan pada rancang bangun alat uji *relay thermal* pada trafo tenaga berbasis mikrokontroler. Koneksi pengkabelan (*wiring*) mempunyai peran yang sangat penting dalam proses pengendalian dan pengoperasian alat yang dibuat. Oleh karena itu koneksi *wiring* harus terpasang dengan benar dan dipastikan kerapihannya.

Kebutuhan komponen elektronika dalam perancangan alat dapat dilihat pada tabel 3.1 dan untuk memahami lebih jelas bagaimana koneksi *wiring* pada alat ini dapat dilihat pada gambar 3.5.

**Tabel 3.1** Daftar Kebutuhan Komponen Elektronik

No	Nama Komponen	Jumlah
1	LCD 20X4	1 Buah
2	Printer Thermal	1 Buah
3	Keypad Matrix 4X4	1 Buah
4	Push Button	3 Buah
5	Pilot Lamp	4 Buah
6	Konektor CB 3P Male Female	2 Pasang
7	Banana Jack Male Female	11 Pasang
8	USB Type B	1 Buah
9	Socket Kabel Power Supply	1 Buah
10	Kabel Power Supply	1 Buah
11	Modul Power Supply 220 VAC to 5 VDC	1 Buah
12	Sensor Suhu Thermocouple Type K	1 Buah
13	Arduino Mega 2560	1 Buah
14	Buzzer	1 Buah
15	Pulldown Resistor	3 Set
16	Kabel Konektor	Secukupnya
17	Kabel Jumper	Secukupnya
18	Modul Stepdown DC to DC LM2596	1 Buah
19	Modul Relay 4 Channel	1 Buah
20	Power Button	1 Buah

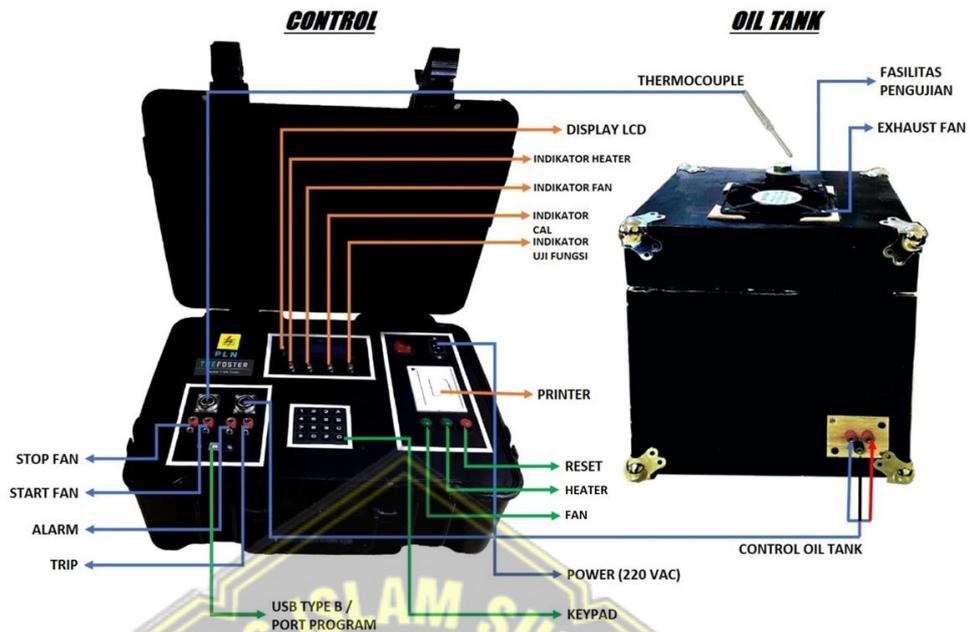


**Gambar 3.5** *Wiring Diagram Rancang Bangun Alat Uji Relay Thermal*

Dapat dilihat *wiring diagram* pada gambar 3.5, *Arduino Mega 2560* mendapat *supply* 12 VDC yang di dapatkan dari konversi tegangan *supply* PLN 220 VAC menjadi 12 VDC oleh *rectifier*. Modul *relay 4 chanel* di dihubungkan ke *Arduino* melalui *supply* 5 VDC dan Gnd serta 4 pin *digital* yaitu pada pin 22, 24, 26 dan 28. Modul *relay* juga dihubungkan ke *heater*, *fan*, dan *pilot lamp* pada kontak *NO* dengan tegangan 220 VAC. *Keypad matrix 4x4* dihubungkan ke *Arduino* melalui 8 pin *digital* yaitu pada pin 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51, 53. *Buzzer* dihubungkan ke *Arduino* melalui pin *digital* pada pin 52 dan Gnd. *Push button* dengan rangkaian *pulldown resistor* dihubungkan ke *Arduino* melalui pin *digital* 46, 48 dan 50 serta *supply* 5 VDC dan Gnd. *LCD 16 x 4* dihubungkan ke *Arduino* melalui pin SDA, SCL, *supply* 5 VDC dan Gnd. *Printer thermal* dihubungkan ke *Arduino* melalui pin 2, 3 dan Gnd serta mendapat *supply* 9 VDC dari modul *stepdown LM2596*. Sensor suhu *thermocouple type k* dihubungkan ke *Arduino* melalui pin 4, 5 dan 6 serta *supply* 5 VDC dan Gnd.

