

**RANCANGAN SISTEM *MONITORING* SUHU TRAFU
DAN *CONTROL EXHAUST FAN* BERBASIS IOT DI
BANDAR UDARA SULTAN MAHMUD BADARUDDIN II PALEMBANG**

TUGAS AKHIR

Oleh

SITI SALBIAH RISTUMANDA

NIT: 56192010022



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR UDARA
PROGRAM SARJANA TERAPAN
POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG
JULI 2024**

**RANCANGAN SISTEM *MONITORING* SUHU TRAFU
DAN *CONTROL EXHAUST FAN* BERBASIS IOT DI
BANDAR UDARA SULTAN MAHMUD BADARUDDIN II PALEMBANG**

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat lulus Pendidikan

Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara

Program Sarjana Terapan

Oleh

SITI SALBIAH RISTUMANDA

NIT: 56192010022



PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR UDARA

PROGRAM SARJANA TERAPAN

POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG

JULI 2024

ABSTRAK

RANCANGAN SISTEM *MONITORING* SUHU TRAFO DAN *CONTROL EXHAUST FAN* BERBASIS IOT DI BANDAR UDARA SULTAN MAHMUD BADARUDDIN II PALEMBANG

Oleh

SITI SALBIAH RISTUMANDA
NIT: 56192010022

Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara
Program Sarjana Terapan

Bandar Udara sangat bergantung pada listrik yang stabil, dengan trafo sebagai komponen penting untuk mengubah tegangan listrik. Suhu tinggi pada trafo dapat menyebabkan degradasi minyak pendingin, kerusakan isolasi, serta penurunan umur pakai trafo. Kejadian trip pada trafo di SS2 Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang akibat *overheat* menyebabkan dampak signifikan pada operasional bandara. Tujuan Tugas Akhir ini adalah merancang sistem *monitoring* suhu trafo dan kontrol *exhaust fan* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang untuk mengatasi masalah dilapangan dengan pemantauan suhu *real-time* dan kontrol *exhaust fan* otomatis berdasarkan suhu yang terdeteksi. Penelitian ini diawali dengan identifikasi kebutuhan melalui wawancara dan observasi yang menunjukkan kebutuhan perlunya *monitoring* suhu pada trafo dengan notifikasi dini dan otomatisasi kontrol *exhaust fan*, meliputi perencanaan, pengembangan, serta pengujian dalam kondisi yang menyerupai situasi sebenarnya. Hasil pengujian menunjukkan sistem berfungsi dengan baik dalam mendeteksi suhu, mengaktifkan *exhaust fan* saat suhu mencapai ambang batas, dan mengirim notifikasi *alarm* melalui aplikasi Blynk. Validasi desain dilakukan melalui *Focus Group Discussion* (FGD) dengan teknisi bandara, menunjukkan desain sistem memenuhi harapan dan kebutuhan pengguna. Hasil angket pengguna, menunjukkan prototipe ini mendapat penilaian positif dari segi fungsionalitas dengan nilai rata-rata 2,67 yang masuk dalam kategori kelayakan valid. Penelitian ini masih berada di tahap keempat dari lima tahapan metode R&D model *prototype*, sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut hingga tahap akhir untuk menyempurnakan alat dan implementasi. Diharapkan Tugas Akhir memberikan kontribusi signifikan dalam bidang *monitoring* suhu trafo dan kontrol *exhaust fan* berbasis IoT, serta menawarkan solusi praktis untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional sistem distribusi listrik di Bandar Udara.

Kata kunci: *Exhaust fan*, IoT, *Monitoring* Suhu Trafo, *Prototype*.

ABSTRACT

DESIGN OF IOT-BASED TRANSFORMER TEMPERATURE MONITORING AND EXHAUST FAN CONTROL SYSTEM AT SULTAN MAHMUD BADARUDDIN II PALEMBANG.

By

**SITI SALBIAH RISTUMANDA
NIT: 56192010022**

***Technology of Airport Engineering Study Program
Applied Undergraduate Program***

Airports are highly dependent on stable electricity, with transformers being an important component for changing electrical voltage. High temperatures in the transformer can cause degradation of the cooling oil, damage the insulation, and reduce the service life of the transformer. The trip incident on the transformer at SS2 Sultan Mahmud Badaruddin II Airport in Palembang due to overheating caused a significant impact on airport operations. The aim of this final assignment is to design a transformer temperature monitoring and exhaust fan control system based on the Internet of Things (IoT) which is designed to overcome problems in the field with real-time temperature monitoring and automatic exhaust fan control based on the detected temperature. This research began with identifying needs through interviews and observations which showed the need for temperature monitoring in transformers with early notification and automation of exhaust fan control, including planning, development and testing in conditions that resemble the real situation. Test results show the system functions well in detecting temperature, activating the exhaust fan when the temperature reaches the threshold, and sending alarm notifications via the Blynk application. Design validation was carried out through Focus Group Discussions (FGD) with airport technicians, showing that the system design met user expectations and needs. The results of the user questionnaire show that this prototype received a positive assessment in terms of functionality with an average score of 2.67 which is included in the valid feasibility category. This research is still in the fourth stage of the five stages of the prototype model R&D method, so further development is needed until the final stage to perfect the tools and implementation. It is hoped that the Final Project will make a significant contribution in the field of transformer temperature monitoring and IoT-based exhaust fan control, as well as offering practical solutions to increase the reliability and operational efficiency of electricity distribution systems at airports.

Keywords: Exhaust fan, IoT, Transformer Temperature Monitoring, Prototype.

PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas Akhir : “RANCANGAN SISTEM *MONITORING* SUHU TRAFO DAN *CONTROL EXHAUST FAN* BERBASIS IOT DI BANDAR UDARA SULTAN MAHMUD BADARUDDIN II PALEMBANG” telah diperiksa dan disetujui untuk diuji sebagai salah satu syarat lulus Pendidikan Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan Angkatan ke-1, Politeknik Penerbangan Palembang – Palembang.



NAMA : SITI SALBIAH RISTUMANDA

NIT : 56192010022

PEMBIMBING I

Ir. DIRESTU AMALIA, S.T., MS. ASM.

Penata (III/c)

NIP. 19831213 201012 2 003

PEMBIMBING II

SUNARDI, S.T., M.Pd., M.T.

Penata Tk.I (III/d)

NIP. 19720217 199501 1 001

KETUA PROGRAM STUDI

Ir. M. INDRA MARTADINATA, S.ST., M.Si.

Pembina (IV/a)

NIP. 19810306 200212 1 001

PENGESEHAN PENGUJI

Tugas Akhir : “RANCANGAN SISTEM *MONITORING* SUHU TRAFO DAN *CONTROL EXHAUST FAN* BERBASIS IOT DI BANDAR UDARA SULTAN MAHMUD BADARUDDIN II PALEMBANG” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Tugas Akhir Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan Angkatan ke-1, Politeknik Penerbangan Palembang – Palembang. Tugas akhir ini telah dinyatakan LULUS Program Sarjana Terapan pada tanggal 24 Juli 2024.

KETUA



WAHYUDI SAPUTRA, S.Si.T., M.T.

Pembina (IV/a)

NIP. 19821107 200502 1 001

SEKRETARIS



Ir. DIRESTU AMALIA, S.T., MS. ASM.

Penata (III/c)

NIP. 19831213 201012 2 003

ANGGOTA



JOHNY EMIYANI, S.Si.T., M.Si.

Penata (III/c)

NIP. 19811005 200912 1 003

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Siti Salbiah Ristumanda
NIT : 56192010022
Program Studi : Teknologi Rekayasa Bandar Udara
Program Sarjana Terapan

Menyatakan bahwa tugas akhir berjudul “RANCANGAN SISTEM *MONITORING* SUHU TRAFU DAN *CONTROL EXHAUST FAN* BERBASIS IOT DI BANDAR UDARA SULTAN MAHMUD BADARUDDIN II PALEMBANG” merupakan karya asli saya bukan merupakan hasil plagiarisme.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar akademik dari Politeknik Penerbangan Palembang.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Palembang, 24 Juli 2024

Yang Membuat Pernyataan



Siti Salbiah Ristumanda

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir Program Sarjana Terapan yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Politeknik Penerbangan Palembang, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Politeknik Penerbangan Palembang. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil penelitian Tugas akhir ini dapat ditulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Ristumanda, S.S. (2024): Rancangan Sistem *Monitoring* Suhu Trafo dan *Control Exhaust Fan* Berbasis IoT di Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, Tugas Akhir Program Sarjana Terapan, Politeknik Penerbangan Palembang.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tugas akhir haruslah seizin Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara, Politeknik Penerbangan Palembang.

