

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BERBASIS ESP-32 GUNA
DETEKSI DINI KONDISI ABNORMAL**

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat kelulusan pendidikan
Program Studi Teknik Listrik Bandara Program Sarjana Terapan

Oleh

ABIMANYU FURQAN AL-HAGUS

NIT : 16042210001



**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK BANDARA
PROGRAM SARJANA TERAPAN
POLITEKNIK PENERBANGAN INDONESIA CURUG**

2026

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BERBASIS ESP-32 GUNA DETEKSI DINI KONDISI ABNORMAL

Oleh:

ABIMANYU FURQAN AL-HAGUS
NIT: 16042210001

Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara

Fenomena peningkatan beban transformator distribusi dapat menyebabkan arus tiap fasa mendekati atau melampaui batas operasi, disertai kenaikan suhu dan ketidakseimbangan beban yang berpotensi menurunkan keandalan transformator. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya sistem pemantauan yang mampu memberikan informasi secara cepat dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring kondisi transformator distribusi berbasis mikrokontroler ESP-32 untuk memantau arus tiap fasa dan suhu secara *real-time* serta mengolah data menjadi informasi *overload*, *overheat*, dan *unbalance*. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan delapan tahapan, yaitu potensi dan masalah, pengumpulan data, desain produk, validasi desain, revisi desain, uji coba produk, revisi produk, dan uji coba pemakaian. Purwarupa menggunakan sensor SCT-013, DS18B20, ESP-32, *Firebase Realtime Database*, dan web monitoring. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu membaca, mengolah, mengirim, dan menampilkan data secara *real-time*.

Kata kunci : Transformator distribusi, ESP-32, Monitoring, Arus, Suhu

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN ESP-32-BASED DISTRIBUTION TRANSFORMER MONITORING SYSTEM FOR EARLY DETECTION OF ABNORMAL CONDITIONS

By:

ABIMANYU FURQAN AL-HAGUS
NIT: 16042210001

Study Program of Diploma IV Airport Electrical Engineering

The phenomenon of increasing distribution transformer loads can cause phase currents to approach or exceed operating limits, accompanied by rising temperature and load imbalance that may affect transformer reliability. This condition indicates the need for a monitoring system capable of providing information quickly and continuously. This study aims to design and develop a distribution transformer condition monitoring system based on an ESP-32 microcontroller to monitor phase currents and temperature in real time and process the data into overload, overheat, and unbalance information. The research employed Research and Development (R&D) consisting of eight stages: potential and problems, data collection, product design, design validation, design revision, product testing, product revision, and usage testing. The prototype uses SCT-013 current sensors, a DS18B20 temperature sensor, ESP-32, Firebase Realtime Database, and a web monitoring application. The test results show that the system can measure, process, transmit, and display data in real time.

Keywords : Distribution transformer, ESP-32, Monitoring, Current, Temperature

PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas Akhir: “RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BERBASIS ESP-32 GUNA DETEKSI DINI KONDISI ABNORMAL” telah diperiksa dan disetujui untuk diuji sebagai salah satu syarat lulus Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara Angkatan ke-24, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug Tangerang.



Nama : Abimanyu Furqan Al-Hagus

NIT : 16042210001

PEMBIMBING I



TARYANA, S.SiT., M.M.

NIP. 19681019 199203 1 001

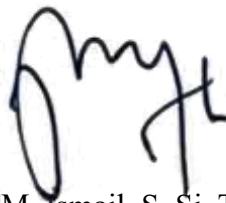
PEMBIMBING II



NURUL AZIZAH SYAHBILLA, S.Tr.T

NIP. 20010517 202310 2 001

KETUA PROGRAM STUDI
D-IV TEKNIK LISTRIK BANDARA



KGS M. Ismail, S. Si. T., M.T.

NIP. 19831009 200812 1 001

PENGESAHAN PENGUJI

Tugas Akhir: “RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BERBASIS ESP-32 GUNA DETEKSI DINI KONDISI ABNORMAL” telah diperiksa dan disetujui untuk diuji sebagai salah satu syarat lulus pendidikan Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara Angkatan ke – 24 Politeknik Penerbangan Indonesia Curug – Tangerang. Tugas akhir ini telah dinyatakan LULUS Program Studi Diploma IV pada tanggal 12 Agustus 2026.

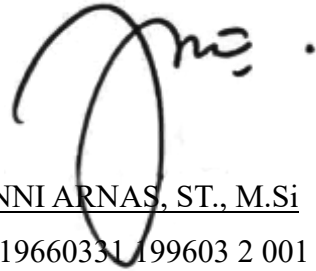
KETUA



Dr. DIAN ANGGRAINI P., S.SiT., M.T.

NIP. 19810331 200212 2 001

SEKRETARIS



YENNI ARNAS, ST., M.Si

NIP. 19660331 199603 2 001

ANGGOTA



NI KADEK OKTAVIANI WULANDARI, S.Tr.T.

NIP. 19991029 202310 2 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Abimanyu Furqan Al-Hagus
NIT : 16042210001
Program Studi : Diploma IV Teknik Listrik Bandara 24

Menyatakan bahwa tugas akhir berjudul “RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BERBASIS ESP-32 GUNA DETEKSI DINI KONDISI ABNORMAL” merupakan karya asli saya bukan hasil plagiarisme. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar akademik dari Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

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

Tangerang, 12 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,



Abimanyu Furqan Al-Hagus

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir D.IV yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Gedung Perpustakaan Politeknik Penerbangan Indonesia Curug dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan Haki yang berlaku di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. 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: Al-Hagus, A. F. (2026): *Rancang Bangun Sistem Monitoring Transformator Distribusi Berbasis Esp-32 guna Deteksi Dini Kondisi Abnormal*, Tugas Akhir Diploma IV, Politeknik Penerbangan Indonesia.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tugas akhir haruslah seizin Ketua Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma IV pada Program Studi Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari doa, bimbingan, dukungan, dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, kesehatan, kekuatan, dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Sujiono dan Ibu Sri Wulan, atas doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta semangat yang tiada henti kepada penulis.
3. Mbak Aurora Neo Valentines, Mbak Auriel Wanda Stefani, Mas Grandy Basaroji, dan Mas Danang Haripin Widayat, selaku saudara-saudara penulis, atas doa, perhatian, dukungan, dan motivasi selama penulis menempuh pendidikan hingga menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Ahmad Dyra Oryza Suwarno, Muhammad Arkaan Harith Basaroji, Kahiyang Abha Widayat, dan Kaneishia Leora Widayat, selaku keponakan penulis, yang telah menjadi sumber kebahagiaan, semangat, dan penghibur selama proses penyusunan Tugas Akhir.
5. Bapak Capt. Megi Hudi Helmiadi, S.SiT., M.A. selaku Direktur Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.
6. Bapak KGS. M Ismail, S.SiT., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, atas arahan, dukungan, dan motivasi selama penyusunan Tugas Akhir.
7. Bapak Taryana, S.SiT., M.M., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, atas bimbingan, arahan, masukan, dan koreksi yang diberikan selama proses penyusunan.

8. Kak Nurul Azizah Syahbilla, S.Tr.T., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, atas bimbingan, arahan, saran, dan masukan yang diberikan selama penyusunan Tugas Akhir.
9. Galuh Catur Pramesti, atas doa, perhatian, dukungan, semangat, serta kesediaannya menjadi tempat berbagi cerita selama proses penyusunan Tugas Akhir.
10. Rekan-rekan Teknik Listrik Bandara Angkatan 24 dan adik-adik Teknik Listrik Bandara Angkatan 25, atas bantuan, dukungan, motivasi, dan kebersamaan selama proses pendidikan dan penyusunan Tugas Akhir.
11. Seluruh dosen dan civitas akademika Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, atas ilmu, pengalaman, fasilitas, dan dukungan yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan.
12. Seluruh penulis, peneliti, dan akademisi yang karya ilmiahnya menjadi referensi dalam penyusunan Tugas Akhir ini serta memberikan wawasan dan landasan ilmiah bagi penelitian.
13. Playlist lagu dari Stand Here Alone, Tipe-X, Souljah, Tony Q Rastafara, Steven & Coconut Treez, Sejedewe, Denny Caknan, Guyon Waton, Ndarboy Genk, dan Masdddho, yang telah menemani dan memberikan semangat selama proses penelitian hingga penyusunan Tugas Akhir.

Tangerang, 12 Agustus 2026



Abimanyu Furqan Al-Hagus

HALAMAN PERUNTUKAN

Dengan penuh rasa syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Karya sederhana ini saya persembahkan kepada:

Kedua orang tua tercinta Bapak Sujiono dan Ibu Sri Wulan yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta pengorbanan yang tiada henti dalam setiap langkah perjalanan hidup saya.

Saudara-saudaraku tercinta Mbak Aurora Neo Valentines, Mbak Auriel Wanda Stefani, Mas Grandy Basaraji, dan Mas Danang Haripin Widayat yang senantiasa memberikan doa, semangat, perhatian, dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
PENGESAHAN PENGUJI	v
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	vi
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	vii
KATA PENGANTAR	viii
HALAMAN PERUNTUKAN	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
Bab I Pendahuluan	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	4
C. Tujuan Penulisan	4
D. Luaran	4
Bab II Tinjauan Teori	6
A. Teori Pendukung	6
B. Studi Literatur	16
Bab III Metodologi Perancangan	19
A. Waktu dan Lokasi Perancangan	21
B. Flowchart Rancang Bangun	23
C. Deskripsi Alat	26
Bab IV Hasil dan Pembahasan	32
A. Pembahasan	32
B. Tahapan pembuatan	34

C. Implementasi Web Monitoring sebagai Media Pemantauan Jarak Jauh	40
D. Pengujian.....	44
Bab V Kesimpulan	47
A. Kesimpulan	47
B. Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Lembar bimbingan dosen pembimbing 1	51
Lampiran 2: Lembar bimbingan dosen pembimbing 2	52
Lampiran 3: Kalibrasi hasil penghitungan arduino IDE dengan hasil penghitungan manual	53
Lampiran 4: Lembar Uji Fungsional.....	55
Lampiran 5: Hasil TurnitinS.....	59
Lampiran 6: Kode pada aplikasi Arduino IDE.....	64
Lampiran 7: Kode pada aplikasi <i>Visual Studio Code</i>	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Gardu RB Bandara Internasional Juanda	1
Gambar 2.1 Transformator Distribusi	8
Gambar 2.2 <i>IoT</i>	9
Gambar 2.3 Mikrokontroler ESP-32	10
Gambar 2.4 CT SCT-013	11
Gambar 2.5 Sensor suhu DS18B20.....	13
Gambar 2.6 <i>Firebase Realtime Database</i>	14
Gambar 2.7 Web monitoring.....	15
Gambar 3.1 Diagram alur perancangan	23
Gambar 3.2 Blok diagram.....	28
Gambar 3.3 <i>Wiring Diagram</i>	29
Gambar 4.1 Pemasangan <i>breadboard</i> dan ESP-32 pada box panel	35
Gambar 4.2 Pemasangan sensor suhu DS18B20	36
Gambar 4.3 <i>Board sensor adaptor</i> untuk SCT-013	36
Gambar 4.4 Pemasangan <i>board sensor adaptor</i>	37
Gambar 4.5 Pengaturan waktu pembaruan data.....	38
Gambar 4.6 Pembacaan pin pada mikrokontroler ESP-32.....	38
Gambar 4.7 Pembacaan arus	38
Gambar 4.8 Penghitungan persentase <i>load</i> dan <i>unbalance</i>	39
Gambar 4.9 Pembacaan suhu	39
Gambar 4.11 Pembuatan <i>project</i> pada <i>Firebase Realtime Database</i>	41
Gambar 4.12 Kode <i>firebase.js</i> untuk mengintegrasikan <i>Firebase Realtime Database</i> dengan web monitoring.....	42
Gambar 4.13 Halaman profil developer pada <i>GitHub Pages</i>	43
Gambar 4.14 Tampilan web monitoring	44
Gambar 4.15 Proses kalibrasi SCT-013 dengan tang ampere	45
Gambar 4.16 Informasi pengukuran yang sudah terunggah pada <i>Firebase Realtime Database</i>	45
Gambar 4.17 Informasi pengukuran yang sudah terunggah pada web monitoring	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi ESP-32	10
Tabel 2.2 Spesifikasi sensor suhu DS18B20.....	13
Tabel 2.3 Penelitian terdahulu.....	17
Tabel 3.1 Linimasa perancangan.....	22

SSDAFTAR SINGKATAN

IoT : *Internet Of Things*

CT : *Current Transformer*

JSON : *JavaScript Object Notation*

Bab I

Pendahuluan

A. Latar Belakang

Transformator distribusi merupakan peralatan vital dalam sistem distribusi tenaga listrik yang beroperasi secara kontinu dan berfungsi menyalurkan energi listrik kepada konsumen (Djuma et al., 2025). Dalam pengoperasiannya, transformator sering menghadapi kondisi pembebanan yang tidak ideal, salah satunya berupa ketidakseimbangan beban antar fasa. Berdasarkan hasil observasi pada transformator distribusi di Substation RB Bandara Internasional Juanda, ditemukan nilai arus pada fasa R sebesar 70 A, fasa S sebesar 56 A, dan fasa T sebesar 48 A. Perbedaan nilai arus tersebut menghasilkan persentase ketidakseimbangan beban sebesar 14% dengan arus netral yang timbul mencapai 19,28 A. Selain itu, tingkat pembebanan transformator tercatat mencapai 92,03% dari kapasitas arus nominalnya. Kondisi ketidakseimbangan beban dan tingginya pembebanan tersebut dapat menyebabkan distribusi arus yang tidak merata pada transformator, meningkatkan rugi-rugi daya, menimbulkan pemanasan pada penghantar maupun komponen transformator, serta berpotensi mempercepat penurunan kinerja dan umur pakai peralatan apabila terjadi secara terus-menerus.