## 2. Perancangan Desain Alat

Perancangan desain alat merupakan sebuah proses melakukan perancangan dan perakitan perangkat elektronik dengan cover yang di desain sesuai dengan kebutuhan dan kenyamanan penggunaan alat di lapangan. Desain alat dibuat menjadi 2 unit yaitu *control* unit dan *oil tank* unit. *Control* unit berfungsi sebagai device utama untuk mengontrol pengoperasian alat serta memonitor proses dan hasil pengujian, pada *control* unit terpasang mikrokontroler *Arduino Mega 2560*, *keypad*, *push button*, *printer thermal*, *LCD 16x2*, *socket* untuk kabel *control* dan sensor *thermocouple type K*. Sedangkan *oil tank* unit berfungsi sebagai tempat penyimpanan minyak yang digunakan untuk media pengujian *relay thermal*, pada *oil tank* unit terpasang *heater* sebagai pemanas dan *fan* sebagai pendingin. Desain alat secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.6.



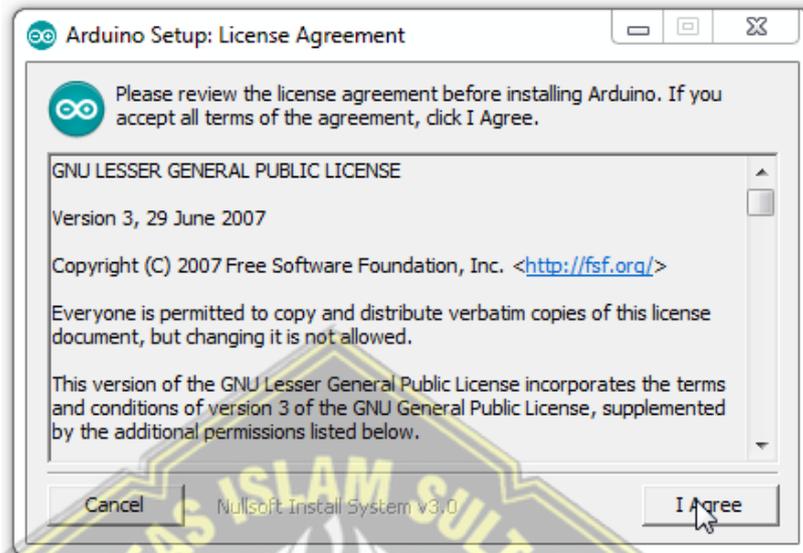
**Gambar 3.6** Rancang Bangun Alat Uji *Relay Thermal*

Pada proses pembuatan alat ini digunakan box *hardcase* berbahan plastik yang tahan terhadap benturan dan mempunyai bobot yang ringan pada *control* unit. Sedangkan untuk *oil tank* unit digunakan box berbahan kayu yang dilapisi aluminium foil yang tahan terhadap panas.

### 3.3.4. Perancangan Perangkat Lunak

Pada penelitian ini, perancangan perangkat lunak meliputi perancangan program mikrokontroler *Arduino Mega 2560*. Perencanaan program mikrokontroler adalah perancangan dengan pemrograman Bahasa C *Arduino* dengan *compiler Arduino IDE (Integrated Development Environment)* bersifat multiplatform yang bisa dijalankan pada berbagai sistem operasi seperti *Windows, MacOS dan Linux*. *Arduino IDE* juga bersifat *open source*, sehingga mudah dan fleksible untuk dikembangkan. Perencanaan program mikrokontroler ini digunakan untuk memberi program kepada *Arduino Mega 2560* untuk memerintahkan perangkat keras menjalankan sistem. Berikut merupakan langkah perancangan perangkat lunak yang dilakukan :

1. Langkah pertama yaitu melakukan instalasi aplikasi *Arduino IDE* pada PC yang akan digunakan untuk melakukan pemrograman seperti gambar 3.7.