Dipersembahkan kepada

*Orang tua tersayang Papa Wahidin dan Mama Raden Ayu Yulia Nursyamsiah,
sebagai ungkapan terima kasih.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Rancangan Sistem *Monitoring* Suhu Trafo dan *Control Exhaust Fan* berbasis IoT di Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang” tepat pada waktunya. Tugas akhir ini ditulis untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan di Politeknik Penerbangan Palembang Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan dan memperoleh gelar Sarjana Terapan (S.Tr.T).

Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan dan bimbingan selama penyusunan tugas akhir ini. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan serta rintangan yang penulis hadapi, namun pada akhirnya penulis dapat melaluinya berkat adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara moral maupun secara spiritual. Untuk itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. Syukur Alhamdulillah atas segala kenikmatan yang telah diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua dan saudara kandung yang senantiasa memberikan restu, doa, dukungan dan cinta kasih tanpa henti selama proses pendidikan.
3. Bapak Sukahir, S.Si.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Penerbangan Palembang, dan Bapak M. Indra Martadinata, S.ST., M.Si. selaku ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara.
4. Bapak R. Iwan Winaya Mahdar, ST, MM. selaku *Executive General Manager*, dan Bapak Almuzani, S.T. selaku *Asst. Manager of Electrical & Mechanical Facility* PT. Angkasa Pura II Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang.
5. Ibu Direstu Amalia, S.T., MS. ASM. dan Bapak Sunardi, S.T., M.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing, yang telah sabar memberikan bimbingan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

6. Seluruh dosen dan staff Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Politeknik Penerbangan Palembang.
7. Segenap staff dan karyawan unit AMEM, AMIF dan AMTG Bandara SMB II Palembang.
8. Teman-teman *course* TRBU 1 Alpha dan seluruh rekan Mahasiswa TRBU Angkatan 1 Politeknik Penerbangan Palembang.
9. Serta semua pihak yang telah membantu penulisan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam perjalanan Tugas Akhir ini. Akhir kata, Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca sebagai referensi ataupun untuk menambah wawasan dan ilmu.

Palembang, 24 Juli 2024

Siti Salbiah Ristumanda

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| ABSTRAK | iii |
| <i>ABSTRACT</i> | iv |
| PENGESAHAN PEMBIMBING | v |
| PENGESAHAN PENGUJI | vi |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN | vii |
| PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR | viii |
| KATA PENGANTAR | x |
| DAFTAR ISI | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvi |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG | xviii |
| Bab I <u>P</u> endahuluan | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 4 |
| C. Tujuan | 4 |
| D. Manfaat | 5 |
| E. Batasan Masalah | 5 |
| Bab II <u>T</u> injauan Pustaka | 6 |
| A. Transformator (Trafo) | 6 |
| B. Pemantauan Suhu dan Sistem Pendingin Trafo | 8 |
| C. Metode <i>Prototype</i> | 9 |
| D. Teori Penunjang | 11 |
| 1. <i>Internet of Things (IoT)</i> | 11 |

| | | |
|------------------------------------|--|----|
| 2. | NTC Thermistor <i>with Ring Lug</i> | 13 |
| 3. | WeMos D1 <i>Mini</i> ESP8266..... | 14 |
| 4. | <i>Module Relay 1 Channel</i> | 16 |
| 5. | <i>Mini Blower Fan (Brushless Kipas Keong)</i> | 17 |
| 6. | Resistor | 18 |
| 7. | Perangkat Lunak (Arduino IDE)..... | 19 |
| E. | Penelitian yang Relevan | 21 |
| Bab III Metodologi Penelitian..... | | 22 |
| A. | Desain Penelitian | 22 |
| B. | Teknik Pengumpulan Data | 24 |
| 1. | Wawancara | 24 |
| 2. | Observasi | 25 |
| C. | Teknik Validasi Desain | 26 |
| D. | Tempat dan Waktu Penelitian | 28 |
| Bab IV Hasil dan Pembahasan | | 29 |
| A. | Tahap <i>Initial Requirements</i> | 29 |
| 1. | Hasil Wawancara | 29 |
| 2. | Hasil Observasi | 31 |
| 3. | Studi Literatur | 35 |
| B. | Tahap <i>Planning</i> | 37 |
| 1. | Desain Prototipe..... | 38 |
| 2. | Validasi Desain | 45 |
| 3. | Revisi Desain | 47 |
| C. | Tahap <i>Development</i> | 48 |
| 1. | <i>Hardware</i> | 48 |
| 2. | <i>Software</i> | 50 |

| | | |
|----------------------------------|---|----|
| D. | Tahap <i>Test</i> | 56 |
| 1. | Pengujian Fungsional Komponen..... | 56 |
| 2. | Pengujian Respon Terhadap Perubahan Suhu..... | 58 |
| 3. | Pengujian Aspek <i>Functional Suitability</i> | 59 |
| Bab V Kesimpulan dan Saran | | 1 |
| B. | Kesimpulan..... | 1 |
| C. | Saran..... | 62 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 63 |
| LAMPIRAN..... | | 67 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran A Bukti bebas plagiarisme | 67 |
| Lampiran B Bukti validasi aspek <i>functional suitability</i> oleh ahli <i>system</i> | 68 |
| Lampiran C Bukti validasi desain | 74 |
| Lampiran D <i>Datasheet</i> sensor suhu | 75 |
| Lampiran E <i>Datasheet</i> ESP8266 | 77 |
| Lampiran F Dokumentasi tahap identifikasi kebutuhan | 78 |
| Lampiran G Dokumentasi tahap pengembangan | 79 |
| Lampiran H Dokumentasi tahap pengujian | 80 |
| Lampiran I Lembar bimbingan | 81 |
| Lampiran J <i>Manual book</i> | 83 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar II. 1. Alur metode <i>prototype</i> | 9 |
| Gambar II. 2. Logo blynk | 11 |
| Gambar II. 3. Modul ESP8266..... | 15 |
| Gambar II. 4. <i>Relay</i> | 16 |
| Gambar II. 5. <i>Mini blower fan</i> | 17 |
| Gambar II. 6. Arduino IDE | 20 |
| Gambar III. 1. Alur penelitian..... | 22 |
| Gambar IV. 1. Dokumentasi kegiatan wawancara..... | 33 |
| Gambar IV. 2. Dokumentasi kegiatan observasi | 34 |
| Gambar IV. 3. Konfigurasi <i>system</i> | 37 |
| Gambar IV. 4. Desain rangkaian alat | 38 |
| Gambar IV. 5. <i>Schematic</i> rangkaian alat | 41 |
| Gambar IV. 6. Ilustrasi pembagi tegangan | 42 |
| Gambar IV. 7. <i>Flowchart</i> awal <i>system</i> | 44 |
| Gambar IV. 8. <i>Flowchart</i> akhir <i>system</i> | 47 |
| Gambar IV. 9. Hasil perakitan <i>hardware</i> | 49 |
| Gambar IV. 10. <i>Create project</i> pada blynk | 50 |
| Gambar IV. 11. Konfigurasi <i>widget</i> pada blynk | 50 |
| Gambar IV. 12. Hasil <i>software</i> | 51 |
| Gambar IV. 13. Penambahan <i>board</i> ESP8266 | 52 |
| Gambar IV. 14. Unduh <i>library</i> yang dibutuhkan | 52 |
| Gambar IV. 15. <i>Coding</i> prototipe | 54 |
| Gambar IV. 16. Simulasi pengujian | 56 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel III. 1. Waktu Penelitian | 28 |
| Tabel IV. 1. Hasil wawancara | 29 |
| Tabel IV. 2. Hasil observasi | 31 |
| Tabel IV. 3. Pemilihan komponen <i>hardware</i> | 39 |
| Tabel IV. 4. Validasi desain melalui FGD | 45 |
| Tabel IV. 5. Persiapan komponen prototipe | 48 |
| Tabel IV. 6. Tahapan kerja sistem | 55 |
| Tabel IV. 7. Pengujian fungsional komponen | 56 |
| Tabel IV. 8. Hasil pengujian respon sistem terhadap perubahan suhu | 59 |
| Tabel IV. 9. Hasil penilaian ahli sistem | 60 |