Gambar 1.1 Gardu RB Bandara Internasional Juanda

Sumber: Dokumentasi penulis

Pada salah satu transformator distribusi, hasil pengukuran menunjukkan tingkat pembebanan yang melampaui kapasitas nominal serta

ketidakseimbangan arus antar fasa yang cukup signifikan (Isqeel et al., 2025). Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan arus pada lilitan tertentu dan munculnya arus netral yang relatif besar, sehingga memperbesar rugi-rugi daya dan menaikkan temperatur kerja transformator (Purba et al., 2024). Meskipun transformator masih beroperasi, kondisi ini mengindikasikan terjadinya percepatan penuaan isolasi yang berpotensi menurunkan umur layanan dan keandalan transformator apabila dibiarkan berlangsung dalam jangka waktu lama.

Dalam praktik rekayasa tenaga listrik, berbagai panduan dan standar internasional menyediakan kerangka teknis mengenai pemantauan dan pengoperasian transformator distribusi untuk menjamin keandalan, keamanan, dan kontinuitas layanan listrik. Salah satu acuan yang diakui secara global adalah IEEE C57.167-2023 - *Guide for Monitoring Distribution Transformers* untuk pemantauan transformator distribusi, yang merekomendasikan identifikasi parameter kunci yang relevan dengan kondisi operasi seperti arus beban dan tanda-tanda kondisi tidak normal sebagai bagian dari strategi pengelolaan aset. Standar tersebut memberikan arah tentang jenis parameter yang layak dipantau, termasuk kondisi abnormal yang dapat dihubungkan dengan risiko gangguan operasional, serta menjelaskan pentingnya pengukuran yang teliti dan komunikasi data yang efektif dalam rangka mengurangi kejadian kegagalan dan meningkatkan keandalan pasokan listrik

Meskipun telah tersedia berbagai standar teknis, penerapannya di lapangan masih menghadapi sejumlah keterbatasan sehingga praktik pemantauan kondisi transformator distribusi belum sepenuhnya sesuai dengan rekomendasi tersebut. Transformator distribusi umumnya beroperasi dengan beban yang berubah-ubah akibat pertumbuhan beban pelanggan dan ketidakseimbangan pemakaian antar fasa, yang berpotensi menyebabkan ketidakseimbangan arus dan kenaikan suhu yang tidak merata. Pada praktiknya, pemantauan kondisi transformator masih banyak dilakukan secara berkala melalui inspeksi manual, sehingga parameter arus per fasa dan suhu tidak terpantau secara kontinu.

Kondisi ini menyebabkan transformator sering beroperasi tanpa pengawasan *real-time*, meskipun arus dan suhu merupakan parameter penting dalam menentukan keandalan dan umur peralatan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.1.

Penelitian mengenai condition monitoring transformator berbasis IoT telah berkembang dengan berbagai pendekatan pemantauan parameter dan metode komunikasi data (Msane et al., 2024). Berdasarkan hasil telaah terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, sistem monitoring transformator berbasis *IoT* umumnya dikembangkan pada lingkungan industri atau substation terpusat dengan cakupan parameter yang luas serta arsitektur sistem yang relatif kompleks (Lestari, 2023). Pendekatan tersebut banyak diarahkan pada *health monitoring* menyeluruh yang terintegrasi dengan sistem proteksi dan pengendalian, sehingga kurang merepresentasikan kebutuhan transformator distribusi yang beroperasi pada jaringan publik dengan jumlah unit yang besar, lokasi tersebar, dan keterbatasan biaya implementasi (Isqeel et al., 2025). Selain itu, meskipun beberapa penelitian telah membahas pengaruh overload dan ketidakseimbangan beban terhadap kinerja transformator, kajian yang memfokuskan pemantauan arus tiap fasa dan suhu sebagai indikator utama deteksi dini gangguan pada transformator distribusi secara *real-time* masih terbatas. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan pengembangan sistem monitoring yang lebih sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan, namun tetap mampu memberikan informasi kondisi operasi transformator distribusi secara kontinu sebagai dasar peringatan dini sebelum terjadinya gangguan.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa pemantauan kondisi operasi transformator distribusi secara kontinu menjadi kebutuhan yang penting. Keterbatasan sistem pemantauan konvensional serta belum optimalnya penerapan sistem monitoring yang sederhana dan mudah diimplementasikan pada transformator distribusi menunjukkan perlunya pengembangan solusi yang sesuai dengan karakteristik jaringan distribusi (Gemeda et al., 2022). Atas dasar kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan

pada rancang bangun sistem monitoring transformator distribusi berbasis mikrokontroler ESP-32 yang memanfaatkan pemantauan arus tiap fasa dan suhu transformator secara *real-time* dengan penyajian data melalui media berbasis web.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem monitoring transformator distribusi yang mampu memantau arus tiap fasa dan suhu transformator secara *real-time* serta mengolah data tersebut untuk mengidentifikasi kondisi *overheat* serta menghitung *load* dan ketidakseimbangan beban (*unbalance*)?
2. Bagaimana sistem monitoring yang dibangun dapat menyajikan informasi kondisi transformator distribusi secara daring berbasis web sebagai media pemantauan jarak jauh?

C. Tujuan Penulisan

1. Merancang dan membangun sistem monitoring transformator distribusi yang mampu memantau arus tiap fasa dan suhu transformator secara *real-time*, serta mengolah data tersebut untuk mengidentifikasi kondisi *overheat*, *overload*, dan ketidakseimbangan beban (*unbalance*) sebagai deteksi dini kondisi abnormal transformator.
2. Menyajikan informasi kondisi transformator distribusi secara daring berbasis web sebagai media pemantauan jarak jauh yang dapat mendukung tindakan pencegahan dan pemeliharaan transformator.

D. Luaran

Penulisan Tugas Akhir ini menghasilkan rancang bangun sistem monitoring transformator distribusi berbasis mikrokontroler ESP-32 yang mampu memantau arus tiap fasa dan suhu transformator secara *real-time*, mengidentifikasi indikasi *overheat* serta menghitung *load* dan

ketidakseimbangan beban (*unbalance*), serta menyajikan informasi tersebut melalui antarmuka berbasis web untuk pemantauan jarak jauh. Luaran penelitian yang dihasilkan tidak hanya berupa purwarupa sistem monitoring, tetapi sekaligus artikel ilmiah yang disusun berdasarkan hasil penelitian untuk dipublikasikan pada jurnal terakreditasi Sinta 4.

Bab II

Tinjauan Teori

A. Teori Pendukung

1. Transformator Distribusi

Menurut SPLN D3.002-1:2007, standar teknis yang digunakan dalam lingkungan PT PLN (Persero) untuk transformator distribusi, transformator distribusi adalah peralatan listrik statis yang dirancang untuk menyalurkan energi listrik dalam sistem distribusi dengan menurunkan tegangan dari tingkat distribusi utama ke tingkat tegangan yang lebih rendah sesuai kebutuhan pemakai akhir. Standar ini menyatakan bahwa transformator distribusi mencakup unit dengan tegangan pengenalan sampai dengan 20 kV pada sisi primer dan 400 V atau 231 V pada sisi sekunder, yang digunakan untuk pengoperasian jaringan distribusi tenaga listrik secara kontinu.

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik sesuai dengan hukum Ampere dan Faraday. Arus bolak-balik yang mengalir pada kumparan primer menghasilkan fluks magnet yang berubah terhadap waktu di dalam inti transformator. Perubahan fluks magnet tersebut kemudian menginduksikan GGL pada kumparan sekunder yang terkopel secara magnetis. Besarnya tegangan induksi yang dihasilkan dipengaruhi oleh jumlah lilitan pada masing-masing kumparan serta besarnya fluks magnet yang menghubungkan keduanya. Melalui mekanisme tersebut, transformator mampu mentransfer energi listrik dari sisi primer ke sisi sekunder tanpa mengubah frekuensi sistem (Makassar, 2024). Dalam pengoperasiannya, transformator distribusi mengalami variasi pembebanan sesuai dengan kebutuhan daya konsumen. Tingkat pembebanan yang melebihi kapasitas nominal transformator (*overload*) dapat menyebabkan peningkatan arus pada kumparan sehingga temperatur operasi transformator meningkat. Selain itu, pada sistem distribusi tiga fasa sering terjadi ketidakseimbangan beban (*unbalance*) akibat perbedaan

besarnya beban pada masing-masing fasa. Kondisi ini dapat menimbulkan arus netral yang lebih besar dan meningkatkan rugi-rugi daya pada transformator. Secara umum, rugi-rugi transformator terdiri dari rugi inti (*core loss*) dan rugi tembaga (*copper loss*), yang sebagian energinya akan berubah menjadi panas selama proses penyaluran daya. Apabila pembebanan berlebih dan ketidakseimbangan beban terjadi secara terus-menerus, panas yang dihasilkan akan menyebabkan kenaikan temperatur (*overheat*) pada transformator (Sahrani et al., 2023). Kenaikan temperatur yang melebihi batas operasi dapat mempercepat degradasi isolasi, menurunkan efisiensi transformator, serta mengurangi umur pakai peralatan. Atas dasar kondisi tersebut, parameter seperti arus beban, tingkat pembebanan, keseimbangan beban antar fasa, dan temperatur operasi perlu dipantau secara berkala untuk menjaga keandalan dan kinerja transformator distribusi.

Transformator memiliki persamaan sebagai berikut:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

dimana:

V_p = tegangan primer

V_s = tegangan sekunder

N_p = lilitan primer

N_s = lilitan sekunder

I_p = arus primer

I_s = arus sekunder



Gambar 2.1 Transformator Distribusi

Sumber: <https://www.industryshop.id>

2. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep teknologi yang mengacu pada jaringan perangkat fisik yang dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan kemampuan komunikasi sehingga memungkinkan perangkat-perangkat tersebut untuk mengumpulkan, bertukar, dan mentransmisikan data melalui jaringan internet atau jaringan komunikasi lainnya tanpa bergantung pada interaksi manusia secara langsung (Purnomo et al., 2024). Perangkat yang tergabung dalam sistem *IoT* biasanya memiliki identifikasi unik dan kemampuan untuk berkomunikasi dalam ekosistem yang saling terhubung, sehingga dapat memantau kondisi lingkungan, mengirimkan data ke server, dan mendukung pengambilan keputusan secara otomatis atau terpusat. Teknologi *IoT* memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi pemantauan dan kontrol, termasuk dalam sistem monitoring transformator distribusi yang memungkinkan data kondisi operasional seperti arus dan suhu dikirimkan ke platform web untuk dianalisis dan dimonitor secara *real-time*.



Gambar 2.2 *IoT*

Sumber: <https://www.stratosphenetworks.com>

3. Mikrokontroler ESP-32

Mikrokontroler ESP-32 telah banyak digunakan dalam penelitian berbasis *IoT* sebagai unit pengendali dan komunikasi data dalam sistem monitoring berbagai parameter, termasuk dalam pengukuran kondisi lingkungan dan sistem elektro (Setia et al., 2026). Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa ESP-32 mampu berfungsi sebagai node *IoT* utama yang mengumpulkan data sensor dari berbagai perangkat pengukur, kemudian mengirimkan data tersebut secara *real-time* ke server atau aplikasi monitoring melalui koneksi Wi-Fi. Dalam implementasi sistem pemantauan lingkungan berbasis *IoT*, ESP-32 dapat terhubung dengan sensor suhu, kelembapan, kualitas udara, dan lainnya untuk menghasilkan data yang dikirimkan secara periodik ke platform web atau dashboard visualisasi data guna analisis dan notifikasi kondisi sistem yang dipantau. Keunggulan ESP-32 dalam mendukung berbagai protokol komunikasi serta kemampuan integrasi dengan sensor eksternal menjadikannya komponen utama dalam arsitektur *IoT* untuk pemantauan kondisi sistem secara berkelanjutan.

Berikut adalah tabel spesifikasi ESP-32

No	Parameter	Spesifikasi
1	Mikrokontroler	ESP-32
2	Arsitektur Prosesor	Xtensa LX6 32-bit Dual-Core
3	Frekuensi <i>Clock</i>	Hingga 240 MHz
4	Tegangan Operasi	3,0 – 3,6 V DC
5	Tegangan Logika I/O	3,3 V
6	SRAM	520 KB
7	ROM	448 KB
8	Konektivitas	Wi-Fi 802.11 b/g/n dan Bluetooth v4.2
9	Jumlah GPIO	Hingga 34 pin GPIO
10	ADC	12-bit, hingga 18 kanal
11	DAC	2 kanal, 8-bit
12	<i>Interface</i> Komunikasi	UART, SPI, I ² C, I ² S
13	PWM	Hingga 16 kanal
14	Mode Operasi	Active, Light Sleep, Deep Sleep, Hibernation

Tabel 2.1 Spesifikasi ESP-32



Gambar 2.3 Mikrokontroler ESP-32

Sumber: <https://99tech.com.au/product/ESP-32-nodemcu>

4. *Current Transformer (CT)*

Current Transformer (CT) adalah perangkat pengukuran pada sistem tenaga listrik yang dirancang untuk mengubah arus listrik tinggi di sisi primer menjadi arus rendah yang proporsional di sisi sekunder, sehingga sinyal arus tersebut dapat diukur dan dianalisis oleh instrumen atau sistem kontrol tanpa memberikan beban langsung pada jaringan utama (Zuhair et al., 2025). Prinsip kerja CT berakar pada hukum elektromagnetik di mana perubahan arus pada belitan primer menghasilkan medan magnet yang diinduksikan di belitan sekunder dengan rasio tertentu sesuai spesifikasi transformator arus, sehingga memudahkan proses pembacaan dan pengolahan data arus. Dalam aplikasi monitoring kondisi transformator distribusi, CT berperan sebagai sensor arus utama yang menyediakan data beban arus yang kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk interpretasi lebih lanjut. Implementasi CT dalam sistem monitoring berbasis *IoT* telah ditemui pada berbagai penelitian yang mengaitkan pembacaan arus dari sensor CT dengan sistem pengiriman data *real-time* melalui jaringan internet untuk visualisasi dan analisis kondisi sistem tenaga listrik secara berkelanjutan.