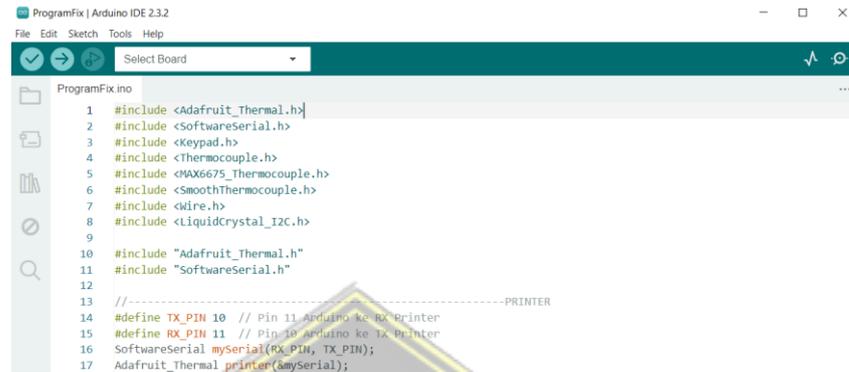
**Gambar 3.7** Proses Instalasi Aplikasi *Arduino IDE*

2. Langkah kedua setelah berhasil melakukan instalasi aplikasi *Arduino IDE* maka kemudian buka aplikasi tersebut. Ketika membuka aplikasi *Arduino IDE* akan muncul tampilan seperti gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Tampilan Awal Aplikasi *Arduino IDE*

- Langkah ketiga yaitu melakukan pemrograman pada aplikasi *Arduino IDE* dengan menginput program sesuai dengan perencanaan sistem seperti gambar 3.9.



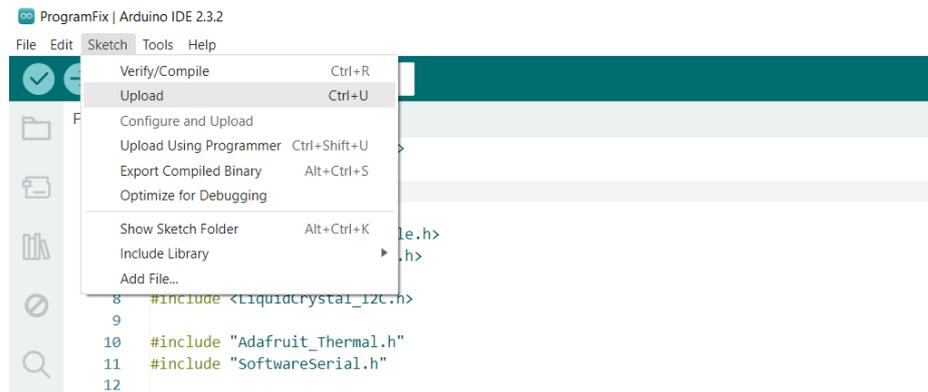
```
1 #include <Adafruit_Thermal.h>
2 #include <SoftwareSerial.h>
3 #include <Keypad.h>
4 #include <Thermocouple.h>
5 #include <MAX6675_Thermocouple.h>
6 #include <SmoothThermocouple.h>
7 #include <Wire.h>
8 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
9
10 #include "Adafruit_Thermal.h"
11 #include "SoftwareSerial.h"
12
13 //-----PRINTER
14 #define TX_PIN 10 // Pin 11 Arduino ke RX Printer
15 #define RX_PIN 11 // Pin 10 Arduino ke TX Printer
16 SoftwareSerial mySerial(RX_PIN, TX_PIN);
17 Adafruit_Thermal printer(&mySerial);
```

**Gambar 3.9** Pemrograman *Arduino IDE*

- Langkah terakhir setelah melakukan pemrograman dan program sudah dipastikan benar sesuai perencanaan sistem maka dilakukan *upload* program pada aplikasi *Arduino IDE* ke mikrokontroler *Arduino Mega 2560* menggunakan kabel *USB Type B* dengan klik menu “*sketch*” kemudian “*upload*” seperti gambar 3.10 dan 3.11.



**Gambar 3.10** Koneksi *Interface Arduino IDE* ke *Arduino Mega 2560*



**Gambar 3.11** Upload Program Arduino IDE ke Arduino Mega 2560

### 3.4. Pengujian Alat

Dalam tahap pengujian ini akan dilakukan untuk melihat keberhasilan alat sesuai dengan prinsip kerjanya dan referensi yang digunakan. Selain itu, saat pengujian berlangsung akan dilakukan pengambilan data - data yang akan digunakan sebagai acuan untuk menganalisa hasil pengujian. Pengujian perangkat dilakukan dengan menggunakan rancang bangun alat uji *reley thermal* trafo tenaga yang telah dibuat untuk memenuhi tugas akhir pada jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.