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

| SINGKATAN | Nama | Pemakaian pertama kali pada halaman |
|-------------|--|---|
| AMEM | <i>Airport Maintenance Electrical & Mechanical</i> | 33 |
| ANSI | <i>American National Standards Institute</i> | 3 |
| FGD | <i>Focus Group Discussion</i> | 26 |
| IDE | <i>Integrated Development Environment</i> | 20 |
| IEEE | <i>Institute of Electrical and Electronics</i> | 3 |
| IoT | <i>Internet of Things</i> | 2 |
| NTC | <i>Negative Temperature Coefficient</i> | 13 |
| R&D | <i>Research and Development</i> | 22 |
| SDP | <i>Sub Distribution Panel</i> | 3 |
| SMB II | Sultan Mahmud Badaruddin II | 3 |
| SNI | Standar Nasional Indonesia | 3 |
| SS2 | <i>Sub-station 2</i> | 2 |
| LAMBANG | | |
| C | Celcius | 13 |
| K | Kilo | 19 |
| R | Resistansi | 13 |
| T | Suhu | 13 |
| Ω | Ohm | 19 |
| β | Nilai Beta | 13 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bandar udara merupakan salah satu sarana dan prasarana yang harus ada dalam dunia penerbangan, berfungsi sebagai titik transit utama bagi pesawat, penumpang, dan kargo (Soleh dkk., 2022). Keberadaan bandara yang efisien dan handal sangat penting dalam menunjang mobilitas dan perekonomian suatu negara. Bandara tidak hanya memerlukan fasilitas fisik seperti landasan pacu dan terminal penumpang, tetapi juga infrastruktur pendukung yang sangat kompleks, termasuk sistem kelistrikan yang handal untuk memastikan operasional bandara berjalan dengan lancar. Pasokan listrik di bandara adalah aspek krusial yang menjamin semua operasi dan layanan di bandara berjalan dengan baik (Purba dkk, 2022). Sistem kelistrikan bandara harus mampu menyediakan listrik yang stabil untuk mendukung berbagai aktivitas bandara. Mengingat tingginya kebutuhan dan kompleksitas operasional, bandara biasanya memiliki jaringan listrik yang kompleks dan redundan untuk memastikan keandalan pasokan listrik.

Salah satu komponen vital dalam sistem distribusi untuk memastikan keandalan pasokan listrik di bandara adalah transformator atau trafo (Widiarto, 2023). Trafo berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan operasional. Di bandara, trafo berperan penting untuk memastikan bahwa berbagai fasilitas mendapatkan pasokan listrik dengan tegangan yang tepat. Hal ini sangat penting untuk menjaga efisiensi dan keamanan operasional peralatan listrik yang ada. Selain itu, trafo juga membantu dalam distribusi daya dari sumber utama ke berbagai bagian bandara, termasuk terminal penumpang, hanggar pesawat, dan fasilitas operasional lainnya. Pemeliharaan trafo merupakan salah satu aspek yang sangat penting untuk memastikan keandalan dan umur panjang dari komponen ini (Kumara, 2020). Pemeliharaan yang rutin dan terencana dapat mencegah kerusakan yang tidak diinginkan serta meminimalkan risiko kegagalan sistem.

Salah satu kegiatan pemeliharaan trafo adalah pemantauan suhu dan kontrol *exhaust fan* pada ruang trafo. *Exhaust fan* berfungsi untuk menjaga suhu ruang trafo agar tetap dalam batas yang aman, sehingga performa trafo tetap optimal dan terhindar dari *overheating* yang dapat menyebabkan kerusakan serius (Tamam dkk., 2023). *Exhaust fan* di ruang trafo harus berfungsi dengan baik untuk memastikan sirkulasi udara yang memadai, mencegah penumpukan panas, dan menjaga kondisi lingkungan yang optimal bagi trafo. Sistem *monitoring* suhu dan *control exhaust fan* yang canggih dapat membantu dalam mendeteksi masalah lebih dini dan mengambil tindakan yang tepat sebelum terjadi kerusakan. Sistem ini biasanya dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembaban yang terintegrasi dengan sistem kontrol otomatis, sehingga *exhaust fan* dapat beroperasi secara efisien sesuai dengan kondisi ruangan.

Saat ini, implementasi *Internet of Things* (IoT) dalam dunia industri telah membawa perubahan signifikan dalam pemeliharaan peralatan dan infrastruktur dimana IoT memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* dari berbagai sensor yang dipasang pada mesin dan perangkat industri (Nugroho dkk., 2018). Implementasi IoT dalam sistem pemeliharaan trafo dan *exhaust fan* di ruang trafo membuka peluang baru untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pemeliharaan. Data yang dikumpulkan ini mencakup informasi penting seperti suhu, kelembaban, getaran, tekanan, dan berbagai parameter operasional lainnya. Dengan analisis data ini, perusahaan dapat memantau kondisi peralatan secara terus-menerus, mendeteksi potensi masalah sebelum menjadi kritis, dan mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan. Salah satu keuntungan utama dari implementasi IoT dalam pemeliharaan adalah kemampuan untuk melakukan pemeliharaan prediktif dan memungkinkan otomatisasi dalam sistem pemeliharaan. Perangkat IoT dapat diintegrasikan dengan sistem kontrol otomatis yang dapat mengatur operasi peralatan berdasarkan kondisi *real-time*. Misalnya, jika sensor mendeteksi bahwa suhu mesin melebihi batas aman, sistem dapat secara otomatis menyesuaikan pengaturan atau menghentikan operasi untuk mencegah kerusakan.

Berdasarkan bukti dokumentasi *logbook* pemeliharaan pada kegiatan observasi dan diperkuat dengan wawancara bersama supervisor listrik yang dilakukan saat penulis melaksanakan OJT di Bandara Sultan Mahmud Badaruddin (SMB II) Palembang, pernah terjadi trip pada trafo (1600 kVA) di SS2 yang disebabkan oleh *overheat* pada tahun 2019. Salah satu faktor utamanya ialah faktor cuaca dan sirkulasi udara di ruangan yang kurang baik sehingga mengakibatkan suhu trafo melampaui batas normal. Hal ini membuat oli mengalami perubahan fisik, meningkatkan tekanan dalam trafo dan menyebabkan rembesan dari seal trafo. Kejadian tersebut tentunya berdampak pada operasioal bandara, di mana trafo SS2 mendistribusikan listrik ke terminal penumpang, sehingga menyebabkan aktivitas di terminal penumpang terhenti sementara waktu. Terlebih lagi, waktu yang diperlukan oleh teknisi untuk mengetahui, mengidentifikasi dan menemukan sumber masalah tersebut mengakibatkan gangguan dalam pelayanan bandara, seperti keterlambatan penerbangan dan penundaan keberangkatan.

Untuk mengatasi kejadian *trip* tersebut, telah dilakukan perbaikan segera dengan mengganti seal yang bocor dan penambahan waktu *on exhaust fan* pada *timer*, tetapi nyatanya berdasarkan wawancara dengan teknisi diketahui bahwa penambahan waktu *on* pada *timer* masih kurang efisien karena *exhaust fan* hanya akan beroperasi berdasarkan pengaturan waktu, bukan kondisi aktual suhu trafo. Dengan adanya kejadian ini menegaskan urgensi pemantauan suhu dan sistem pendingin yang efisien pada trafo untuk mencegah potensi *overheat*. Regulasi dari *American National Standards Institute* (ANSI) dan *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) C57.12.00 serta Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait trafo, juga mengamanatkan pemantauan suhu dan sistem pendingin sebagai bagian integral dari persyaratan perawatan trafo.