Gambar 2.4 CT SCT-013

Sumber: <https://www.tokopedia.com>

5. Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu digital DS18B20 merupakan salah satu jenis sensor yang sering digunakan dalam sistem monitoring berbasis *IoT* karena kemampuannya membaca suhu lingkungan dengan akurasi yang cukup tinggi dan kemudahan integrasinya dengan mikrokontroler seperti ESP-32 (Suwardono et al., 2024). Sensor ini menggunakan protokol satu-kawat (*one-wire protocol*), sehingga memungkinkan komunikasi data suhu melalui satu jalur data yang sederhana, sekaligus mendukung pengalamatan beberapa sensor dalam satu bus komunikasi. Dalam beragam penelitian berbasis *IoT*, DS18B20 telah terbukti efektif untuk membaca suhu secara *real-time* dan mengirimkan data melalui jaringan internet untuk pengolahan lebih lanjut, baik pada aplikasi agrikultur, pengendalian proses industri, maupun sistem monitoring suhu lainnya. Penerapan sensor suhu DS18B20 pada sistem pemantauan kondisi, seperti pada prototipe monitoring transformator distribusi berbasis *IoT*, memungkinkan pengambilan data suhu yang konsisten dan dapat dipantau secara daring guna mendeteksi peningkatan suhu yang signifikan yang berpotensi menyebabkan degradasi komponen atau kegagalan operasi. Contoh implementasi DS18B20 dalam *IoT* menunjukkan bahwa sensor ini dapat terintegrasi dengan mikrokontroler dan protokol komunikasi jaringan tanpa kompleksitas yang tinggi, dengan tetap mempertahankan akurasi pembacaan suhu yang memadai untuk aplikasi monitoring kondisi.

Berikut adalah tabel spesifikasi sensor suhu DS18B20

No	Parameter	Spesifikasi
1	Tipe Sensor	DS18B20
2	Rentang Pengukuran	-55°C sampai +125°C
3	Akurasi	±0,5°C (-10°C sampai +85°C)
4	Resolusi	9–12 bit
5	Tegangan Operasi	3,0–5,5 V
6	Interface Komunikasi	1-Wire
7	Waktu Konversi	Maksimum 750 ms

No	Parameter	Spesifikasi
8	Identitas Sensor	Unique 64-bit Serial Code
9	Jenis Output	Digital

Tabel 2.2 Spesifikasi sensor suhu DS18B20



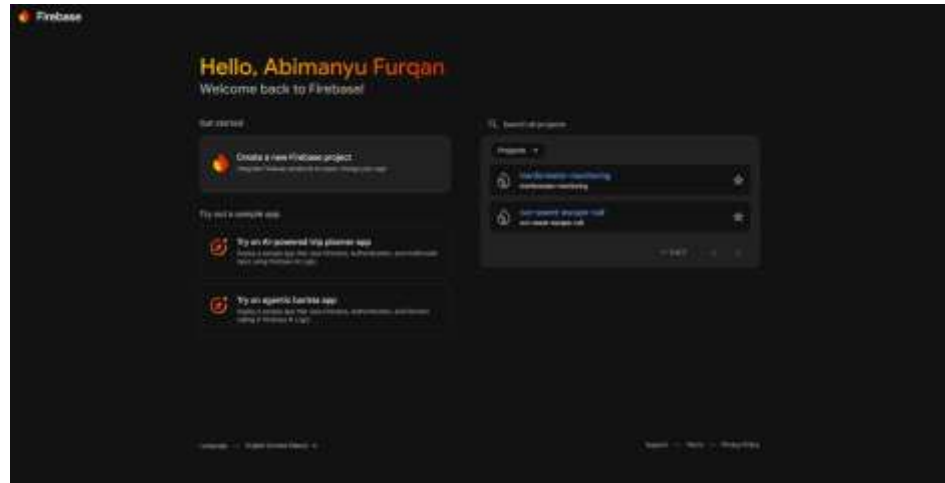
Gambar 2.5 Sensor suhu DS18B20

Sumber: www.datasheethub.com

6. *Firebase Realtime Database*

Firebase Realtime Database merupakan layanan basis data berbasis *cloud* yang dirancang untuk mendukung pertukaran data secara *real-time* antara perangkat dan aplikasi yang saling terhubung melalui jaringan internet. Basis data ini menggunakan struktur penyimpanan berbentuk *JSON* sehingga proses pembacaan, pembaruan, maupun sinkronisasi data dapat dilakukan secara cepat pada seluruh perangkat yang terhubung (Mahendra & Winardi, 2023). Dalam implementasi sistem monitoring berbasis mikrokontroler, *Firebase Realtime Database* berfungsi sebagai media penyimpanan sekaligus penghubung antara perangkat pengakuisisi data dengan aplikasi monitoring (Hakim, 2025). Setiap perubahan data yang dikirim oleh mikrokontroler akan diperbarui secara otomatis pada basis data dan dapat langsung ditampilkan pada aplikasi web tanpa memerlukan proses penyegaran (*refresh*) halaman. Karakteristik tersebut menjadikan

Firebase Realtime Database sesuai digunakan pada sistem monitoring yang membutuhkan penyajian informasi secara *real-time*, kemudahan integrasi dengan mikrokontroler ESP32, serta akses data yang dapat dilakukan dari berbagai perangkat yang terhubung ke internet (Zaim & Ranolat, 2025).



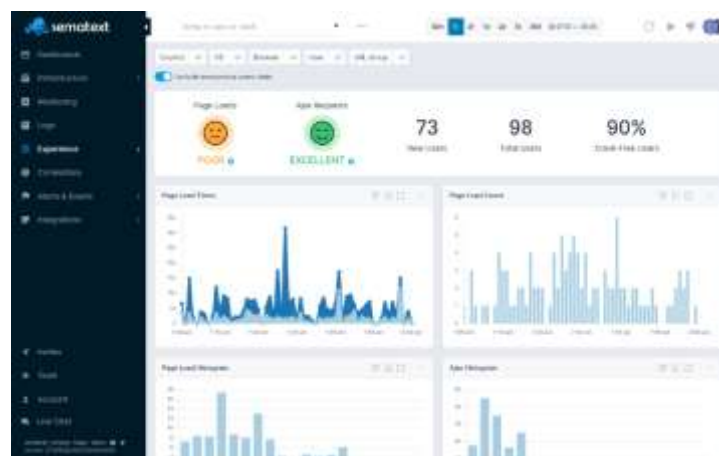
Gambar 2.6 *Firebase Realtime Database*

7. Web Monitoring

Web monitoring merupakan bagian dari sistem *IoT* yang berfungsi sebagai antarmuka antara pengguna dan perangkat lapangan untuk menampilkan, menyimpan, serta memvisualisasikan data hasil pengukuran secara jarak jauh (Mulyawan et al., 2023). Pada sistem monitoring berbasis mikrokontroler, data yang diperoleh dari sensor dikirimkan melalui jaringan internet menuju server, kemudian disimpan dalam basis data dan disajikan dalam bentuk tampilan web yang dapat diakses menggunakan peramban (*web browser*). Web monitoring memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi sistem secara *real-time* maupun historis, sehingga perubahan parameter dapat diamati dan dianalisis tanpa harus berada di lokasi perangkat (Broto, 2023). Dalam berbagai penelitian *IoT*, platform web digunakan sebagai media utama untuk menampilkan data sensor karena kemudahan akses, fleksibilitas, serta kemampuannya dalam mengintegrasikan grafik, tabel, dan indikator kondisi sistem. Dengan

adanya web monitoring, sistem akan berfungsi sebagai alat ukur serta sarana pendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam pengawasan kondisi peralatan listrik, termasuk transformator distribusi (Yuniarto et al., 2023).

Pada penelitian ini, sistem web monitoring dibangun menggunakan kombinasi *Firebase Realtime Database* dan *GitHub Pages* untuk mendukung pemantauan kondisi transformator distribusi secara *real-time*. Data arus tiap fasa dan suhu transformator yang diperoleh dari sensor akan diproses oleh mikrokontroler ESP-32 dan dikirimkan melalui jaringan internet menuju *Firebase Realtime Database* sebagai media penyimpanan data. Selanjutnya, data tersebut diakses dan ditampilkan pada halaman web monitoring yang di-host menggunakan *GitHub Pages*. Melalui halaman web tersebut, pengguna dapat memantau nilai arus, suhu, serta status kondisi transformator berdasarkan parameter yang terukur. Implementasi ini memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara jarak jauh melalui perangkat yang terhubung ke internet tanpa harus melakukan pengukuran secara langsung di lokasi transformator.



Gambar 2.7 Web monitoring

Sumber: <https://sematext.com>

B. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengidentifikasi perkembangan penelitian terkait sistem monitoring transformator distribusi serta menemukan celah penelitian yang dapat menjadi dasar pengembangan penelitian ini. Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, telah dikembangkan berbagai sistem monitoring transformator berbasis mikrokontroler ESP-32 yang mampu memantau parameter seperti arus, suhu, tegangan, dan kelembapan secara *real-time*. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pemantauan parameter operasional tanpa melakukan klasifikasi kondisi kesehatan transformator berdasarkan kondisi pembebanan dan temperatur. Selain itu, terdapat penelitian yang hanya memantau satu parameter tertentu, seperti suhu, sehingga belum mampu memberikan gambaran kondisi transformator secara menyeluruh. Atas dasar kondisi tersebut, penelitian ini mengusulkan rancang bangun sistem monitoring kondisi transformator distribusi berbasis mikrokontroler ESP-32 yang tidak melakukan pemantauan arus dan suhu secara *real-time* serta mengidentifikasi kondisi transformator berdasarkan kategori *overload*, *overheat*, dan *unbalance*. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan informasi kondisi transformator yang lebih komprehensif sebagai pendukung kegiatan pemeliharaan dan pengambilan keputusan pada transformator distribusi.

No	Judul Penelitian	Penulis	Tahun	Kelebihan	Keterbatasan
1	PROTOTYPE MONITORING ARUS, DAN SUHU PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)	• Axel Reinald Madjid • Bambang Suprianto	2019	• Sistem memonitor arus beban dan suhu secara <i>real-time</i> • Output berupa tampilan data arus dan suhu melalui	• Belum membahas klasifikasi kondisi kesehatan trafo (overload, overheat, unbalance)

No	Judul Penelitian	Penulis	Tahun	Kelebihan	Keterbatasan
				web/aplikasi monitoring	
2	RANCANGAN MONITORING DAN PENGENDALIAN SUHU GARDU TRAFO MENGGUNAKAN INTERNET OF THINGS	RIAN ARIEFWAN	2022	• Fokus utama pada monitoring suhu dan pengendalian pendinginan • Data suhu dikirim ke platform Iot untuk pemantauan jarak jauh	• Tidak memonitor arus atau beban, sehingga tidak adanya deteksi dini overload dan unbalance
3	IoT TROHEMS (Transformator Online Health Monitoring System)	• Tianur • Mahdi Lestari • Endri Widodo	2023	• Memantau tegangan, arus, suhu, dan kelembapan trafo • Data ditampilkan pada dashboard IoT secara <i>real-time</i>	• Sistem terlalu kompleks, tidak cocok di implementasikan pada trafo distribusi yang tersebar luas dan keterbatasan biaya

Tabel 2.3 Penelitian terdahulu

Kebaruan penelitian ini terletak pada perancangan sistem monitoring kondisi transformator distribusi berbasis mikrokontroler ESP-32 yang menampilkan nilai arus dan suhu secara *real-time* dan mengolah kedua parameter tersebut menjadi informasi kondisi transformator, yaitu normal, overload, dan overheating. Sistem dilengkapi dengan mekanisme penentuan ambang batas (*threshold*) serta logika klasifikasi kondisi sehingga mampu memberikan informasi kondisi secara otomatis sebagai dasar pengambilan keputusan pemeliharaan. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem

monitoring transformator dengan parameter yang sangat lengkap. Namun, kompleksitas sistem dan kebutuhan perangkat yang relatif tinggi menyebabkan pendekatan tersebut kurang efisien untuk diterapkan pada transformator distribusi yang jumlahnya banyak, tersebar luas, serta memiliki keterbatasan biaya implementasi. Atas dasar kondisi tersebut, penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih sederhana dan aplikatif dengan memfokuskan pada dua parameter utama, yaitu arus dan suhu, yang merupakan indikator paling dominan terhadap kondisi operasi transformator distribusi, sehingga sistem lebih mudah diterapkan secara massal dan ekonomis.

Bab III

Metodologi Perancangan

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) Level 4, karena metode tersebut digunakan untuk menciptakan produk baru dan menguji keefektifan produk yang dihasilkan (Sugiyono, 2013). Metode ini dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk mengkaji teori serta menghasilkan suatu produk berupa sistem monitoring kondisi transformator distribusi berbasis ESP-32 guna deteksi dini kondisi abnormal. Tahapan pengembangan dalam penelitian ini disesuaikan dengan kebutuhan perancangan sistem dan dibatasi hingga delapan tahap utama, mulai dari identifikasi potensi dan masalah hingga uji coba sistem, sehingga diperoleh prototipe sistem yang berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian.

Tahapan Research and Development

1. Potensi dan Masalah

Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi dan permasalahan yang terjadi pada transformator distribusi. Permasalahan utama yang diangkat adalah belum tersedianya sistem monitoring kondisi transformator secara *real-time* yang mudah diakses, sehingga potensi gangguan sering tidak terdeteksi sejak dini.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data melalui studi literatur, standar teknis transformator, serta referensi terkait sistem monitoring berbasis *IoT*. Data yang dikumpulkan meliputi karakteristik arus dan suhu kerja transformator, jenis sensor yang sesuai, serta platform *IoT* yang dapat digunakan sebagai media pemantauan.