Pengujian pertama yaitu menguji sistem mikrokontroler *Arduino Mega 2560* dengan rangkaian *input* seperti *push button* dan *keypad 4X4*, serta rangkaian *output* seperti *LCD 16X2*, *heater* dan *fan*. Pengujian dilakukan dengan cara memastikan kesesuaian fungsi dalam pemberian perintah melalui perangkat *input* dan juga pelaksanaan perintah oleh rangkaian *output*.

Pengujian kedua yaitu menguji sistem mikrokontroler *Arduino Mega 2560* dengan rangkaian sensor suhu *thermocouple type K* sebagai perangkat *input* utama. Pengujian ini dilakukan dengan cara pengambilan sampel data hasil pengujian dengan membandingkan pembacaan suhu pada sensor suhu dengan pembacaan suhu pada *thermometer* acuan sehingga didapatkan nilai kesalahan atau *error* serta akurasi pembacaan dari sensor suhu.

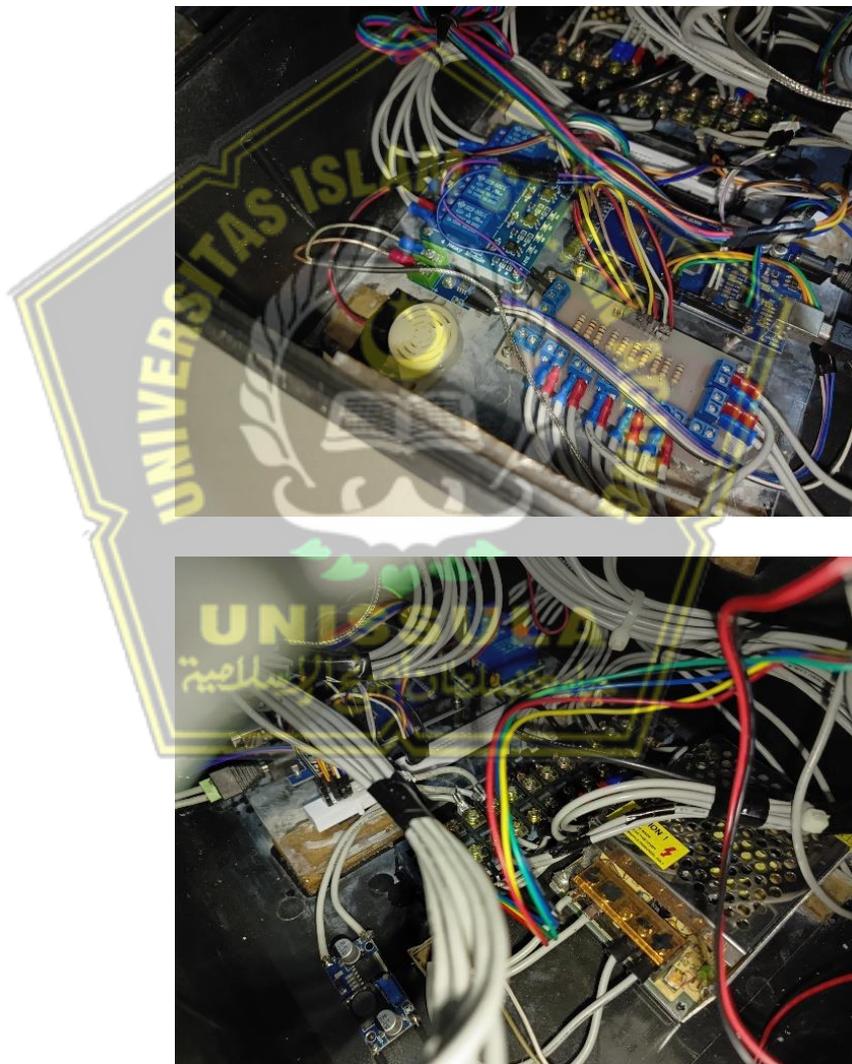
Pengujian ketiga yaitu menguji sistem secara keseluruhan apakah program dan perangkat berjalan sesuai fungsinya. Pengujian ini dilakukan dengan melaksanakan simulasi pengujian *relay thermal* trafo tenaga seperti halnya pengujian sesungguhnya yang dilakukan di lapangan.