Pada penelitian sebelumnya telah dikembangkan *system monitoring* suhu berbasis IoT pada ruang server ITTelkom Surabaya (Maulana dkk., 2023), telah dikembangkan juga *system monitoring* trafo distribusi PT. PLN berbasis IoT (Prasetyo dkk., 2020) dan terdapat juga penelitian sejenis yang mengembangkan sistem *control* dan *monitoring* suhu pada *Sub Distribution Panel* (SDP) berbasis

IoT untuk mengurangi terjadinya *overheat* (Adibintang & Saputra, 2022). Namun belum ditemukan penelitian yang berfokus pada rancangan sistem *monitoring* suhu trafo dengan *control exhaust fan* untuk ruang trafo berbasis IoT, agar trafo dapat terus beroperasi pada suhu yang aman dan mencegah masalah termal yang terjadi akibat kualitas isolasi ruangan yang kurang baik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis mengembangkan “Prototipe sistem *monitoring* suhu trafo dan *control exhaust fan* berbasis IoT”. Rancangan ini menggunakan sensor suhu Thermistor NTC yang berfungsi untuk mengukur suhu pada trafo dan data suhu akan dikirim ke ESP8266. ESP8266 ini akan bertindak untuk mengontrol *exhaust fan*. Ini terjadi dengan bantuan sinyal IoT yang memungkinkan perangkat terkoneksi ke internet dan mengontrolnya melalui aplikasi atau perintah yang terkait secara nirkabel. Diharapkan sistem ini dapat meningkatkan keandalan dan kinerja trafo serta mencegah masalah termal yang disebabkan oleh kualitas isolasi ruangan yang kurang baik. Hasil dari Tugas Akhir ini juga dapat memberikan solusi yang inovatif dan efektif dalam *monitoring* suhu serta *control exhaust fan* trafo di SS2, yang dapat mendukung efisiensi dan keamanan operasional penerbangan di Bandara SMB II Palembang.

B. Rumusan Masalah

Rumusan permasalahannya ialah bagaimana cara mengupayakan sirkulasi udara di ruang trafo SS2 tetap kondusif untuk mencegah kemungkinan masalah termal yang terjadi pada trafo akibat lingkungan sekitar?.

C. Tujuan

Tujuannya adalah merancang produk berupa prototipe sistem *monitoring* suhu trafo dan *control exhaust fan* berbasis IoT, agar trafo beroperasi pada suhu yang aman. Produk ini dirancang sedemikian rupa menggunakan teknologi IoT sesuai fungsinya sebagai sistem pemantau suhu aktual trafo dan mengantisipasi potensi masalah termal yang terjadi akibat sirkulasi udara ruangan yang kurang baik.

D. Manfaat

Manfaat Tugas Akhir bagi penulis adalah memperoleh pengalaman yang berharga dalam merancang sistem *monitoring* suhu trafo dan *control exhaust fan* berbasis IoT, yang meningkatkan keterampilan teknis dan keahlian di bidang teknologi dan elektrikal. Tugas Akhir ini juga memberikan kontribusi akademik dengan menyumbangkan hasilnya pada pengetahuan akademik di bidang tersebut, serta memberikan dasar untuk penelitian lebih lanjut dalam bidang tersebut. Bagi bandara, menerapkan sistem ini dapat meningkatkan keandalan operasional trafo melalui *control exhaust fan* berdasarkan suhu aktual trafo, memperpanjang masa trafo dengan mencegah risiko kerusakan akibat *overheat*, dan meningkatkan keamanan operasional bandara dengan mengurangi potensi masalah termal akibat kualitas isolasi ruangan yang kurang baik. Tugas Akhir ini juga memberikan manfaat bagi teknisi melalui monitor suhu trafo secara *real-time*, teknisi dapat mendeteksi potensi masalah secara dini dan membantu perencanaan perawatan preventif trafo dengan lebih efisien.

E. Batasan Masalah

Tugas Akhir ini berfokus pada perancangan sistem *monitoring* suhu trafo dan *control exhaust fan* berbasis IoT (*Internet of Things*) menggunakan aplikasi Blynk, sehingga trafo dapat dipantau dan diatur agar tetap beroperasi pada suhu yang aman dan mencegah masalah termal yang dapat terjadi akibat sirkulasi udara yang kurang baik di ruang SS2 Bandara SMB II Palembang. Namun, penting untuk dicatat bahwa produk akhir yang dihasilkan masih berupa prototipe atau model awal, sehingga perlu tahapan selanjutnya untuk dapat diimplementasikan ke lapangan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Transformator (Trafo)

Transformator atau sering disebut trafo, adalah perangkat listrik yang digunakan untuk mengubah tingkat tegangan listrik dalam suatu sistem tenaga (Sasambi dkk., 2023). Trafo berfungsi berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yang memungkinkan transfer energi listrik antara dua atau lebih kumparan melalui medan magnet. Trafo banyak digunakan dalam distribusi listrik untuk menaikkan atau menurunkan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan pengguna akhir. Trafo terdiri dari dua kumparan utama: kumparan primer dan kumparan sekunder, yang dililitkan pada inti besi. Ketika arus listrik mengalir melalui kumparan primer, medan magnet yang dihasilkan akan menginduksi tegangan di kumparan sekunder. Rasio jumlah lilitan antara kumparan primer dan sekunder menentukan apakah transformator akan menaikkan (*step-up*) atau menurunkan (*step-down*) tegangan listrik (Harahap dkk., 2019).

Pemeliharaan rutin pada trafo sangat penting untuk memastikan kinerja yang optimal dan memperpanjang umur pakainya. Beberapa langkah pemeliharaan yang umum dilakukan meliputi:

- Pemeriksaan Visual: Mengecek kondisi fisik trafo, termasuk kebocoran minyak, kondisi isolasi, dan integritas fisik.
- Pengujian Minyak Trafo: Menguji kualitas minyak trafo untuk memastikan tidak ada kontaminasi atau degradasi yang dapat mempengaruhi performa isolasi dan pendinginan.
- Pengujian Listrik: Melakukan pengujian tegangan, arus, dan resistansi untuk mendeteksi potensi masalah seperti hubung singkat atau lilitan yang rusak.
- Sistem Pendinginan: Memastikan sistem pendinginan berfungsi dengan baik, termasuk kipas dan radiator, untuk mencegah *overheat* yang dapat merusak trafo.

Berikut adalah penyebab utama terjadinya overheat pada trafo beserta penjelasannya:

- *Overloading*
Beban berlebih menyebabkan arus yang lebih tinggi mengalir melalui lilitan trafo, meningkatkan suhu karena resistansi lilitan menghasilkan panas yang lebih besar.
- Pendinginan yang tidak efektif
Trafo membutuhkan sistem pendinginan untuk menghilangkan panas yang dihasilkan selama operasi. Jika sistem pendinginan tidak berfungsi, panas akan terakumulasi dan menyebabkan suhu trafo meningkat.
- Lingkungan yang panas
Lingkungan yang panas mengurangi kemampuan trafo untuk melepaskan panas ke sekitarnya, menyebabkan suhu internal trafo naik.
- Kualitas isolasi yang buruk
Isolasi yang buruk menyebabkan arus bocor dan panas tambahan di dalam trafo, yang dapat mengakibatkan pemanasan berlebih.

Suhu adalah faktor kritis dalam operasi trafo. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi minyak trafo, kerusakan isolasi, dan menurunkan umur pakai trafo. Oleh karena itu, menjaga suhu ruang trafo dalam batas yang aman sangat penting. Suhu trafo tergantung pada spesifikasi trafo dan lingkungan operasional, sedangkan suhu untuk *over* trafo berada pada kisaran 10°-20° C di atas suhu maksimal trafo, yang tertera pada *template* spesifikasi trafo dari pabriknya. Pendinginan yang memadai, baik melalui ventilasi alami atau sistem pendingin aktif, sangat penting untuk menjaga suhu dalam rentang ini. Trafo yang merupakan komponen kunci dalam sistem distribusi tenaga listrik, berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik sesuai kebutuhan. Pemahaman tentang prinsip kerja, jenis-jenis, komponen, dan pentingnya pemeliharaan trafo sangat penting untuk memastikan operasi yang efisien dan aman. Dengan pemeliharaan yang tepat dan pengendalian suhu yang baik, trafo dapat berfungsi dengan optimal dan memiliki umur pakai yang panjang.