3. Desain Produk

Tahap desain produk meliputi perancangan arsitektur sistem monitoring, baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Desain perangkat keras mencakup pemilihan sensor arus, sensor suhu, mikrokontroler, serta modul

komunikasi. Desain perangkat lunak mencakup perancangan alur program, pengolahan data, dan tampilan informasi pada platform *IoT*.

4. Validasi Desain

Pada tahap ini dilakukan evaluasi terhadap desain sistem yang telah dibuat melalui diskusi dengan dosen pembimbing atau pihak yang kompeten di bidang sistem tenaga dan elektronika. Validasi bertujuan untuk memastikan bahwa desain telah sesuai dengan tujuan penelitian serta spesifikasi teknis yang dibutuhkan.

5. Revisi Desain

Revisi desain dilakukan berdasarkan hasil validasi yang diperoleh. Perbaikan dapat mencakup perubahan pemilihan komponen, penyempurnaan rangkaian, maupun modifikasi alur program agar sistem dapat bekerja lebih optimal.

6. Uji Coba Produk

Uji coba dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem yang telah dibuat. Pengujian meliputi pengujian fungsi sensor, komunikasi data, serta tampilan data pada platform *IoT*. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui apakah sistem bekerja sesuai dengan perancangan.

7. Revisi Produk

Tahap ini dilakukan apabila pada saat uji coba masih ditemukan kekurangan atau kesalahan pada sistem. Revisi dilakukan untuk memperbaiki kelemahan sehingga diperoleh sistem monitoring yang lebih stabil dan andal.

8. Uji Coba Pemakaian

Uji coba pemakaian dilakukan terhadap purwarupa yang telah melalui proses revisi untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan. Pengujian mencakup proses pengukuran arus tiap fasa dan suhu,

pengolahan parameter overload, unbalance, dan overheat, pengiriman data melalui Firebase Realtime Database, serta penyajian data pada web monitoring. Purwarupa ditempatkan pada panel distribusi sebagai media pengujian, bukan dipasang secara langsung pada transformator. Hasil uji coba digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan monitoring kondisi secara real-time sesuai dengan tujuan penelitian.

Penelitian ini dibatasi sampai tahap kedelapan, yaitu uji coba pemakaian. Pembatasan dilakukan karena penelitian berfokus pada pengembangan dan pengujian purwarupa sistem monitoring kondisi transformator distribusi berbasis mikrokontroler ESP32. Tahap kesembilan, yaitu revisi produk, tidak dilaksanakan sebagai tahapan lanjutan karena perbaikan terhadap purwarupa telah dilakukan pada tahap revisi produk sebelumnya berdasarkan hasil uji coba produk. Selanjutnya, tahap kesepuluh berupa produksi massal tidak dilakukan karena produk yang dihasilkan masih berupa purwarupa untuk keperluan penelitian dan pengujian, sehingga belum ditujukan untuk produksi atau penerapan dalam skala luas.

A. Waktu dan Lokasi Perancangan

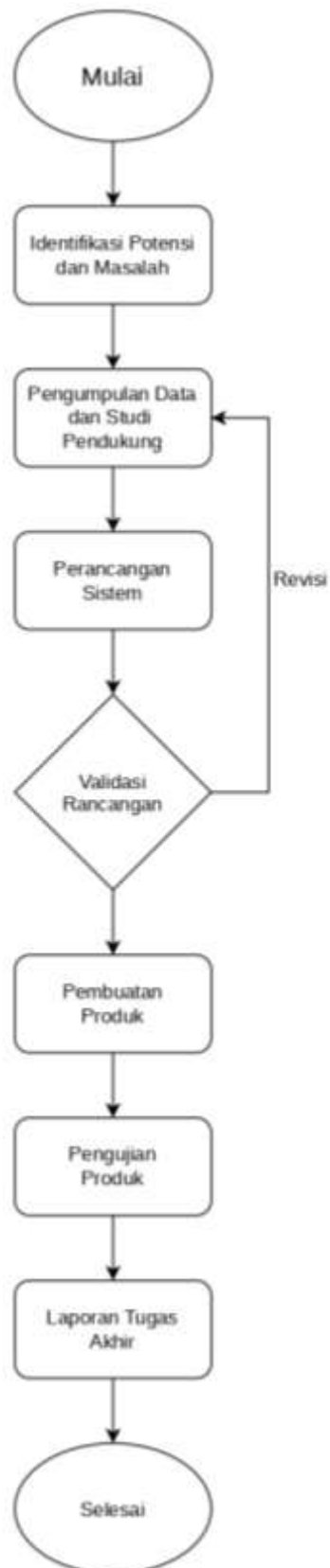
Dalam pelaksanaan penelitian rancang bangun ini, penulis menetapkan rentang waktu yang mencakup tahapan perancangan, persiapan, perakitan, hingga pengujian sistem. Penyusunan jadwal kerja dilakukan secara terstruktur agar setiap tahapan dapat dilaksanakan secara sistematis dan terkelola dengan baik. Dengan adanya perencanaan waktu yang jelas, diharapkan proses pengembangan sistem dapat berjalan sesuai rencana dan selesai tepat waktu. Penelitian ini dilaksanakan pada periode Januari 2026 sampai dengan Agustus 2026 dan bertempat di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

No	Kegiatan/Capaian	Waktu Pelaksanaan Bulan Ke-							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Identifikasi Masalah								
2	Perencanaan Judul Tugas Akhir								

No	Kegiatan/Capaian	Waktu Pelaksanaan Bulan Ke-							
		1	2	3	4	5	6	7	8
3	Pengajuan Judul Tugas Akhir								
4	Penulisan Proposal Tugas Akhir								
5	Penyerahan Proposal Tugas Akhir								
6	Seminar Proposal Tugas Akhir								
7	Revisi Proposal Tugas Akhir								
8	Pengumpulan Data								
9	Analisa dan Pengolahan Data								
10	Penulisan Tugas Akhir								
11	Bimbingan Tugas Akhir								
12	Pembuatan Alat								
13	Pengujian Alat								
14	Sidang dan Revisi								
15	Tugas Akhir Selesai								

Tabel 3.1 Linimasa perancangan

B. Flowchart Rancang Bangun



Gambar 3.1 Diagram alur perancangan

1. Identifikasi Potensi dan Masalah

Tahap identifikasi potensi dan masalah dilakukan untuk menentukan kondisi yang menjadi dasar pengembangan sistem. Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap kebutuhan pemantauan kondisi transformator distribusi, khususnya terhadap parameter arus dan suhu. Hasil identifikasi digunakan untuk menentukan permasalahan yang perlu diselesaikan melalui sistem monitoring yang dapat memberikan informasi kondisi transformator secara lebih mudah dan terukur.

2. Pengumpulan Data dan Studi Pendukung

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dan informasi yang diperlukan sebagai dasar dalam perancangan sistem. Data diperoleh melalui observasi, pengukuran, studi literatur, serta penelusuran informasi mengenai transformator distribusi, karakteristik arus dan suhu, sensor yang digunakan, mikrokontroler ESP-32, serta sistem monitoring berbasis *IoT*. Data dan informasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam menentukan spesifikasi komponen dan kebutuhan sistem.

3. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan berdasarkan hasil identifikasi masalah serta data yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya. Perancangan meliputi perangkat keras dan perangkat lunak, termasuk pemilihan sensor arus SCT-013, sensor suhu DS18B20, mikrokontroler ESP-32, rangkaian pendukung, serta media penyimpanan dan tampilan data. Pada tahap ini juga dirancang alur pengolahan data dan komunikasi antara ESP-32, *Firestore Realtime Database*, dan web monitoring.

4. Validasi Rancangan

Validasi rancangan dilakukan untuk memastikan bahwa rancangan sistem telah sesuai dengan tujuan penelitian dan dapat direalisasikan menjadi sebuah purwarupa. Pemeriksaan mencakup kesesuaian pemilihan

komponen, rangkaian atau *wiring*, alur kerja sistem, metode pengukuran, serta pengolahan parameter arus dan suhu. Hasil validasi menjadi dasar untuk menentukan apakah rancangan dapat dilanjutkan ke tahap pembuatan produk atau masih memerlukan perbaikan.

5. Pembuatan Produk

Tahap pembuatan produk merupakan proses merealisasikan rancangan menjadi purwarupa sistem monitoring. Perangkat keras dirakit dengan mengintegrasikan ESP-32, tiga sensor SCT-013 untuk pengukuran arus fasa R, S, dan T, serta sensor DS18B20 untuk pengukuran suhu. Selanjutnya perangkat lunak diprogram untuk membaca sensor, mengolah data, menghitung parameter yang diperlukan, serta mengirimkan data menuju *Firebase Realtime Database* untuk ditampilkan pada web monitoring.

6. Pengujian Produk

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem monitoring yang telah dibuat. Pengujian meliputi pengambilan data arus dan suhu, pengiriman data ke *Firebase Realtime Database*, serta penampilan data pada halaman web monitoring. Selain itu, dilakukan pula pengujian terhadap kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi *overload*, *overheat*, dan ketidakseimbangan beban (*unbalance*) berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan dan keandalan sistem yang dikembangkan.

7. Laporan Tugas Akhir

Tahap terakhir adalah penyusunan laporan Tugas Akhir yang memuat seluruh proses penelitian, mulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data, perancangan, validasi, pembuatan, hingga pengujian produk. Hasil

pengujian dan analisis kemudian digunakan sebagai dasar dalam menyusun kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

C. Deskripsi Alat

1. Spesifikasi dan prinsip kerja alat

Sistem yang dirancang berfungsi untuk memantau arus pada masing-masing fasa transformator distribusi dan suhu kerja transformator distribusi secara *real-time*. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor arus, sensor suhu, mikrokontroler sebagai pusat pengolah data, modul komunikasi berbasis mikrokontroler ESP-32, serta media antarmuka untuk menampilkan hasil pemantauan. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh mikrokontroler, kemudian dikirimkan ke platform *IoT* sehingga dapat diakses oleh pengguna melalui perangkat berbasis web maupun aplikasi.

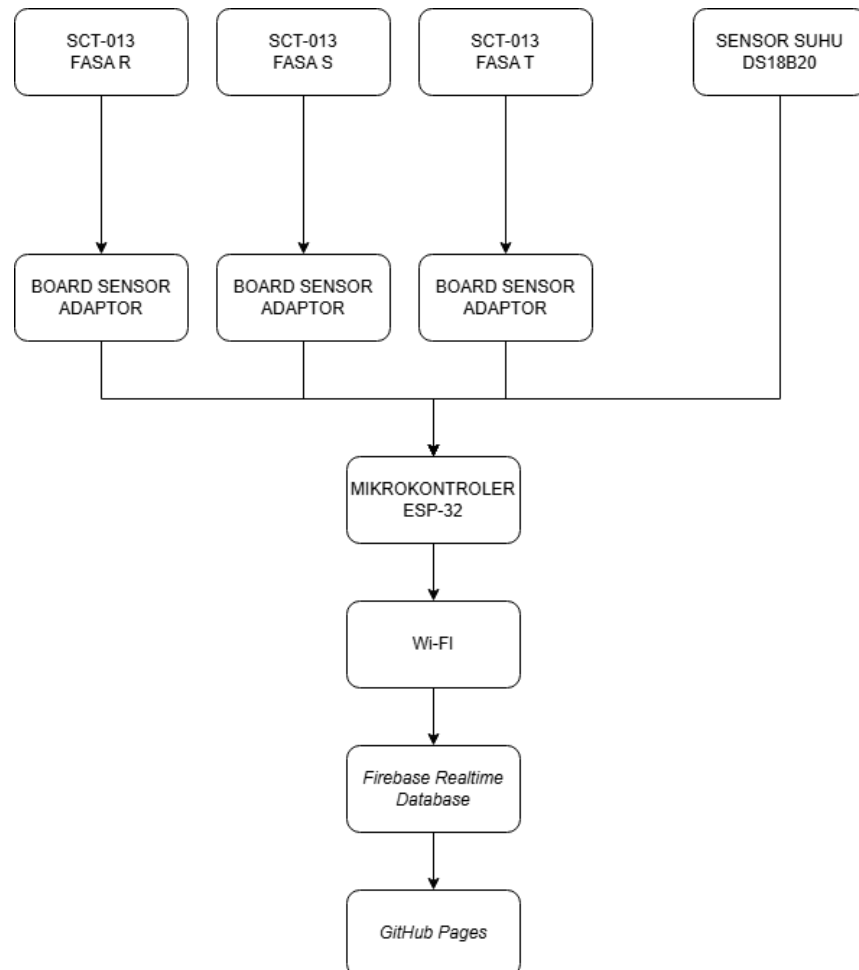
Sistem monitoring bekerja dengan cara sensor arus dan sensor suhu melakukan pembacaan kondisi transformator secara kontinu. Data hasil pembacaan sensor diterima oleh mikrokontroler untuk dikonversi dan diolah sesuai dengan program yang telah dirancang. Mikrokontroler melakukan pengiriman data ke platform *IoT* secara periodik setiap 5 detik. Data yang terkirim akan disimpan pada basis data platform monitoring dan dapat diakses melalui dashboard berbasis web. Sistem dirancang agar data historis tersimpan selama 30 hari, sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi transformator baik secara *real-time* maupun berdasarkan riwayat data.