## BAB IV DATA DAN ANALISA

### 4.1. Hasil Perancangan Alat

Rancang bangun alat uji *relay thermal* trafo tenaga terbuat dari beberapa komponen elektronik yang telah dirangkai sesuai dengan perencanaan wiring diagram yang dijelaskan pada Bab III. Untuk hasil dari perancangan elektrik dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Tampilan Perancangan Elektrik Rancang Bangun Alat Uji *Relay Thermal* Trafo Tenaga

Alat ini terdiri dari 2 (dua) unit perangkat utama yaitu unit *control* dan unit *oil tank*. Untuk unit *control* dirangkai dalam sebuah box *hardcase* yang digunakan sebagai wadah atau tempat sekaligus pelindung komponen elektronik. Sedangkan untuk unit *oil tank* dirangkai dalam sebuah box kayu yang tahan terhadap panas dari *heater* dan juga dapat meredam panas dari *heater* sehingga tidak membahayakan bagi operator pengujian. Hasil dari perancangan alat secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Tampilan Keseluruhan Rancang Bangun Alat Uji *Relay Thermal* Trafo Tenaga

## 4.2. Pengujian Alat

Pada proses perancangan alat agar mendapatkan hasil yang maksimal, maka dilakukan pengujian. Pengujian alat yang dilakukan meliputi pengujian fungsi *hardware*, pengujian ke akuratan pembacaan sensor suhu dan juga pengujian lapangan.

### 4.2.1. Pengujian Fungsi

Pengujian fungsi merupakan proses pengujian alat yang dilakukan untuk memastikan setiap komponen elektronik berfungsi dengan baik sebagaimana mestinya.

Metode pengujian ini dilakukan dengan mengoperasikan setiap komponen secara individu pada alat dan juga mengoperasikan alat sesuai dengan *flowchart* yang telah dijelaskan pada Bab III. Hasil pengujian fungsi dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2.

**Tabel 4. 1** Hasil Pengujian Fungsi Komponen Secara Individu

No	Item Pengujian	Hasil Pengujian	Akurasi Kesesuaian
1	<i>Power Button</i>	Sesuai	100%
2	<i>On/Off Heater</i>	Sesuai	100%
3	<i>On/Off Fan</i>	Sesuai	100%
4	<i>Reset Button</i>	Sesuai	100%
5	<i>Keypad</i>	Sesuai	100%
6	<i>LCD</i>	Sesuai	100%
7	<i>Printer Thermal</i>	Sesuai	100%

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Fungsi Alat Keseluruhan

No	Item Pengujian	Hasil Pengujian	Akurasi Kesesuaian
1	Menu Pengujian Fungsi	Sesuai	100%
2	Menu Pengujian Kalibrasi	Sesuai	100%
3	Menu <i>Sensor Test</i>	Sesuai	100%

Selama proses pengujian fungsi alat secara individu dan keseluruhan dilakukan juga pengujian performa alat sehingga didapatkan hasil pengujian pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Performa Alat

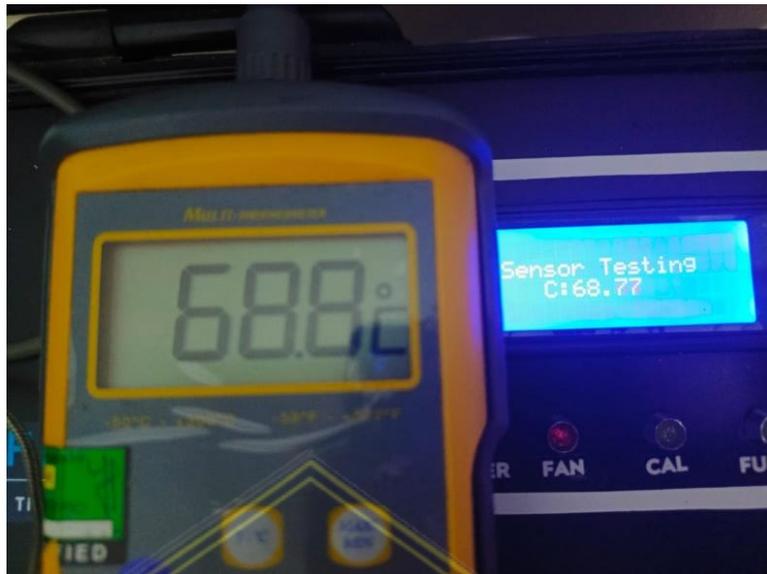
No	Item Pengujian	Hasil Pengujian
1	Tegangan Operasi	Tegangan Nominal : 220 VAC
2	Beban / Arus Operasi	- Beban Minimum : 0,33 A - Beban Maksimum : 0,47 A
3	Daya Operasi	- Daya Minimum : 72,6 Watt - Daya Maksimum : 100,2 Watt

Alat beroperasi dengan tegangan 220 VAC dengan beban dan daya minimum disaat heater dan fan dalam kondisi off sedangkan jika heater dan fan dalam kondisi on alat bekerja dengan beban dan daya maksimum.