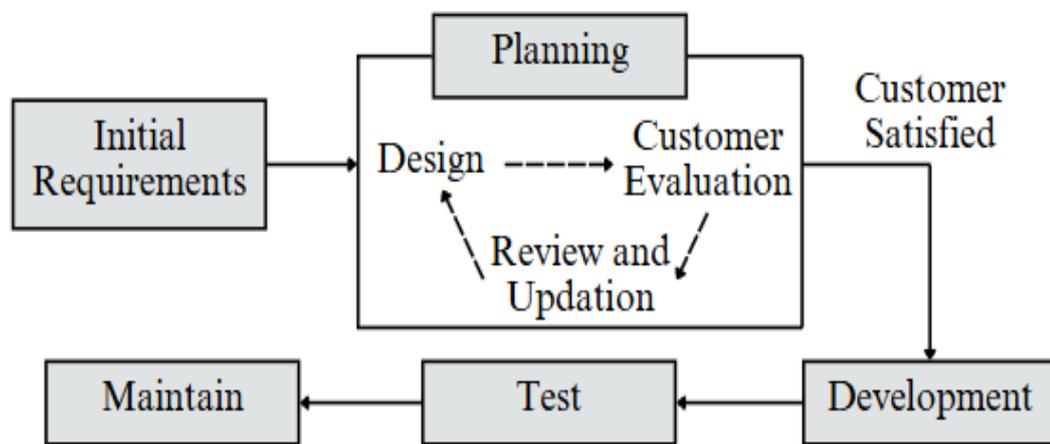
B. Pemantauan Suhu dan Sistem Pendingin Trafo

Trafo merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang berperan penting dalam mentransfer energi listrik dari satu tingkat tegangan ke tingkat lainnya (Permata & Lestari, 2020). Untuk menjaga kinerja dan umur panjang trafo, pemantauan suhu dan sistem pendingin yang efektif sangat penting. Suhu yang tidak terkendali dapat menyebabkan degradasi isolasi, kerusakan komponen, dan kegagalan operasi. *American National Standards Institute (ANSI)* dan *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* [C57.12.00](#) menekankan pentingnya pemantauan suhu dan sistem pendingin sebagai bagian integral dari persyaratan dan pengujian transformator untuk mencegah *overheat* dan masalah lainnya. Suhu operasional trafo merupakan indikator kesehatan dan kinerja trafo. Suhu yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan berbagai masalah, seperti degradasi minyak trafo, kerusakan isolasi, serta memperpendek umur pakai trafo. Pemantauan suhu trafo dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satu yang sekarang sering digunakan adalah menggunakan sensor suhu berbasis IoT. Teknologi terbaru ini mengintegrasikan sensor suhu yang terhubung dengan jaringan IoT untuk pemantauan suhu secara *real-time* dan berbasis *cloud*, memungkinkan analisis data dan deteksi dini masalah.

Pemantauan suhu dan sistem pendingin trafo adalah aspek penting dalam operasi dan pemeliharaan trafo. Pemantauan suhu yang tepat dapat memberikan wawasan tentang kondisi operasional transformator dan membantu mendeteksi potensi masalah atau *overheat* yang dapat merusak isolasi atau minyak transformator. Pemantauan suhu secara kontinu tidak hanya memberikan peringatan dini terhadap kondisi yang tidak normal, tetapi juga mendukung strategi perawatan *preventif* (Lestari dkk., 2020). Melalui data suhu, operator dapat merencanakan jadwal perawatan yang tepat, seperti pembersihan radiator atau penggantian minyak, untuk meminimalkan risiko kegagalan transformator. Dengan demikian, pemantauan suhu dan sistem pendingin yang efektif menjadi kunci untuk menjaga kinerja dan keandalan trafo dalam sistem tenaga listrik.

C. Metode *Prototype*

Metode *prototype* adalah pendekatan dalam pengembangan perangkat atau sistem di mana pengembang membuat model awal (*prototipe*) dari aplikasi atau sistem yang akan dibuat (Mulyanto dkk., 2023). *Prototipe* ini digunakan untuk menerima umpan balik dari pengguna atau pihak terkait lainnya guna memahami dan mengidentifikasi kebutuhan yang sebenarnya. *Prototipe* dapat berupa representasi fungsional, visual, atau konseptual dari sistem yang akan dikembangkan. Dengan demikian, metode *prototype* membantu mengurangi risiko kesalahan desain dan kegagalan aplikasi karena memungkinkan perbaikan sebelum implementasi penuh. Tujuan utama dari metode *prototype* adalah untuk memahami kebutuhan pengguna dengan lebih baik dan mendapatkan umpan balik sejak awal, sehingga perbaikan dan perubahan dapat dilakukan sebelum pembuatan versi produk yang lengkap.



Gambar II. 1. Alur metode *prototype*

Tahapan metode *prototype* melibatkan serangkaian langkah yang esensial dalam proses pengembangan *prototipe*. Setiap tahap memainkan peran penting dalam memahami kebutuhan pengguna, mengidentifikasi masalah, dan menciptakan *prototipe* yang efektif. Secara umum tahapan metode *prototype* meliputi:

- Identifikasi Kebutuhan (*Initial Requirements*)

Langkah pertama adalah mengidentifikasi dan memahami kebutuhan pengguna atau pemangku kepentingan. Melalui wawancara dan diskusi, tim pengembang mengumpulkan informasi yang tepat mengenai apa yang diharapkan pengguna dari alat atau sistem yang akan dikembangkan.

- *Perencanaan (Planning)*

Setelah kebutuhan diketahui, langkah berikutnya adalah merancang prototipe, yang mencakup desain alat, alur kerja sistem serta desain *interface*. Desain ini kemudian diperlihatkan kepada pengguna atau pemangku kepentingan lainnya untuk mendapatkan masukan dan umpan balik. Berdasarkan umpan balik yang diterima, jika terdapat masukan desain akan direvisi dan diperbaiki.
- *Pengembangan (Development)*

Pada tahap ini, prototipe dikembangkan berdasarkan desain yang telah disepakati. Tim pengembang akan menciptakan prototipe yang sesuai dengan desain dan dibangun dengan sempurna. Selanjutnya, prototipe diperlihatkan kepada pengguna atau pemangku kepentingan lainnya untuk mendapatkan masukan dan umpan balik. Berdasarkan umpan balik yang diterima, prototipe dapat direvisi dan diperbaiki. Tahap ini dapat diulang beberapa kali, tergantung pada kompleksitas dan skala proyek, dengan setiap iterasi membawa perbaikan lebih lanjut hingga prototipe mencapai tingkat yang memuaskan dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.
- *Pengujian (Test)*

Setelah prototipe dikembangkan, tahap selanjutnya adalah pengujian dan evaluasi. prototipe akan diuji untuk memastikan bahwa seluruh fitur dan fungsionalitasnya beroperasi dengan baik. Pengujian ini mencakup pemeriksaan kinerja setiap komponen, deteksi potensi masalah, dan verifikasi bahwa sistem memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Evaluasi dilakukan dengan simulasi kondisi operasional sebenarnya untuk memastikan keandalan dan efektivitas sistem.
- *Pengembangan Produk Final*

Setelah prototipe dianggap sesuai dan memenuhi kebutuhan pengguna, tahap terakhir adalah mengembangkan produk perangkat final berdasarkan desain dan fitur yang telah disempurnakan dari prototipe. Pada tahap ini, tim pengembang akan menyempurnakan semua aspek sistem, memastikan stabilitas dan keandalan jangka panjang.

D. Teori Penunjang

Untuk mendukung Tugas Akhir ini, terdapat alat dan *software* yang digunakan dalam pembuatan sistem yang dirancang yang mana setiap alat dipilih sesuai dengan kebutuhan teknis dan operasional Tugas Akhir. Berikut adalah daftar alat-alat dan *software* yang digunakan:

1. *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) adalah jaringan cerdas yang menghubungkan dunia fisik dan digital, memungkinkan objek fisik terhubung ke internet untuk berkomunikasi dan berbagi data. IoT melibatkan penggunaan sensor, perangkat keras, perangkat lunak, dan jaringan untuk mengumpulkan dan bertukar data. Sensor-sensor mendeteksi informasi dari lingkungan fisik, dan informasi ini dikirimkan melalui jaringan ke sistem yang memproses dan memberikan respons. Adanya IoT dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas dengan memantau dan mengelola perangkat secara otomatis serta dapat melakukan pemantauan secara *real-time* serta membantu dalam mengambil keputusan yang cepat dan akurat (Lampropoulos dkk., 2019).