Dalam sistem yang dirancang, mikrokontroler ESP-32 berfungsi sebagai pusat pemrosesan data yang menerima masukan dari sensor arus dan sensor suhu. Data yang diperoleh kemudian diolah berdasarkan parameter yang telah ditentukan untuk mengidentifikasi kondisi transformator. Kondisi overload dideteksi dengan membandingkan nilai arus yang terukur terhadap batas arus nominal transformator. Kondisi unbalance

diidentifikasi melalui perhitungan persentase ketidakseimbangan beban berdasarkan perbedaan nilai arus pada masing-masing fasa. Sementara itu, kondisi *overheat* dideteksi dengan membandingkan suhu transformator yang terbaca oleh sensor terhadap batas suhu yang telah ditetapkan. Apabila salah satu parameter melebihi nilai ambang batas, ESP-32 akan mengklasifikasikan kondisi transformator sesuai jenis gangguan yang terdeteksi dan mengirimkan informasi tersebut ke *Firebase Realtime Database* untuk ditampilkan pada web monitoring secara *real-time*.

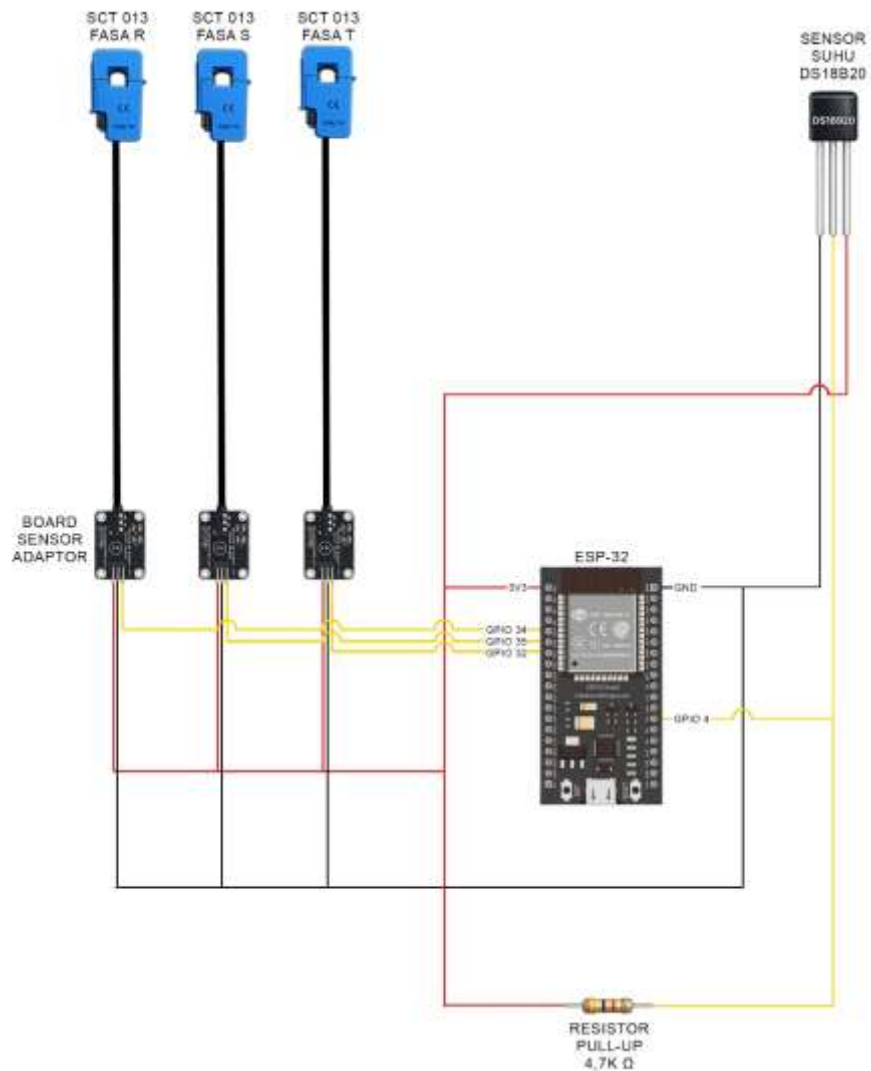
2. Blok diagram dan *wiring diagram*

a. Blok diagram



Gambar 3.2 Blok diagram

b. Wiring diagram



Gambar 3.3 Wiring Diagram

3. Penghitungan *overload*, *overheat*, dan *unbalance*

a. Penghitungan pembebanan transformator

Overload transformator merupakan kondisi ketika beban yang dilayani melebihi kapasitas nominal transformator. Kondisi ini ditandai dengan meningkatnya arus yang mengalir pada kumparan transformator sehingga menyebabkan peningkatan rugi-rugi tembaga (*copper loss*) yang sebanding dengan kuadrat arus beban. Akibatnya, temperatur kumparan dan minyak transformator akan meningkat, yang dalam jangka panjang dapat mempercepat degradasi sistem

isolasi dan mengurangi umur pakai transformator. Atas dasar kondisi tersebut, tingkat pembebanan transformator perlu dipantau secara berkala untuk memastikan transformator beroperasi dalam batas yang diizinkan. Persentase pembebanan transformator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{I_{beban}}{I_{nominal}} \times 100\%$$

dimana:

I_{beban} = arus beban transformator (A)

$I_{nominal}$ = arus nominal transformator (A)

Semakin tinggi persentase pembebanan, maka transformator dapat dikategorikan mengalami kondisi *overload* yang berpotensi menyebabkan *overheat* dan penurunan keandalan operasi.

b. Penghitungan ketidakseimbangan beban pada transformator

Ketidakseimbangan beban (*unbalance load*) merupakan kondisi ketika besar arus pada masing-masing fasa sistem tiga fasa tidak sama. Pada kondisi ideal, arus pada fasa R, S, dan T memiliki nilai yang seimbang sehingga arus yang mengalir pada penghantar netral mendekati nol. Namun, distribusi beban yang tidak merata dapat menyebabkan perbedaan arus antar fasa sehingga menimbulkan arus netral dan rugi-rugi tambahan pada sistem distribusi. Ketidakseimbangan beban yang tinggi dapat menyebabkan kenaikan temperatur yang tidak merata pada transformator serta menurunkan efisiensi operasinya. Persentase ketidakseimbangan beban dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\% \text{ unbalance} = \frac{(|a-1| + |b-1| + |c-1|)}{3} \times 100\%$$

dimana:

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}}$$

$$C = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}$$

Nilai persentase ketidakseimbangan beban yang semakin besar menunjukkan distribusi beban yang semakin tidak merata. Kondisi tersebut dapat meningkatkan rugi-rugi daya, memperbesar arus netral, menyebabkan kenaikan temperatur transformator, dan berpotensi menurunkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

c. Indikator suhu transformator

Temperatur merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk menilai kondisi kesehatan transformator distribusi. Selama beroperasi, transformator menghasilkan panas akibat rugi-rugi inti (*core loss*) dan rugi-rugi tembaga (*copper loss*). Peningkatan pembebanan, ketidakseimbangan beban, maupun gangguan sistem pendinginan dapat menyebabkan kenaikan temperatur yang berlebihan (*overheat*). Menurut IEC 60076-2 dan IEEE C57.91, kenaikan temperatur yang melebihi batas desain transformator dapat mempercepat proses penuaan isolasi sehingga mengurangi umur pakai transformator. Atas dasar kondisi tersebut, pemantauan temperatur secara *real-time* menjadi salah satu metode yang efektif untuk mendeteksi kondisi operasi yang tidak normal. Pada penelitian ini, kondisi transformator dikategorikan normal apabila temperatur berada di bawah 60°C, waspada pada rentang 60°C–80°C, dan *overheat* apabila temperatur melebihi 80°C. Nilai tersebut digunakan sebagai indikator awal untuk mengidentifikasi potensi gangguan akibat pembebanan berlebih, ketidakseimbangan beban, maupun peningkatan rugi-rugi daya yang menyebabkan kenaikan temperatur transformator.

Bab IV

Hasil dan Pembahasan

A. Pembahasan

Sistem yang dikembangkan pada penelitian ini diwujudkan dalam bentuk purwarupa sebagai media implementasi konsep monitoring kondisi transformator distribusi. Purwarupa tidak dipasang secara langsung pada transformator distribusi, melainkan pada panel distribusi yang mewakili titik pengukuran arus beban. Pemilihan panel distribusi didasarkan pada pertimbangan keselamatan, kemudahan proses pengujian, serta keterbatasan akses terhadap transformator yang sedang beroperasi. Melalui pendekatan tersebut, proses pembacaan arus tiap fasa, pengukuran suhu, pengolahan data, hingga penyajian informasi pada web monitoring tetap dapat dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian.

Purwarupa terdiri atas tiga CT yang dipasang pada masing-masing fasa R, S, dan T untuk memperoleh nilai arus beban. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan sensor DS18B20 yang ditempatkan pada bagian yang merepresentasikan kondisi temperatur transformator. Seluruh data hasil pembacaan sensor diproses oleh mikrokontroler ESP-32 sebagai pusat pengendali sistem sebelum dikirim menuju *Firestore Realtime Database* melalui koneksi *Wi-Fi*.

Fokus utama sistem yang dikembangkan adalah pemantauan kondisi transformator berdasarkan parameter arus dan suhu sebagai dasar untuk mengetahui kondisi operasi secara lebih dini. Sistem tidak berfungsi sebagai perangkat proteksi atau pengendali beban secara langsung, tetapi sebagai media pemantauan yang memberikan informasi mengenai perubahan kondisi transformator. Dengan demikian, hasil monitoring dapat digunakan sebagai dasar untuk mengetahui adanya pembebanan yang tinggi, ketidakseimbangan arus antar fasa, maupun peningkatan temperatur yang berpotensi menunjukkan kondisi abnormal.

Data yang tersimpan pada *Firestore Realtime Database* dimanfaatkan sebagai sumber informasi bagi aplikasi web monitoring. Halaman web menampilkan arus fasa R, S, dan T, suhu, persentase pembebanan (*load*), nilai *unbalance*, serta status kondisi transformator berdasarkan hasil pengolahan data oleh ESP-32. Indikator tersebut dipilih karena dapat memberikan gambaran mengenai kondisi pembebanan dan keseimbangan antar fasa, sedangkan temperatur digunakan untuk mengamati kecenderungan kondisi *overheat*. Proses pengiriman data berlangsung secara berkala sehingga perubahan kondisi dapat dipantau secara langsung maupun melalui data historis yang tersimpan pada basis data.

Pemilihan indikator tersebut berkaitan dengan kondisi yang ditemukan pada tahap observasi. Pada transformator distribusi di Substation RB Bandara Internasional Juanda, hasil pengukuran menunjukkan arus fasa R sebesar 70 A, fasa S sebesar 56 A, dan fasa T sebesar 48 A. Perbedaan arus tersebut menghasilkan *unbalance* sebesar 14%, sedangkan tingkat pembebanan transformator mencapai 92,03%. Kondisi tersebut menunjukkan adanya pembebanan yang tinggi dan distribusi arus yang belum merata antar fasa, yang apabila berlangsung terus-menerus dapat meningkatkan rugi-rugi dan pemanasan pada peralatan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, langkah penanganan tidak berhenti pada proses mengetahui nilai arus dan suhu, tetapi dapat dilanjutkan dengan tindakan berdasarkan indikator yang diperoleh. Apabila terjadi *overload*, langkah yang dapat dilakukan adalah mengevaluasi beban yang terhubung pada transformator, mengidentifikasi beban yang menyebabkan peningkatan pembebanan, kemudian melakukan pengurangan atau pemindahan beban apabila diperlukan agar tingkat pembebanan kembali berada pada kondisi yang lebih aman. Sementara itu, apabila ditemukan *unbalance*, nilai arus masing-masing fasa perlu diperiksa untuk mengetahui fasa dengan beban paling tinggi. Beban yang dapat dipindahkan kemudian dapat dilakukan penataan atau

pemerataan antar fasa sehingga perbedaan arus dapat dikurangi. Dalam konteks penelitian ini, sistem monitoring berfungsi memberikan informasi dan indikasi awal yang dapat menjadi dasar bagi petugas dalam menentukan tindakan tersebut, bukan melakukan pemerataan beban atau pengurangan beban secara otomatis.

Perancangan sistem difokuskan pada penggunaan komponen yang mudah diperoleh, ekonomis, dan sederhana untuk diimplementasikan. Pendekatan tersebut menjadikan sistem lebih mudah dikembangkan sebagai media monitoring transformator distribusi, terutama pada lokasi yang memerlukan pemantauan jarak jauh dengan biaya implementasi yang relatif rendah.

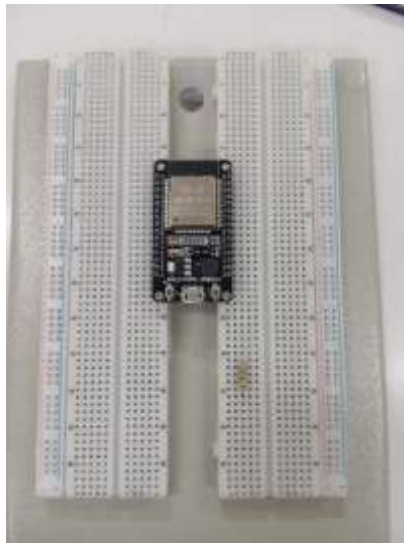
Secara umum, alur kerja sistem diawali dengan pembacaan arus pada setiap fasa dan suhu menggunakan sensor. Data hasil pengukuran kemudian diproses oleh ESP-32 untuk menghitung nilai *load* dan *unbalance* serta menentukan kondisi *overheat* berdasarkan batas parameter yang telah ditetapkan. Hasil pengolahan selanjutnya dikirim ke *Firestore Realtime Database* dan ditampilkan pada halaman web monitoring. Pengujian sistem juga menunjukkan bahwa parameter arus tiap fasa, suhu, *overload*, *unbalance*, dan status kondisi dapat ditampilkan pada web sesuai dengan hasil pengolahan ESP-32.

B. Tahapan pembuatan

1. Pemasangan Mikrokontroler ESP-32 pada panel

Tahap awal pembuatan sistem dilakukan dengan menyiapkan media pemasangan seluruh komponen di dalam box panel. *Breadboard* dipasang pada bagian dalam panel menggunakan perekat agar posisinya tetap stabil selama proses perakitan. Mikrokontroler ESP-32 kemudian ditempatkan pada *Breadboard* sebagai pusat pengendali sistem. Penempatan komponen disesuaikan dengan tata letak rangkaian sehingga memudahkan proses pengkabelan, pemeliharaan, serta pengujian setiap perangkat yang terhubung.