Berdasarkan hasil pengujian fungsi pada tabel 4.1, tabel 4.2 dan 4.3 maka di dapatkan hasil pengujian yang baik. Untuk lebih jelas memahami mengenai proses pengujian yang dilakukan dapat diamati dokumentasi melalui link berikut ( <https://www.youtube.com/watch?v=LAk3jadNU6g> ).

#### **4.2.2 Pengujian Sensor Suhu *Thermocouple Type K***

Pengujian sensor suhu *thermocouple type k* ini merupakan proses pengujian yang dilakukan untuk memastikan tingkat akurasi dari pembacaan sensor suhu. Metode pengujian ini dilakukan dengan membandingkan pembacaan suhu pada sensor dengan pembacaan suhu pada *thermometer* yang dijadikan sebagai acuan seperti pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Perbandingan Pembacaan Sensor Suhu dan *Thermometer* Acuan

Alat ukur pembanding pembanding yang dijadikan acuan dalam pengujian ini adalah *thermometer* yang telah mendapat sertifikasi kelayakan dari Laboratorium PT.PLN Pusat Sertifikasi yang merupakan lembaga terpercaya dalam bidang sertifikasi alat ukur pada bidang kelistrikan. Spesifikasi dari *thermometer* acuan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Spesifikasi *Thermometer* Acuan

Spesifikasi	
Merk / Type	Constant / 20T
Range Suhu Pengukuran	-50°C-300°C
Akurasi	±1°C (-30°C-250°C)

Proses pengambilan data pembacaan suhu dilakukan sebanyak 5 (lima) kali pada suhu tinggi yaitu pada suhu 68 °C dan juga sebanyak 5 (lima) kali pada suhu rendah yaitu pada suhu 30 °C.

Metode yang digunakan untuk pengujian pada suhu tinggi yaitu melakukan pengukuran pada media air panas yang di tampung dalam sebuah bejana, sedangkan untuk pengujian pada suhu rendah yaitu melakukan pengukuran pada suhu ruangan atau suhu pada lingkungan sekitar. Mengacu pada persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 maka di dapatkan perhitungan nilai akurasi menggunakan sampel data hasil pengujian.

$$\text{Persentase Error} = \frac{|68,8 - 68,77|}{68,8} \times 100 = 0,04 \%$$

$$\text{Persentase Akurasi} = (100\% - 0,04\%) = 99,96 \%$$

Dari hasil perhitungan di dapatkan nilai akurasi dari setiap pengujian yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Hasil Perhitungan Nilai Akurasi

No	Suhu Thermometer	Suhu Alat	Akurasi
1	68,8 °C	68,77 °C	99,96 %
2	68,7 °C	68,74 °C	99,96 %
3	68,6 °C	68,62 °C	99,98 %
4	68,5 °C	68,48 °C	99,98 %
5	67,9 °C	67,98 °C	99,92 %
6	30,2 °C	30,12 °C	99,74 %
7	30,2 °C	30,18 °C	99,94 %
8	30,2 °C	30,28 °C	99,74 %
9	30,1 °C	30,07 °C	99,90 %
10	30,3 °C	30,23 °C	99,77 %
Rata - Rata			99,88 %

Berdasarkan hasil perhitungan analisa data pengujian di dapatkan rata - rata nilai akurasi sebesar 99,88 %. Nilai akurasi sesuai dengan spesifikasi sensor suhu *thermocouple type k* pada datasheet yaitu sebesar 99,5 °C atau  $\pm 0,5$  °C.

#### 4.2.3 Pengujian Lapangan

Setelah melakukan pengujian pada *workshop* dan didapatkan hasil pengujian yang baik, selanjutnya dilakukan pengujian alat di lapangan secara langsung. Pengujian ini menggunakan trafo yang sudah tidak beroperasi pada Gardu Induk Rangka Kota 70 kV. Gambar 4.4 menunjukkan *relay thermal* yang digunakan untuk pengujian lapangan dengan spesifikasi *relay thermal* pada tabel 4.6.