Gambar II. 2. Logo blynk

Salah satu *platform* pengembangan IoT yang terkenal dan sering digunakan yaitu Blynk (Parinduri, 2019). Blynk menyediakan solusi untuk membuat proyek IoT tanpa perlu keahlian pemrograman yang mendalam, dengan antarmuka pengguna yang mudah digunakan untuk mengintegrasikan perangkat keras, pengumpulan data dan kontrol jarak jauh melalui perangkat seluler. Dalam perancangan ini, pemilihan Blynk sebagai platform IoT diputuskan karena mudah digunakan dan fleksibel dalam mengintegrasikan berbagai jenis perangkat keras, serta kemampuannya untuk memberikan kontrol jarak jauh melalui perangkat seluler.

Blynk memiliki beberapa keunggulan yang menjadikannya pilihan populer dalam pengembangan aplikasi IoT:

- **Kemudahan Penggunaan**
Antarmuka grafis yang intuitif memungkinkan pengguna membangun dashboard dengan cepat tanpa memerlukan pemrograman kompleks.
- **Kompatibilitas yang Luas**
Mendukung berbagai jenis mikrokontroler dan protokol komunikasi, membuatnya fleksibel untuk berbagai aplikasi IoT.
- **Cloud Integration**
Menyediakan *server cloud* yang andal untuk penyimpanan data dan komunikasi, tetapi juga memungkinkan penggunaan *server* lokal untuk kebutuhan khusus.
- **Widget yang Beragam**
Menawarkan berbagai *widget* yang bisa digunakan untuk kontrol dan *monitoring*, memungkinkan pengguna menyesuaikan antarmuka sesuai dengan kebutuhan proyek.
- **Komunitas dan Dokumentasi**
Dukungan komunitas yang luas dan dokumentasi yang lengkap memudahkan pengguna menemukan solusi dan inspirasi untuk proyek mereka.

Blynk adalah *platform* yang kuat dan fleksibel untuk pengembangan aplikasi IoT, menawarkan berbagai fitur dan kemudahan penggunaan yang memungkinkan pengguna dari berbagai tingkat keahlian untuk membuat dan mengelola proyek IoT. Dengan dukungan komunitas yang luas dan kompatibilitas dengan berbagai perangkat keras, Blynk menjadi pilihan utama untuk menghubungkan dunia fisik dengan aplikasi *mobile*, menciptakan solusi IoT yang inovatif dan efektif. Dengan terus berkembangnya teknologi IoT dan meningkatnya kebutuhan akan solusi yang lebih pintar dan terhubung, Blynk akan terus memainkan peran penting dalam mendorong inovasi dan transformasi digital di berbagai sektor.

2. NTC Thermistor with Ring Lug

NTC (*Negative Temperature Coefficient*) thermistor adalah sensor suhu yang resistansinya menurun seiring dengan peningkatan suhu (Das dkk., 2023). Salah satu variasi dari NTC thermistor adalah NTC *Thermistor with Ring Lug*, yang dilengkapi dengan lug atau terminal berbentuk cincin. Varian ini memungkinkan pemasangan yang mudah dan kontak termal yang baik pada permukaan yang diukur. Thermistor NTC bekerja berdasarkan prinsip bahwa resistansi material semikonduktor tertentu berkurang secara eksponensial dengan peningkatan suhu (Mursanto dkk., 2020). Ketika suhu naik, energi termal yang ditambahkan meningkatkan jumlah pembawa muatan (elektron dan hole) dalam semikonduktor, sehingga mengurangi resistansinya. B atau β parameter *equation* sering digunakan untuk menghubungkan resistansi thermistor NTC dengan suhu:

$$R(T) = R_0 \times e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (1)$$

Keterangan:

$R(T)$ = Resistansi suhu (Kelvin)

R_0 = Resistensi suhu referensi T_0 (10k ohm)

β = Konstantan beta (3950)

T = Suhu dalam Kelvin

T_0 = Suhu referensi ($25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$)

NTC thermistor dengan *ring lug* memiliki beberapa karakteristik unggul yang membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi. Desain dan konstruksinya memungkinkan pemasangan mekanis yang mudah, berkat terminal berbentuk cincin yang memastikan kontak termal optimal. Dengan rentang suhu operasional yang luas, mulai dari -50°C hingga 125°C . Kepekaan tinggi adalah salah satu keunggulan utama dari thermistor ini, ia menunjukkan perubahan resistansi yang signifikan dengan perubahan kecil pada suhu dan memiliki waktu respon cepat, memungkinkan pengukuran suhu secara *real-time*. Ketepatan adalah aspek lain yang menonjol dari NTC thermistor dengan *ring lug*. Dengan akurasi yang tinggi, kisaran $\pm 0.1^\circ\text{C}$ hingga $\pm 1.0^\circ\text{C}$, thermistor ini dapat diandalkan untuk berbagai aplikasi yang memerlukan pengukuran suhu yang presisi.

Dalam konteks IoT, sensor ini dapat diintegrasikan dengan modul komunikasi seperti ESP8266 untuk mengirim data suhu ke *cloud* atau *platform monitoring* secara *real-time*. Hal ini memungkinkan pengguna melakukan pemantauan dan analisis suhu dari jarak jauh melalui jaringan internet. Dengan kepekaan tinggi, respon cepat, dan kemampuan pemasangan yang kokoh menjadikan sensor ini pilihan populer dalam banyak proyek IoT di berbagai aplikasi mulai dari industri, otomotif, medis, elektronik, dan HVAC. Implementasi sensor ini tidak hanya meningkatkan pemantauan suhu tetapi juga berkontribusi pada pengambilan keputusan yang lebih baik berdasarkan data suhu yang akurat dan *real-time*.

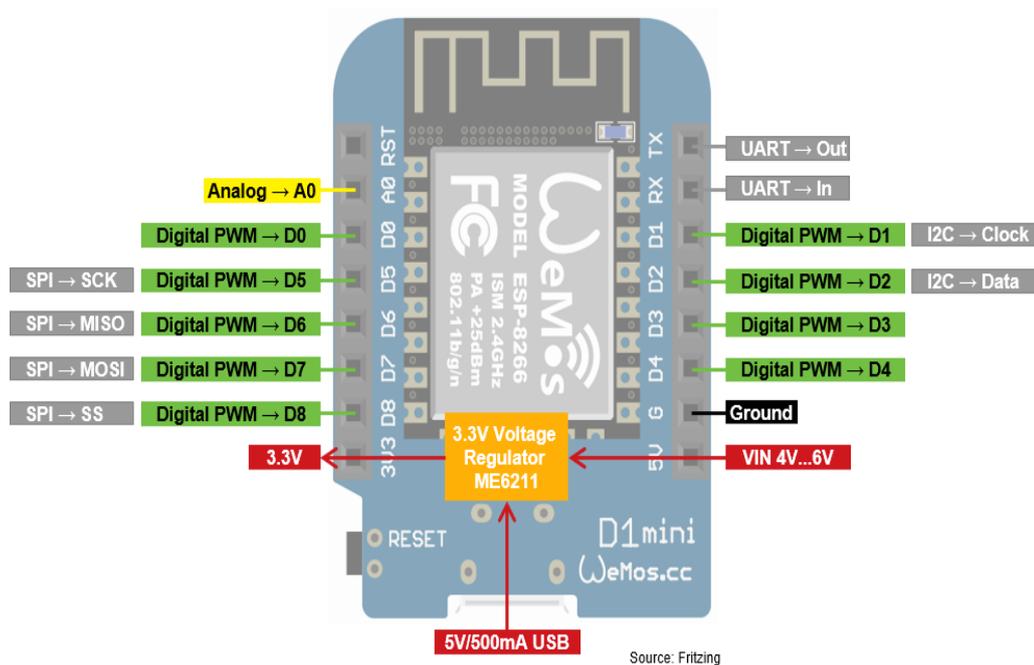
3. WeMos D1 Mini ESP8266

WeMos D1 *Mini* ESP8266 adalah modul mikrokontroler yang dirancang untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT) (Rahman & Salim, 2022). Modul ini didasarkan pada *chip* ESP8266 yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, yang dikenal karena kemampuannya dalam menyediakan konektivitas *Wi-Fi* yang andal dan mendukung berbagai protokol komunikasi. WeMos D1 *Mini* adalah pilihan populer di kalangan pengembang IoT karena ukurannya yang kecil, daya rendah, dan fleksibilitas dalam integrasi dengan sensor dan actuator (Wendanto dkk., 2021). WeMos D1 *Mini* memiliki beberapa keunggulan yaitu konektivitas *Wi-Fi* yang andal, ukuran yang kompak untuk integrasi dalam proyek dengan ruang terbatas, fleksibilitas penggunaan dengan dukungan berbagai protokol komunikasi serta banyaknya pin I/O, dan kompatibel dengan berbagai lingkungan pemrograman seperti Arduino IDE yang menyediakan kemudahan dan fleksibilitas bagi pengembang.