Pemasangan komponen pada panel dirancang agar seluruh rangkaian terlindungi dari gangguan fisik maupun sentuhan langsung selama proses pengoperasian. Tata letak tersebut memberikan ruang yang cukup untuk pemasangan sensor, jalur kabel, dan catu daya sehingga proses perakitan menjadi lebih rapi dan mudah dikembangkan apabila diperlukan penambahan komponen.



Gambar 4.1 Pemasangan *breadboard* dan ESP-32 pada box panel

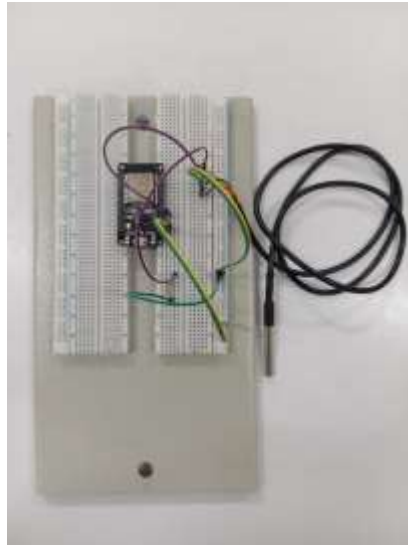
Sumber: Dokumentasi penulis

2. Perakitan Sensor Suhu DS18B20

Setelah mikrokontroler terpasang, proses dilanjutkan dengan perakitan sensor suhu DS18B20. Sensor dihubungkan ke ESP-32 menggunakan tiga jalur, yaitu VCC sebagai sumber tegangan, GND sebagai ground, dan pin data sebagai jalur komunikasi menggunakan protokol One-Wire. Pada jalur data dipasang resistor pull-up sebesar 4,7 k Ω untuk menjaga kestabilan komunikasi antara sensor dan mikrokontroler.

Konfigurasi tersebut memungkinkan ESP-32 menerima data suhu secara periodik untuk diproses sebagai salah satu parameter pemantauan kondisi transformator. Sensor ditempatkan pada titik pengukuran yang

merepresentasikan kondisi temperatur transformator sehingga hasil pembacaan dapat digunakan sebagai dasar identifikasi kondisi overheat.



Gambar 4.2 Pemasangan sensor suhu DS18B20

Sumber: Dokumentasi penulis

3. Perakitan Sensor Arus SCT-013

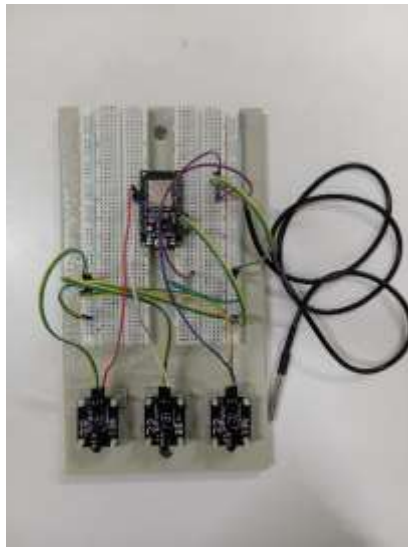
Tahap berikutnya dilakukan perakitan sensor arus menggunakan tiga buah CT SCT-013 yang masing-masing digunakan untuk mengukur arus pada fasa R, S, dan T. Setiap sensor dihubungkan ke *board adaptor* sebelum diteruskan menuju pin analog ESP-32 sesuai rancangan rangkaian.



Gambar 4.3 *Board sensor adaptor* untuk SCT-013

Sumber: Dokumentasi penulis

Board adaptor berfungsi sebagai rangkaian pengondisi sinyal sehingga keluaran sensor dapat dibaca oleh ADC pada ESP-32. Data arus dari ketiga sensor digunakan sebagai dasar perhitungan arus setiap fasa, persentase pembebanan (*overload*), dan ketidakseimbangan beban (*unbalance*). Seluruh jalur pengkabelan dirangkai sesuai diagram wiring yang telah dirancang untuk memastikan setiap sensor bekerja secara optimal.



Gambar 4.4 Pemasangan *board sensor adaptor*

Sumber: Dokumentasi penulis

4. Implementasi Program pada Arduino IDE

Setelah seluruh rangkaian perangkat keras selesai dirakit, tahap berikutnya dilakukan pengembangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE. Program disusun untuk mengendalikan proses pembacaan sensor arus dan sensor suhu, pengolahan data hasil pengukuran, serta pengiriman data menuju *Firestore Realtime Database* melalui jaringan Wi-Fi.

Program diawali dengan inisialisasi pin masukan, konfigurasi koneksi internet, serta pemanggilan *library* yang digunakan oleh ESP-32. Data arus yang diperoleh dari sensor SCT-013 diolah untuk menghasilkan nilai arus tiap fasa, persentase *overload*, dan nilai ketidakseimbangan beban. Data suhu dari sensor DS18B20 digunakan untuk menentukan kondisi

temperatur transformator berdasarkan batas parameter yang telah ditetapkan. Seluruh hasil pengolahan kemudian dikirim ke *Firestore* secara berkala sehingga dapat ditampilkan pada halaman web monitoring secara *real-time*.

```

24 unsigned long realtimeTimer = 0;
25 unsigned long historyTimer = 0;
26
27 const unsigned long REALTIME_INTERVAL = 2000;
28 const unsigned long HISTORY_INTERVAL = 60000;
29
30 const char* ntpServer = "pool.ntp.org";
31 const long gmtoffset_sec = 7 * 3600;    // WIB
32 const int daylightOffset_sec = 0;

```

Gambar 4.5 Pengaturan waktu pembaruan data

```

34 // =====
35 // PIN
36 // =====
37 #define ONE_WIRE_BUS 4    // DS18B20
38
39 #define PIN_R 34          // SCT013 Fasa R
40 #define PIN_S 35          // SCT013 Fasa S
41 #define PIN_T 32          // SCT013 Fasa T
42
43

```

Gambar 4.6 Pembacaan pin pada mikrokontroler ESP-32

```

115
116 // =====
117 // BACA ARUS
118 // =====
119 double Ir = ctR.calcIrms(1480);
120 double Is = ctS.calcIrms(1480);
121 double It = ctT.calcIrms(1480);
122

```

Gambar 4.7 Pembacaan arus

```

123 // =====
124 // PARAMETER TRAF0
125 // =====
126 const float TRAF0_KVA = 50.0; // kapasitas trafo (kVA)
127 const float LINE_VOLTAGE = 380.0; // tegangan 3 fasa (Volt)
128
129 // =====
130 // HITUNG RATED CURRENT
131 // =====
132 float Irated = (TRAF0_KVA * 1000.0) / (sqrt(3) * LINE_VOLTAGE);
133
134 // =====
135 // HITUNG ARUS RATA-RATA
136 // =====
137 float Iavg = (Ir + Is + It) / 3.0;
138
139 // =====
140 // HITUNG LOAD (% PEMBEBANAN)
141 // =====
142 float Load = (Iavg / Irated) * 100.0;
143
144 // =====
145 // HITUNG UNBALANCE
146 // =====
147
148 float Unbalance = 0.0;
149
150 if (Iavg > 0.0) {
151     // Koefisien a, b, c
152     float a = Ir / Iavg;
153     float b = Is / Iavg;
154     float c = It / Iavg;
155
156     // Persentase ketidakseimbangan
157     Unbalance =
158     ((fabs(a - 1.0) +
159      fabs(b - 1.0) +
160      fabs(c - 1.0)) / 3.0) * 100.0;
161 }
162
163

```

Gambar 4.8 Penghitungan persentase *load* dan *unbalance*

```

164 // =====
165 // BACA SUHU
166 // =====
167 sensors.requestTemperatures();
168 float suhu = sensors.getTempCByIndex(0);

```

Gambar 4.9 Pembacaan suhu

C. Implementasi Web Monitoring sebagai Media Pemantauan Jarak Jauh

1. Perancangan dan Pembuatan Web Monitoring

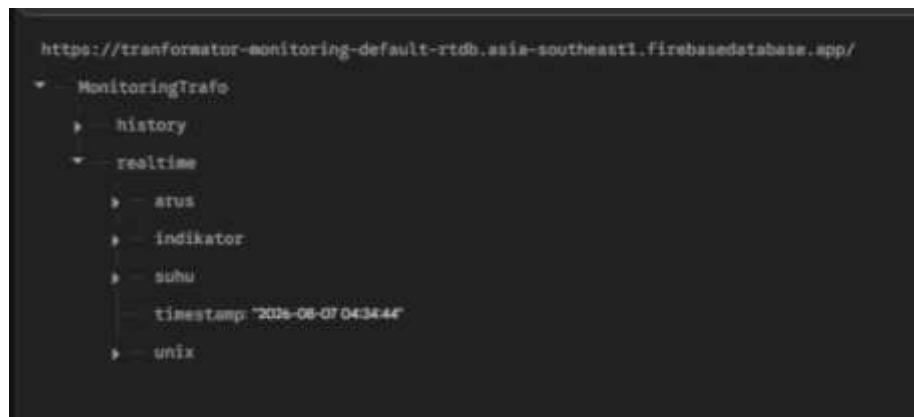
Tahap awal implementasi dilakukan dengan merancang tampilan dan struktur aplikasi web sebagai media pemantauan kondisi transformator. Aplikasi dikembangkan menggunakan HTML, CSS, dan *JavaScript*. Struktur utama halaman dibuat pada berkas *index.html* yang memuat komponen berupa nilai arus tiap fasa, suhu transformator, indikator kondisi, grafik pemantauan, serta elemen pendukung lainnya. Selanjutnya, CSS digunakan untuk mengatur tata letak dan tampilan antarmuka, sedangkan *JavaScript* digunakan untuk mengatur fungsi interaktif serta pembaruan informasi pada halaman monitoring.

```
1  <!DOCTYPE html>
2
3  <html lang="en">
4
5  <head>
6
7  <meta charset="UTF-8">
8
9  <meta name="viewport"
10 content="width=device-width, initial-scale=1.0">
11
12 <title>Monitoring Trafo</title>
13
14 <link ...
17 href="assets/favicon.png">
18
19 <link ...
21 href="css/style.css">
22
23 <link ...
25 href="css/glass.css">
26
27 <link ...
29 href="css/dashboard.css">
30
31 <link ...
33 rel="stylesheet">
34
35 <style> ...
89 </style>
90
91 </head>
92
93 <body> ...
378 </body>
379
380 </html>
```

Gambar 4.10 Kode *index.html* pada aplikasi *Visual Studio Code*

2. Integrasi ESP-32 dengan Firebase Realtime Database

Setelah proses pemrograman pada ESP-32 selesai, tahap berikutnya dilakukan integrasi sistem dengan *Firebase Realtime Database* sebagai media penyimpanan data secara daring. *Firebase* dipilih karena mampu menerima dan menyimpan data hasil pembacaan sensor secara *real-time* sehingga informasi kondisi transformator dapat diakses tanpa bergantung pada media penyimpanan lokal.



Gambar 4.11 Pembuatan *project* pada *Firebase Realtime Database*

3. Konfigurasi Firebase Realtime Database

Proses integrasi diawali dengan pembuatan proyek pada *Firebase Console*, kemudian dilanjutkan dengan konfigurasi *Realtime Database*, autentikasi, serta pengaturan aturan akses (*database rules*) agar ESP-32 memiliki izin untuk mengirimkan data.

4. Pengiriman dan Penyimpanan Data

Setiap data hasil pembacaan sensor arus dan sensor suhu diproses terlebih dahulu oleh ESP-32 untuk memperoleh nilai arus tiap fasa, persentase *overload*, nilai *unbalance*, dan status *overheat*. Seluruh parameter tersebut kemudian dikirim menuju *Firebase Realtime Database* melalui jaringan *Wi-Fi* secara berkala. Penyimpanan data dilakukan dalam bentuk struktur JSON sehingga memudahkan proses pembacaan oleh aplikasi web monitoring.