Gambar 4.4 Relay Thermal Trafo Tenaga

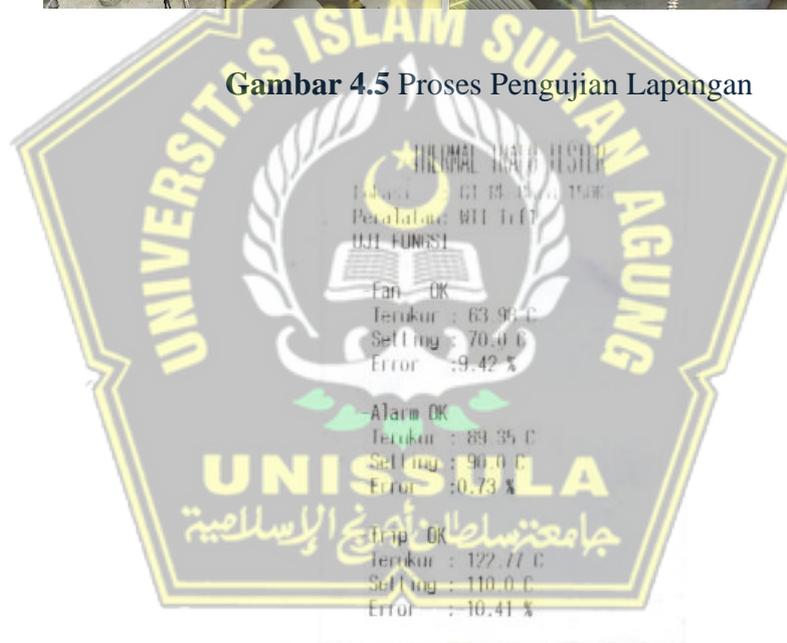
Tabel 4.6 Spesifikasi Relay Thermal

Spesifikasi	
Merk / Type	MR / TRASY2 MT-STW160F2
Range Suhu Pengukuran	- OTI : -20 to +140 °C - WTI : 0 to +160 °C
Setting Fan Start	70 °C
Setting Alarm	90 °C
Setting Trip	110 °C

Metode pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur yang berlaku pada SK DIR No.0520 Tentang Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga. Proses pengujian lapangan dapat dilihat pada gambar 4.5 dan 4.6.



**Gambar 4.5** Proses Pengujian Lapangan



**Gambar 4.6** Print Out Hasil Pengujian Lapangan

Berdasarkan pengujian lapangan yang dilakukan didapatkan dinyatakan bahwa Rancang Bangun Alat Uji *Relay Thermal* Berbasis *Arduino Mega 2560* dan Sensor Suhu *Thermocouple Type K* dapat berfungsi dengan baik dan dapat digunakan untuk melakukan pengujian *relay thermal* pada trafo tenaga dengan lama waktu pengujian 47 menit untuk satu siklus pengujian yang dilakukan oleh 1 (satu) orang personil pemeliharaan. Yang mana untuk metode sebelumnya diperlukan 2 (dua) orang personil pemeliharaan.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data yang didapatkan pada proses penelitian perancangan Alat Uji *Relay Thermal* Trafo Tenaga Berbasis *Arduino Mega 2560* dan Sensor Suhu *Thermocouple Type K* dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Rata – rata nilai akurasi dari pembacaan sensor suhu pada alat ini sebesar 99,88 %.
2. Alat ini dapat beroperasi menggunakan tegangan 220 VAC dengan beban 0,33 A sampai dengan 0,47 A dan daya 72,6 Watt sampai dengan 100,2 Watt.
3. Alat ini dapat digunakan untuk melakukan pengujian *relay thermal* pada trafo tenaga dengan waktu 47 menit untuk satu siklus pengujian yang dapat dilakukan oleh 1 (satu) personil pemeliharaan yang mana dengan metode sebelumnya diperlukan 2 (dua) orang personil pemeliharaan untuk melakukan pengujian *relay thermal*.

#### 5.2. Saran

Berdasarkan proses penelitian pada perancangan Alat Uji *Relay Thermal* Trafo Tenaga Berbasis *Arduino Mega 2560* dan Sensor Suhu *Thermocouple Type K* terdapat saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut :

1. Alat dikembangkan menggunakan fitur *gps* untuk menambahkan informasi Lokasi dan waktu.
2. Alat dikembangkan menggunakan metode *IOT (Internet Of Things)* supaya dapat dilakukan monitoring dan kendali pada jarak jauh untuk meningkatkan efektifitas pekerjaan di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN (Persero), “Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali,” *PT PLN*, no. September, p. 513, 2013, [Online]. Available: <https://pdfcoffee.com/buku-rele-proteksipdf-pdf-free.html>
- [2] D. Ramona Diningsih and U. Situmeang, “Pengaruh Pembebanan Terhadap Umur Transformator Daya #1 150/20 kV Pada Gardu Induk Teluk Lembu PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru,” *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2022, doi: 10.31849/sainetin.v7i1.6223.
- [3] PT. PLN (Persero), “Buku Pedoman Trafo Tenaga,” *Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Tenaga*, pp. 1–142, 2014.
- [4] S. T. . M. T. nur sulistyawati, “D3-2021-426332-abstract,” *Anal. Penguji. Relay Suhu Pada Relay Mek. Trafo Tenaga Di Gardu Induk 150 Kv Garut*, 2021.
- [5] D. Sasmoko, *Arduino dan Sensor pada Project Arduino DIY*. 2021.
- [6] National Institute of Standards and Technology (NIST), “Revised Thermocouple Reference Tables: Type K,” *Monogr. 175*, vol. 44, no. Revised to ITS-90, pp. 214–215, 2000.
- [7] B. Winardi, “Perancangan Monitoring Suhu Transformator Tenaga 150 / 20 Kv Berbasis Arduino Mega 2560,” *Transmisi*, vol. 19, no. 3, p. 120, 2017, doi: 10.14710/transmisi.19.3.120-124.
- [8] C. Sulaeman and Kusnadi, “Kalibrasi Sensor Temperatur Dengan Metoda Perbandingan Dan Simulasi,” *J. Poli-Teknologi*, vol. 10, no. 2, pp. 6–7, 2019.
- [9] Muchlas, “Buku Ajar Teknik Digital,” pp. 140–141, 2020.
- [10] M. A. ARYANDANA, “Perancangan Sistem Kalibrasi Sensor Otomatis Menggunakan Metode Artificial Neural Network,” 2021, [Online]. Available: <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/202522>
- [11] F. Azharul, “RANCANG BANGUN ALAT KALIBRASI PENGUKUR SUHU BERBASIS DIGITAL TEMPERATURE CONTROLLER DESIGN AND DEVELOPMENT OF TEMPERATURE CALIBRATION,” vol. 8, pp. 109–116, 2021.
- [12] J. O. Wuwung, “Pengaruh Pembebanan Terhadap Kenaikan Suhu pada Belitantransformator Daya Jenisterendam Minyak,” *Tekno*, vol. 07, no. 52, pp. 29–39, 2010.

- [13] A. Vonie Rachmawati, M. Yantidewi, and A. Penelitian, "Analisis Kalibrasi Sensor BME280 dengan Pendekatan Regresi Linear pada Pengukuran Temperatur, Kelembaban Relatif, dan Titik Embun BME280 Sensor Calibration Analysis with Linear Regression Approach for Temperature, Relative Humidity and Dew Point Measureme," *J. Kolaboratif Sains*, vol. 7, no. 5, pp. 1589–1597, 2024, doi: 10.56338/jks.v7i5.5272.
- [14] M. M. Azman, "Analisa perbandingan nilai akurasi moving average dan exponential smoothing untuk sistem peramalan pendapatan pada perusahaan XYZ," *J. Sist. dan Inform.*, vol. 13, no. 2, pp. 36–45, 2019.
- [15] Tempsens, "Why To Prefer J Type Thermocouple : - Composition : - Type J Insulation Material : - Temperature Range : -," *Tempsens*, p. 1, 2021, [Online]. Available: <https://tempsens.com/blog/k-type-thermocouple#:~:text=K Type thermocouple work very,40 and 375 °C>.
- [16] A. Rosman, "Perancangan Power Supply 4.5 Dan 11.5 Volt Menggunakan Rangkaian Regulator Zener Follower," *J. Sci. Pinisi*, vol. 3, no. 1, pp. 55–59, 2017.
- [17] R. Hamdani, H. Puspita, and D. R. Wildan, "Pembuatan Sistem Pengamanan Kendaraan Bermotor Berbasis Radio Frequency Identification (Rfid)," *Indept*, vol. 8, no. 2, pp. 56–63, 2019.
- [18] W. Sulaeman, E. Alimudin, and A. Sumardiono, "Sistem Pengaman Loker dengan Menggunakan Deteksi Wajah," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 117–122, 2022.
- [19] H. M. Saleh Muhamad, "1601-3583-1-Pb," vol. 8, no. 2, pp. 87–94, 2017.
- [20] C. Napitupulu and B. Nst, Khairina Ulfa, "Resistor Pull Up dan Pull Down," *Ilmu Komputer.Com*, pp. 1–10, 2014.
- [21] S. Mindasari, M. As'ad, and D. Meilantika, "Sistem Keamanan Kotak Amal di Musala Sabilul Khasanah Berbasis Arduino UNO," *J. Tek. Inform. Mahakarya*, vol. 5, no. 2, pp. 7–13, 2022.