Modul WeMos D1 *Mini* ESP8266 memiliki beberapa spesifikasi teknis yang menonjol (Hidayatullah dkk., 2020):

- *Chip* ESP8266: Memiliki *prosesor Tensilica* L106 32-bit RISC dengan kecepatan hingga 80 MHz dan mendukung RTOS.
- Memori: Dilengkapi dengan 4 MB *flash memory* untuk penyimpanan *firmware* dan data.

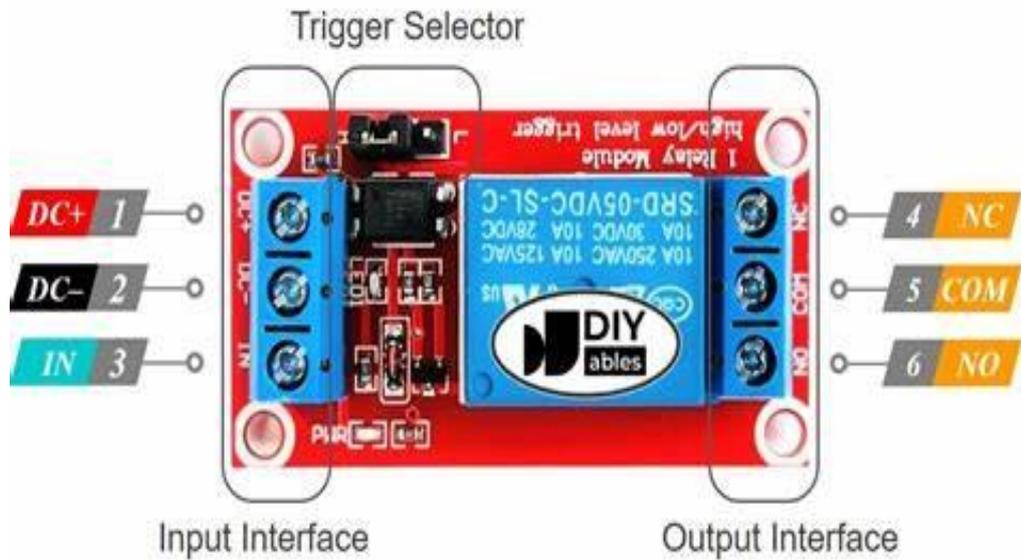
- Pin I/O: Memiliki 11 pin digital I/O yang dapat digunakan untuk menghubungkan berbagai sensor dan aktuator.
- Komunikasi: Mendukung protokol komunikasi seperti UART, SPI, dan I2C.
- *Wi-Fi*: Modul ini memiliki *built-in Wi-Fi* 802.11 b/g/n yang memungkinkan konektivitas internet langsung.
- *Power Supply*: Beroperasi pada tegangan 3.3V, dengan dukungan untuk daya melalui *port* USB mikro atau pin VIN.



Gambar II. 3. Modul ESP8266

WeMos D1 *Mini* ESP8266 adalah modul mikrokontroler yang ideal untuk aplikasi IoT berkat konektivitas Wi-Fi yang andal, ukuran yang kompak, dan fleksibilitas dalam penggunaan. Kemampuannya untuk diintegrasikan dengan berbagai sensor dan aktuator, serta dukungan dari komunitas yang luas dan dokumentasi yang komprehensif, menjadikan WeMos D1 *Mini* pilihan utama bagi pengembang IoT, baik untuk proyek komersial maupun DIY. Implementasi sensor ini tidak hanya meningkatkan pemantauan suhu tetapi juga berkontribusi pada pengambilan keputusan yang lebih baik berdasarkan data suhu yang akurat dan *real-time*.

4. *Module Relay 1 Channel*



Gambar II. 4. *Relay*

Relay 1 channel adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengontrol aliran listrik pada satu sirkuit Tunggal (Parsaeefard & Le-Ngoc, 2018). Relay ini berfungsi sebagai saklar elektronik yang dapat mengatur aliran arus listrik berdasarkan sinyal kontrol yang diberikan ke terminal inputnya (Cover & El Gamal, 2018). Dengan menggunakan *relay 1 channel*, pengguna dapat mengendalikan perangkat listrik seperti lampu, motor, atau peralatan lainnya secara remote atau otomatis. Perangkat ini berguna dan serbaguna dalam mengontrol aliran listrik pada satu sirkuit tunggal. Dengan kemampuannya untuk mengendalikan perangkat listrik dengan mudah dan aman, *relay 1 channel* merupakan pilihan yang populer dalam berbagai aplikasi elektronik. Dengan keunggulan seperti kemudahan penggunaan, fleksibilitas, dan kemampuan mengontrol arus besar, *relay 1 channel* tetap menjadi salah satu komponen utama dalam proyek-proyek elektronik modern. *Relay 1 channel* terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk (Chaaban & Sezgin, 2018):

- *Coil*

Bagian dari *relay* yang menghasilkan medan magnet ketika arus diberikan. Medan magnet ini menggerakkan kontak *internal relay* untuk membuka atau menutup sirkuit.

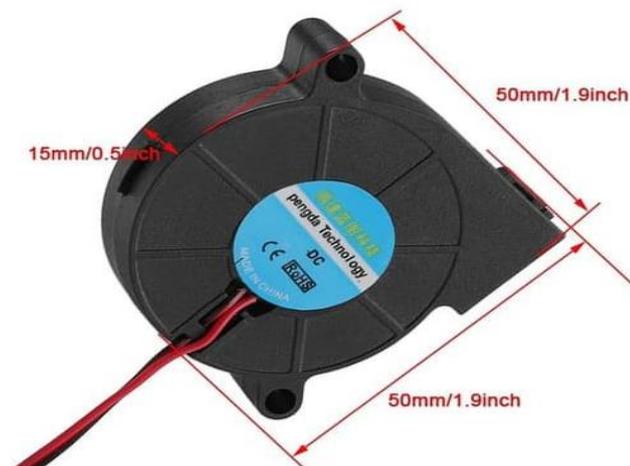
- Kontak

Bagian dari *relay* yang membuka atau menutup sirkuit listrik sesuai dengan kondisi medan magnet dari *coil*. *Relay 1 channel* memiliki satu pasang kontak yang terbuka atau tertutup bergantung pada status *relay*.

- Terminal

Terminal *input* dan *output* untuk koneksi ke sumber daya dan perangkat yang akan dikontrol. Biasanya terdapat tiga terminal: terminal *input* (biasanya dilabeli sebagai NO, NC, atau COM), terminal *output* (biasanya NO atau COM), dan terminal kontrol (biasanya dilabeli sebagai *coil*).

5. *Mini Blower Fan (Brushless Kipas Keong)*



Gambar II. 5. *Mini blower fan*

Mini Blower Fan (Brushless Kipas Keong) adalah jenis kipas kecil yang dirancang untuk menghasilkan aliran udara yang kuat dalam ruang terbatas (Chen, 2020). Kipas ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik, seperti pendinginan perangkat, sirkulasi udara dalam sistem ventilasi, dan pendinginan pendingin CPU pada komputer. *Mini Blower Fan* adalah kipas kecil yang efisien dan efektif dalam menghasilkan aliran udara yang kuat dalam ruang terbatas. Dengan ukuran yang kecil (50x50x15 mm), efisiensi energi, dan kemampuan menghasilkan aliran udara yang kuat, kipas keong merupakan pilihan yang populer untuk berbagai aplikasi, termasuk pendinginan perangkat, ventilasi ruangan, dan pendinginan komputer. Dengan terus berkembangnya teknologi, *Mini Blower Fan (12 Volt)* terus menjadi komponen yang penting dalam berbagai proyek elektronik modern.