5. Integrasi Web dengan *Firebase Realtime Database*

Proses komunikasi antara halaman web dan *Firebase Realtime Database* diatur melalui berkas *firebase.js*. Berkas ini bertugas melakukan inisialisasi layanan *Firebase* dan membaca data yang tersimpan pada *Realtime Database*. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk memperbarui informasi pada halaman monitoring ketika terjadi perubahan nilai dari ESP-32.

```
1 import { initializeApp } from "https://www.gstatic.com/firebasejs/10.11.2/firebase-app.js";
2
3 import {
4   getDatabase,
5   ref,
6   onValue
7 } from "https://www.gstatic.com/firebasejs/10.11.2/firebase-database.js";
8
9 const firebaseConfig = {
10   apiKey: "AIzaSyDI1sFkMMPO1Bhtk67CMjSGKgNhyBAl10",
11   authDomain: "transformator-monitoring.firebaseio.com",
12   databaseURL: "https://transformator-monitoring-default-rtdb.asia-southeast1.firebaseio.com",
13   projectId: "transformator-monitoring",
14   storageBucket: "transformator-monitoring.firebaseio.com",
15   messagingSenderId: "135592992118",
16   appId: "1:135592992118:web:e341dd61bd31608542ae57"
17 };
18
19 const app = initializeApp(firebaseConfig);
20 const db = getDatabase(app);
21 const monitorRef = ref(db, "MonitoringInfo/realtime");
22
23 onValue(monitorRef, (snapshot) => {
24   if (!snapshot.exists()) return;
25   const data = snapshot.val();
26
27   const Ir = document.getElementById("Ir");
28   const Is = document.getElementById("Is");
29   const It = document.getElementById("It");
30
31   const temp = document.getElementById("temp");
32   const overload = document.getElementById("overload");
33   const unbalance = document.getElementById("unbalance");
```

Gambar 4.12 Kode *firebase.js* untuk mengintegrasikan *Firebase Realtime Database* dengan web monitoring

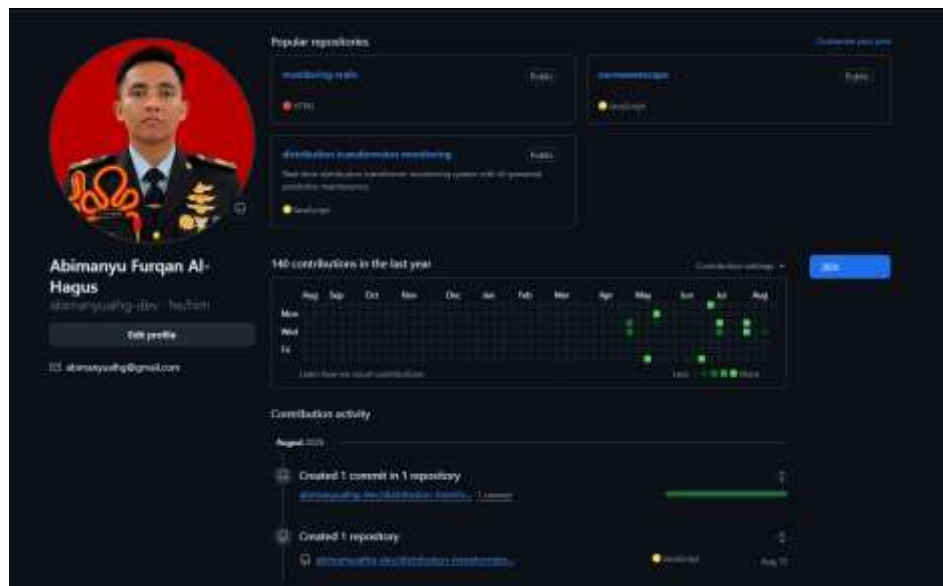
6. Penyajian Data pada Web Monitoring

Data yang tersimpan pada *Firebase* dimanfaatkan sebagai sumber informasi bagi aplikasi web monitoring. Halaman web menampilkan nilai arus tiap fasa, suhu transformator, persentase *overload*, nilai *unbalance*, serta status kondisi transformator berdasarkan hasil pengolahan data oleh

ESP-32. Perubahan nilai yang diterima dari *Firestore* dapat diperbarui pada halaman monitoring tanpa memerlukan proses penyegaran halaman secara manual.

7. Publikasi Web Monitoring

Setelah proses pengembangan dan integrasi selesai, aplikasi web dipublikasikan melalui *GitHub Pages* sehingga dapat diakses menggunakan peramban pada berbagai perangkat yang terhubung ke internet. Publikasi ini memungkinkan aplikasi digunakan sebagai media pemantauan kondisi transformator secara daring tanpa harus menjalankan web secara lokal.



Gambar 4.13 Halaman profil developer pada *GitHub Pages*

8. Implementasi Pemantauan Jarak Jauh

Tahap akhir implementasi dilakukan dengan menghubungkan keseluruhan sistem, mulai dari sensor, ESP-32, *Firestore Realtime Database*, hingga aplikasi web monitoring. Data hasil pengukuran dikirim oleh ESP-32 melalui jaringan Wi-Fi, disimpan pada *Firestore*, kemudian dibaca dan ditampilkan pada halaman web. Dengan mekanisme tersebut, kondisi transformator berdasarkan arus tiap fasa, suhu, *overload*, *unbalance*, dan status kondisi dapat dipantau dari jarak jauh melalui jaringan internet.



Gambar 4.14 Tampilan web monitoring

D. Pengujian

Tahap pengujian dilakukan setelah seluruh proses perakitan perangkat keras, pemrograman mikrokontroler ESP-32, integrasi dengan *Firebase Realtime Database*, serta implementasi web monitoring selesai dilaksanakan. Pengujian bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membaca data sensor, mengolah parameter pengukuran, mengirimkan data, hingga menampilkan informasi kondisi transformator pada halaman web sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

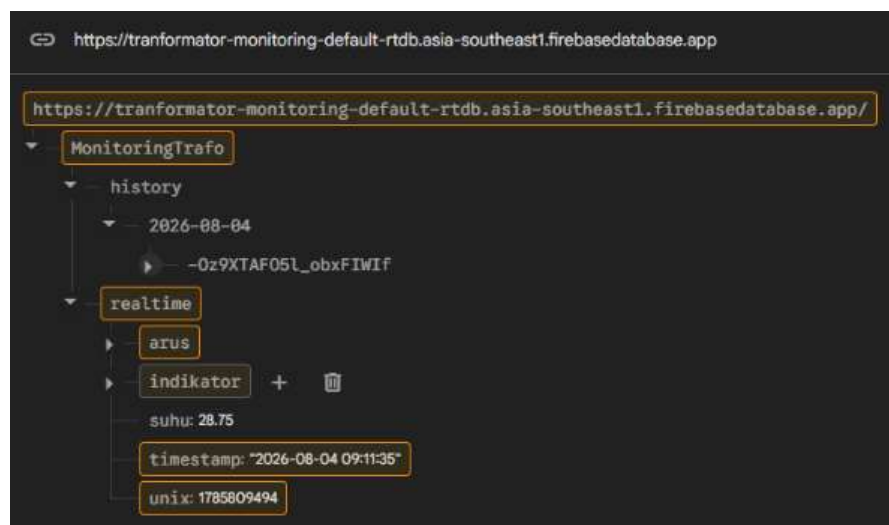
Pengujian diawali dengan proses kalibrasi sensor arus SCT-013 menggunakan *clamp meter* sebagai alat ukur pembanding. Kalibrasi dilakukan untuk memperoleh faktor koreksi sehingga hasil pembacaan sensor memiliki tingkat ketelitian yang lebih baik. Nilai hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan hasil pengukuran *clamp meter* pada beberapa kondisi beban. Faktor kalibrasi pada program ESP-32 kemudian disesuaikan hingga selisih pembacaan berada dalam batas yang dapat diterima.



Gambar 4.15 Proses kalibrasi SCT-013 dengan tang ampere

Setelah proses kalibrasi selesai, dilakukan pengujian sensor suhu DS18B20 untuk memastikan sensor mampu membaca perubahan temperatur secara stabil. Hasil pembacaan sensor diamati pada beberapa kondisi pengukuran sebagai acuan dalam menentukan status temperatur yang digunakan oleh sistem.

Tahap berikutnya dilakukan pengujian komunikasi antara mikrokontroler ESP-32 dan *Firestore Realtime Database*. Pengujian dilakukan dengan mengamati proses pengiriman data hasil pembacaan sensor menuju basis data. Data dinyatakan berhasil dikirim apabila setiap perubahan nilai arus dan suhu dapat tersimpan pada *Firestore* sesuai interval pengiriman yang telah ditentukan.



Gambar 4.16 Informasi pengukuran yang sudah terunggah pada *Firestore Realtime Database*

Pengujian kemudian dilanjutkan pada aplikasi web monitoring untuk memastikan data yang tersimpan pada Firebase dapat ditampilkan secara benar. Parameter yang diamati meliputi nilai arus tiap fasa, suhu, persentase *overload*, nilai *unbalance*, serta status kondisi transformator berdasarkan hasil pengolahan data oleh mikrokontroler ESP-32. Perubahan data yang terjadi pada sistem diamati secara langsung melalui halaman web untuk memastikan informasi yang ditampilkan sesuai dengan hasil pembacaan sensor.



Gambar 4.17 Informasi pengukuran yang sudah terunggah pada web monitoring

Tahap terakhir merupakan pengujian sistem secara keseluruhan dengan menghubungkan seluruh komponen menjadi satu kesatuan purwarupa. Pengujian dilakukan mulai dari proses pembacaan sensor arus dan sensor suhu, pengolahan data pada mikrokontroler ESP-32, pengiriman data menuju *Firestore Realtime Database*, hingga penyajian informasi pada halaman web monitoring. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, seluruh komponen sistem mampu bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang sehingga purwarupa dapat digunakan sebagai media monitoring kondisi transformator distribusi berdasarkan parameter arus dan suhu.

Bab V

Kesimpulan

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Telah berhasil dirancang dan dibangun purwarupa sistem monitoring kondisi transformator distribusi berbasis mikrokontroler ESP-32 yang mampu melakukan pembacaan arus pada setiap fasa menggunakan sensor SCT-013 serta pengukuran suhu menggunakan sensor DS18B20 secara *real-time*. Data hasil pengukuran diproses oleh mikrokontroler untuk menghitung tingkat *overload*, ketidakseimbangan beban (*unbalance*), serta mengidentifikasi kondisi *overheat*, sehingga mampu memberikan informasi kondisi operasi transformator berdasarkan parameter arus dan suhu.
2. Sistem monitoring yang dikembangkan mampu menyajikan informasi kondisi transformator distribusi melalui halaman web dengan memanfaatkan *Firestore Realtime Database* sebagai media pertukaran data. Hasil pembacaan sensor yang dikirim oleh mikrokontroler ESP-32 dapat ditampilkan pada web secara *real-time*, meliputi nilai arus tiap fasa, suhu, persentase *overload*, nilai *unbalance*, dan status kondisi transformator, sehingga proses pemantauan dapat dilakukan dari lokasi yang berbeda tanpa harus melakukan pengukuran secara langsung.

B. Saran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan telah berfungsi sesuai dengan tujuan yang ditetapkan. Meskipun demikian, masih terdapat beberapa keterbatasan yang dapat menjadi dasar pengembangan pada penelitian berikutnya. Atas dasar tersebut, penulis mengajukan beberapa saran sebagai berikut.

1. Pengembangan berikutnya dapat menggunakan sensor arus dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi serta menambahkan parameter pengukuran lain,

seperti tegangan, faktor daya, daya aktif, maupun kelembapan, sehingga informasi kondisi transformator menjadi lebih lengkap.

2. Purwarupa pada penelitian ini masih diimplementasikan pada panel distribusi sebagai media pengujian. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem agar dapat diterapkan secara langsung pada transformator distribusi dengan memperhatikan aspek keselamatan kerja, standar instalasi, serta keandalan perangkat.
3. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur *cyber security* untuk meningkatkan keamanan komunikasi dan penyimpanan data antara ESP-32, *Firebase Realtime Database*, dan web monitoring. Pengembangan dapat mencakup pengaturan hak akses pengguna, pengamanan kredensial, serta penerapan aturan akses basis data yang lebih ketat untuk mencegah akses terhadap data oleh pihak yang tidak berwenang.
4. Pengembangan selanjutnya dapat dilengkapi dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) penanganan berdasarkan hasil monitoring. SOP tersebut dapat memuat langkah pemeriksaan dan tindakan ketika sistem menunjukkan kondisi *overload*, *overheat*, atau *unbalance*, sehingga informasi yang dihasilkan sistem tidak hanya digunakan untuk mengetahui kondisi transformator, tetapi juga menjadi acuan dalam melakukan pemeriksaan dan tindakan pemeliharaan secara sistematis.
5. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur notifikasi otomatis melalui aplikasi pesan singkat, surat elektronik, atau media komunikasi lainnya ketika terdeteksi kondisi *overload*, *overheat*, maupun *unbalance*, sehingga proses penanganan kondisi abnormal dapat dilakukan dengan lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- ((IEC), 2011; MINERAL, 2011; No.161.K/DIR/2007, 2007)
- (IEC), I. E. C. (2011). *IEC 60076-1*.
- Broto, P. E. (2023). *Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Portable Berbasis IoT menggunakan Arduino Mega dan ESP32 Portable IoT-Based Temperature and Humidity Monitoring System using Arduino Mega and ESP32*. 8, 1–6.
- Djuma, B. R., Dwi, R., & Kartika, J. (2025). *VISA : Journal of Visions and Ideas Berbasis IoT untuk Predictive Maintenance dan Notifikasi Gangguan VISA : Journal of Visions and Ideas*. 5(2), 1415–1423.
- Gemeda, D. B., Lehner, M., & Stork, W. (2022). *Design and Evaluation of Condition Monitoring of Distribution Transformers for Developing Countries*. 71(3), 1939–1950.
- Hakim, L. (2025). *Implementasi Firebase Realtime Database sebagai Backend pada Sistem Monitoring Kapasitas dan Beban Tempat Sampah Berbasis IoT*. 12(5), 8046–8049.
- Isqeel, A. A., Olatunji, A. I., Sulaiman, A., & Yinka, A. (2025). *IoT-Enabled Real-Time Monitoring and Loss-of-Life Estimation of Distribution Transformers*. 14(3), 191–210.
- Lestari, M. (2023). *IoT TROHEMS (Transformator Online Health Monitoring System)*. 9(2), 151–161.
- Mahendra, A., & Winardi, S. (2023). *Perancangan Realtime Database Firebase untuk IoT dan Unity Menggunakan Metode SDLC*. XIV(2), 72–82.
- Makassar, M. (2024). *Arus Jurnal Sains dan Teknologi (AJST) Pembebanan Transformator Distribusi di PT . Distribusi Energi*. 2(2).
- MINERAL, D. J. K. K. E. D. S. D. (2011). *PUIL 2011*.
- Msane, M. R., Thango, B. A., & Ogudo, K. A. (2024). *applied sciences Condition Monitoring of Electrical Transformers Using the Internet of Things : A Systematic Literature Review*.
- Mulyawan, M. F., Muda, M. A., Pradipta, R. A., & Kom, S. (2023). *Sistem Informasi Berbasis Web Untuk Memonitoring Perangkat Internet Of Things (*