Mini Blower Fan terdiri dari beberapa komponen utama yang berperan penting dalam kinerja dan efisiensinya. Salah satu komponen utamanya adalah motor *brushless*. Kipas keong biasanya dilengkapi dengan motor *brushless* yang lebih efisien dan tahan lama dibandingkan dengan motor *brushed*. Motor ini menghasilkan putaran yang tinggi dengan kebisingan yang rendah, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi di mana kebisingan harus diminimalkan. Komponen penting lainnya adalah baling-baling yang dipasang pada motor. Baling-baling ini menghasilkan aliran udara yang kuat, dan desain kipas keong memungkinkan aliran udara yang lebih fokus dan terarah dibandingkan dengan kipas konvensional. Selain itu, *Mini Blower Fan* sering dilengkapi dengan rangkaian elektronik yang mengontrol kecepatan putaran motor dan arus udara yang dihasilkan, memastikan performa optimal dan efisiensi energi yang tinggi.

6. Resistor

Resistor adalah salah satu komponen penting dalam dunia elektronika yang berfungsi untuk mengatur aliran arus listrik dalam suatu rangkaian dengan membatasi atau menahan aliran tersebut (Tanaka, 2022). Dengan kemampuannya untuk menimbulkan hambatan terhadap arus listrik, resistor memungkinkan pengaturan nilai tegangan, arus, dan daya dalam berbagai aplikasi elektronik. Resistor dengan nilai $10\text{K } \Omega$ (10.000 Ohm) merupakan salah satu jenis resistor yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik, termasuk dalam pembuatan sistem *monitoring* suhu trafo dan kontrol *exhaust fan* berbasis IoT ini.

Resistor $10\text{K } \Omega$ memiliki beberapa spesifikasi penting yang menjadikannya pilihan tepat. Resistor ini umumnya terbuat dari bahan karbon atau *film* metal, yang memberikan stabilitas dan ketahanan yang baik terhadap perubahan suhu dan tegangan. Nilai resistansi $10\text{K } \Omega$ menunjukkan bahwa resistor ini dapat menghambat arus listrik sebesar 10.000Ω . Selain itu, resistor ini biasanya memiliki daya maksimum yang dapat ditangani, seperti $1/4$ watt atau $1/2$ watt, yang menentukan seberapa banyak energi listrik yang dapat diserap tanpa mengalami kerusakan.

Penggunaan resistor $10K \Omega$ dalam sistem ini didasarkan pada beberapa alasan utama. Pertama, resistor ini digunakan dalam rangkaian pembagi tegangan bersama dengan thermistor NTC. Thermistor NTC mengubah resistansinya berdasarkan suhu, dan bersama dengan resistor $10K \Omega$, dapat membentuk rangkaian pembagi tegangan yang menghasilkan tegangan yang proporsional dengan suhu yang diukur. Tegangan ini kemudian dibaca oleh ESP8266 untuk menentukan suhu aktual. Kedua, resistor $10K \Omega$ digunakan untuk mengatur sinyal dari sensor suhu agar berada dalam rentang yang dapat dibaca oleh ESP8266. ESP8266 memiliki batasan pada rentang tegangan input yang dapat diukur oleh pin analog-nya. Dengan menggunakan resistor $10K \Omega$, sinyal dari sensor suhu dapat disesuaikan agar tetap berada dalam batas aman dan dapat diproses dengan akurat oleh mikrokontroler. Ketiga, resistor ini juga membantu dalam stabilisasi rangkaian, mengurangi *noise*, dan melindungi komponen lainnya dari lonjakan tegangan yang mungkin terjadi. Dengan demikian, resistor $10K \Omega$ memainkan peran penting dalam memastikan bahwa sistem bekerja dengan stabil dan andal. Secara keseluruhan, pemilihan resistor $10K \Omega$ dalam sistem *monitoring* suhu trafo dan kontrol *exhaust fan* berbasis IoT adalah pilihan yang tepat karena memberikan stabilitas, keakuratan, dan proteksi yang diperlukan dalam aplikasi ini.

7. Perangkat Lunak (Arduino IDE)

Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengkompilasi, dan mengunggah kode ke papan mikrokontroler Arduino (Mudda, 2023). Arduino IDE pertama kali diperkenalkan pada tahun 2005 sebagai bagian dari proyek Arduino, yang bertujuan untuk menyediakan *platform* pengembangan perangkat keras yang murah dan mudah diakses. IDE ini telah mengalami banyak evolusi sejak peluncuran awalnya, dengan penambahan fitur-fitur baru dan perbaikan performa yang signifikan. Versi terbaru dari Arduino IDE menawarkan berbagai peningkatan, termasuk antarmuka pengguna yang lebih intuitif, dukungan untuk berbagai jenis papan mikrokontroler, dan integrasi dengan layanan *cloud* (Perumal dkk., 2021).



Gambar II. 6. Arduino IDE

Arduino IDE memainkan peran penting dalam pengembangan proyek *Internet of Things* (IoT). Dengan dukungan untuk berbagai modul komunikasi seperti *Wi-Fi*, *Bluetooth*, dan *GSM*, pengguna dapat dengan mudah menghubungkan perangkat keras mereka ke internet dan membuat aplikasi IoT yang kompleks. Kombinasi antara kesederhanaan penggunaan dan fleksibilitas dalam integrasi berbagai modul menjadikan Arduino IDE sebagai alat yang ideal untuk prototipe cepat dan pengembangan proyek IoT. Berikut beberapa keunggulan penggunaan Arduino IDE dalam proyek IoT:

- **Prototyping Cepat:** Arduino IDE memungkinkan pengembang untuk dengan cepat membuat prototipe perangkat IoT. Dengan hanya beberapa baris kode, pengguna dapat membaca data dari sensor, memprosesnya, dan mengirimkan hasilnya ke *cloud* atau perangkat lain.
- **Integrasi dengan Platform Cloud:** Banyak proyek IoT memerlukan integrasi dengan platform cloud untuk penyimpanan data, analitik, dan pengendalian jarak jauh. Arduino IDE mendukung berbagai pustaka yang mempermudah koneksi ke layanan *cloud* seperti *AWS*, *Google Cloud*, dan *ThingSpeak*.
- **Pemantauan dan Pengendalian Real-time:** Dengan menggunakan Arduino IDE, pengembang dapat menciptakan aplikasi yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian perangkat secara *real-time* melalui antarmuka web atau aplikasi *mobile*.

E. Penelitian yang Relevan

Terdapat beberapa penelitian terkait penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam konteks industri (Dirgantara & Suryadarma, 2022; Fadillah & Gunawan, 2024), (Syamsu dkk., 2022), (Minardi dkk., 2023), (Hayati dkk., 2023), (Hartanto & Sanputra, 2023). Beberapa penelitian tersebut mungkin telah memuat metode, model dan prinsip yang dapat diadopsi serta dijadikan referensi dalam penyusunan penelitian ini. Implementasi *Internet of Things* (IoT) dalam fasilitas industri seperti bandara, telah terbukti efektif dalam meningkatkan tingkat pengalaman dan kepuasan penumpang (Yuliana dkk., 2020). Selain itu, penelitian terkait *system monitoring* suhu berbasis IoT telah dilakukan pada ruang server IT Telkom Surabaya (Maulana dkk., 2023) dan juga *system monitoring* suhu berbasis IoT pada ruang trafo distribusi PT.PLN (Prasetyo dkk., 2020). Terdapat juga penelitian sejenis yang mengembangkan sistem *control* dan *monitoring* suhu pada *Sub Distribution Panel* (SDP) berbasis IoT untuk mengurangi terjadinya *overheat* (Adibintang & Saputra, 2022).

Namun, meskipun telah ada beberapa penelitian sebelumnya tentang implementasi IoT dalam pemantauan suhu, belum ditemukan penelitian yang secara spesifik fokus pada rancangan sistem *monitoring* suhu trafo dengan *control exhaust fan* yang mengintegrasikan *Internet of Things* (IoT) sebagai sistem pemantau suhu trafo agar trafo tetap beroperasi pada suhu lingkungan yang aman dan mencegah kerusakan akibat *overheat*. Hal ini menunjukkan kebutuhan untuk penelitian lebih lanjut dalam pengembangan solusi yang komprehensif untuk *monitoring* suhu trafo dengan memanfaatkan teknologi IoT guna meningkatkan keamanan dan kinerja sistem secara keseluruhan.