- IoT*) Menggunakan Node-Red. 17(1).
- No.161.K/DIR/2007, P. P. (PERSERO). (2007). *SPLN D3.002-1: 2007. 161.*
- Purba, R. T., Eriansyah, A., & Habeahan, K. S. (2024). *An Optimal Effect Of Overload And Unbalanced Load On Transformer Lifetime In 20kv Distribution Substation. 13(01), 72–77.*
<https://doi.org/10.58471/infokum.v13i01>
- Purnomo, H., Yusron, A., & Perdana, P. (2024). *IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS DALAM MONITORING TEMPERATUR DAN KELEMBABAN RUANG TRANSFORMATOR 20KV. 12(3).*
- Sahrani, S., Ahmad, N. D., Mohamed, R., & Talib, M. A. (2023). *SCIENCE & TECHNOLOGY Real-Time Monitoring of Oil Temperature in Distribution Power Transformer by Using Internet of Things. 31(1), 1–16.*
- Setia, A., Ariyanto, S., & Triwibowo, D. N. (2026). *Implementasi dan Evaluasi Kinerja Sistem IoT Multi-Sensor Berbasis ESP32 untuk Pemantauan dan Peringatan Dini Lingkungan secara Real-Time. 09(1), 118–125.*
- Sugiyono, P. D. (2013). *METODE PENELITIAN KUANTITATIF KUALITATIF DAN R&D.*
- Suwardono, A., Prahesti, F. E., Indrawati, E. M., & Jalil, M. A. (2024). *IoT Based Catfish Farm Monitoring Microcontroller and DS18B20 Sensor with. 13(3), 508–516.*
- Yuniarto, W., Diponegoro, M., Studi, P., Elektro, T., Pontianak, P. N., & Barat, K. (2023). *Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Things (IoT). 22(1), 30–38.*
- Zaim, M. Z., & Ranolat, S. (2025). *Sistem Monitoring Energi Listrik 3 Fase Berbasis IoT dan Firebase. 12(2), 2–7.*
- Zuhair, A., Pramudita, S. E., Prasetyaningtyas, A., Pambudi, K. T., & Syukron, M. (2025). *PROTOTYPE ALAT MONITORING TEGANGAN DAN ARUS PADA GARDU DISTRIBUSI SECARA REAL TIME BERBASIS IOT. Jurnal Qua Teknika, 15(2), 125–129.*

LAMPIRAN

Lampiran 1: Lembar bimbingan dosen pembimbing 1



POLITEKNIK PENERBANGAN INDONESIA CURUG
PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK BANDARA
CURUG - TANGERANG

LEMBAR KONSULTASI BIMBINGAN TUGAS AKHIR
TAHUN AKADEMIK 2025/2026

NAMA MAHASISWA : ABIMANYU FURQAN AL-HAGUS
NIM : 16092210001
COURSE : TLB 2A
DOSEN PEMBIMBING 1 : Taryana, S.SiT., M.M.
JUDUL TUGAS AKHIR : RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KONDISI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BERDASARKAN ARUS DAN SUHU BERBASIS MIKROKONTROLER ESP-32

PROSES BIMBINGAN TUGAS AKHIR				
BIMBINGAN KE	HARI/TGL	MATERI KONSULTASI	PARAF MAHASISWA	PARAF DOSEN
1	JUMAT 10/4/2026	Koordinasi jadwal bimbingan, Penentuan timeline perancangan		
2	RABU 22/4/2026	Bimbingan BAB 1		
3	RABU 29/4/2026	Penentuan sensor arus yang dipakai		
4	RABU 3/6/2026	Penentuan fitur dan tampilan website		
5	RABU 17/6/2026	Bimbingan BAB 3		
6	RABU 1/7/2026	Bimbingan BAB 4		
7	RABU 15/7/2026	Revisi BAB 4 dan Bab 5		
8	SELASA 4/8/2026	Pengujian alat		
9	JUMAT 7/8/2026	Pengecekan final draft Tugas Akhir Penambahan dokumentasi pengujian untuk lampiran		
10	SENIN 10/8/2026	Pengecekan fitur dan UI web monitoring Persiapan sidang tugas akhir		

Catatan untuk dosen pembimbing Bimbingan Tugas Akhir

- Jumlah pertemuan bimbingan : Minimal 8 (delapan) pertemuan

Mengetahui,
 Plt. Kaprodi Teknik Listrik Bandara



KGS. M. ISMAIL, S.SiT., MT.
 NIP. 19831009 200812 1 001

Dosen Pembimbing



(Taryana, S. SiT., M.M.)
 NIP. 19681019 199203 1 001

Lampiran 2: Lembar bimbingan dosen pembimbing 2



POLITEKNIK PENERBANGAN INDONESIA CURUG
PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK BANDARA
CURUG - TANGERANG

LEMBAR KONSULTASI BIMBINGAN TUGAS AKHIR
TAHUN AKADEMIK 2025/2026

NAMA MAHASISWA : ADIMANYU FURQAN ALHAGUS

NIM : 16092210001

COURSE : TLB 24

DOSEN PEMBIMBING II : Nurul Azizah Syahbilla, S.Tr. T.

JUDUL TUGAS AKHIR : RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KONDISI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BERDASARKAN ARUS DAN SUHU BERBASIS MIKROKONTROLER ESP-32

PROSES BIMBINGAN TUGAS AKHIR				
BIMBINGAN KE	HARI/TGL	MATERI KONSULTASI	PARAF MAHASISWA	PARAF DOSEN
1	RABU 6/5/2026	Penentuan jadwal bimbingan		
2	JUMAT 8/5/2026	Review Bab 1-3		
3	SELASA 9/6/2026	Revisi Bab 1-3		
4	KAMIS 11/6/2026	Pemambahan referensi dan regulasi		
5	RABU 8/7/2026	Bimbingan Bab 4		
6	Senin 13/7/2026	Konsultasi pemasangan alat		
7	Rabu 15/7/2026	Revisi Bab 4-5		
8	SELASA 4/8/2026	Pengujian alat		
9				
10				

Catatan untuk dosen pembimbing Bimbingan Tugas Akhir

- Jumlah pertemuan bimbingan : Minimal 8 (delapan) pertemuan

Mengetahui,
 Plt. Kaprodi Teknik Listrik Bandara



KGS. M. ISMAIL, S.SiT, MT.
 NIP. 19831009 200812 1 001

Dosen Pembimbing



(Nurul Azizah Syahbilla, S.Tr. T.
 NIP. 20010517 202310 2 001

Lampiran 3: Kalibrasi hasil penghitungan arduino IDE dengan hasil penghitungan manual

1. Hasil penghitungan manual



Asumsi kapasitas trafo 50 kVA dengan tegangan tegangan 3 fasa 380 V,
arus nominal 75,97 A

A. Persentase pembebanan

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{I_{\text{beban}}}{I_{\text{nominal}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{I_{\text{beban}}}{I_{\text{nominal}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{19,06}{75,97} \times 100\%$$

$$\% \text{ pembebanan} = 25,09\%$$

B. Penghitungan unbalance

$$\% \text{ unbalance} = \frac{(|a-1| + |b-1| + |c-1|)}{3} \times 100\%$$

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} \quad b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} \quad c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}}$$

$$a = \frac{11,35}{19,06} \quad b = \frac{35,50}{19,06} \quad c = \frac{10,33}{19,06}$$

$$a = 0,5955 \quad b = 1,8625 \quad c = 0,5420$$

$$\% \text{ unbalance} = \frac{(|0,5955-1| + |1,8625-1| + |0,5420-1|)}{3} \times 100\%$$

$$\% \text{ unbalance} = \frac{(0,4045 + 0,8625 + 0,4580)}{3} \times 100\%$$

$$\% \text{ unbalance} = 57,50\%$$

2. Hasil penghitungan aplikasi arduino IDE



Lampiran 4: Lembar Uji Fungsional

LEMBAR UJI FUNSIONAL

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KONDISI TRANSFORMATOR
DISTRIBUSI BERDASARKAN ARUS DAN SUHU BERBASIS MIKROKONTROLER
ESP-32

Nama Penguji : Taryana, S.SiT., M.M.
Jabatan : Dosen Lektor
Instansi : Politeknik Penerbangan Indonesia Curug
Lokasi Pengujian : Gedung Teknik Penerbangan Baru
Tanggal Pengujian : 4 Agustus 2026

A. PENGANTAR

Setelah melaksanakan pengujian fungsional pada hari ini 4 Agustus 2026, dilakukan pengujian alat sebagai tahapan pelaksanaan Tugas Akhir:

Nama : Abimanyu Furqan Al-Hagus
NIT : 16042210001
Tempat Pengujian : Gedung Teknik Penerbangan Baru
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Monitoring Kondisi
Transformator Distribusi Berdasarkan Arus dan Suhu
Berdasarkan Mikrokontroler Esp-32

B. KESIMPULAN

Uji coba alat telah dilakukan dengan hasil: BERHASIL dan selanjutnya alat akan dilanjutkan pengujian pada sidang Tugas Akhir.

C. PERNYATAAN DAN SARAN

No	Pernyataan	Saran
1.	Sensor suhu DS18B20	• Melakukan kalibrasi secara berkala. • Menempatkan sensor pada titik yang merepresentasikan kondisi alat.
2.	Sensor arus SCT-013	• Melakukan kalibrasi secara berkala dengan alat ukur. • Memastikan pemasangan sensor sesuai ketentuan.
3.	Mikrokontroler ESP-32	• Menggunakan catu daya yang stabil. • Tegangan input: 100–240 VAC • Frekuensi: 50/60 Hz • Arus input: 0,3–0,5 A • Daya input: 10–15 W
4.	Web monitoring	Menambahkan fitur notifikasi seperti alarm: • Overheat • Unbalance tinggi • Overload
5.	Integrasi <i>Firebase Realtime Database</i>	Meningkatkan pengelolaan guna menjaga dari ancaman cyber crime dengan penguatan privasi di Firebase dan verifikasi 2 langkah.

Mengetahui:

PENGUJI



TARYANA, S.SiL., M.M.
NIP. 19681019 199203 1 001

LEMBAR UJI FUNGSIONAL

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KONDISI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BERDASARKAN ARUS DAN SUHU BERBASIS MIKROKONTROLER ESP-32

Nama Penguji : Nurul Azizah Syahbilla, S.Tr.T
Jabatan : Instruktur Ahli Pertama
Instansi : Politeknik Penerbangan Indonesia Curug
Lokasi Pengujian : Gedung Teknik Penerbangan Baru
Tanggal Pengujian : 4 Agustus 2026

A. PENGANTAR

Setelah melaksanakan pengujian fungsional pada hari ini 4 Agustus 2026, dilakukan pengujian alat sebagai tahapan pelaksanaan Tugas Akhir:

Nama : Abimanyu Furqan Al-Hagus
NIT : 16042210001
Tempat Pengujian : Gedung Teknik Penerbangan Baru
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Monitoring Kondisi
Transformator Distribusi Berdasarkan Arus dan Suhu
Berdasarkan Mikrokontroler Esp-32

B. KESIMPULAN

Uji coba alat telah dilakukan dengan hasil: BERHASIL. dan selanjutnya alat akan dilanjutkan pengujian pada sidang Tugas Akhir.

C. PERNYATAAN DAN SARAN

No	Pernyataan	Saran
1.	Sensor suhu DS18B20	Pertahankan kestabilan suhu (pembacaan)
2.	Sensor arus SCT-013	Lakukan kalibrasi dan pengujian dengan alat ukur dan pastikan hasil pembacaan arus pada tiap fasa sesuai dengan kondisi <i>real</i> .
3.	Mikrokontroler ESP-32	Pastikan proses pembacaan dan pengolahan data berjalan stabil dan tidak terjadi kehilangan atau kesalahan data selama sistem beroperasi.
4.	Web monitoring	Format tampilan harus jelas supaya nilai semua parameter mudah dibaca dan dibedakan.
5.	Integrasi <i>Firebase Realtime Database</i>	Lakukan pengujian secara kontinu dan pastikan pembacaan arus dan suhu dapat berlangsung secara bersamaan dan stabil.

Mengetahui:

PENGUJI



NURUL AZIZAH SYAHBILLA, S.Tr.T

NIP. 20010517 202310 2 001

Lampiran 5: Hasil Turnitin

Draft Tugas Akhir Abimanyu-19-64.pdf

ORIGINALITY REPORT

12%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	Muhammad Rivel Zebertavio, Priyo Adi Sesotyo, Fahrudin Ahmad. "Analisis Kualitas Daya Sebagai Indikator Keandalan dan Keselamatan Operasional Sistem Distribusi Listrik pada Gedung Bertingkat", Science and Physics Education Journal (SPEJ), 2026 Crossref	71 words — 1%
2	repository.umsu.ac.id internet	59 words — 1%
3	repository.uln-suska.ac.id internet	41 words — 1%
4	Rut Br Ginting, M. Arif Sulaiman, Andri Kristanto. "RANCANGAN CHANGEOVER OTOMATIS BERBASIS WAKTU PADA TRANSMITTER VHF AIR TO GROUND R&S SU4200", Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran, 2025 Crossref	35 words — 1%
5	123dok.com internet	33 words — < 1%
6	ejurnal.kampusakademik.co.id internet	32 words — < 1%
7	repository.lts.ac.id internet	25 words — < 1%
8	Zein Albi Gunawan, Willis Puspita Sari. "Pengembangan Sistem Peringatan Dini Kebakaran Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Metode Prototype", Indonesian Journal of Multidisciplinary on Social and Technology, 2026 Crossref	23 words — < 1%
9	journal.eng.unila.ac.id internet	22 words — < 1%

10	Muhammad Ardika, Wahyuni Eka Sari, Abdullah Hanif. "Alat Pendeteksi Keabsahan Surat Suara Otomatis Berbasis Thresholding Contour Detection", Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 2026 Crossref	21 words — < 1%
11	Febry Putra Rochim, Vera Noviana Sulistyawan, Bagaskoro Saputro, Arlinto Arlinto et al. "Peningkatan Produksi Budidaya Ikan Bandeng Masyarakat Kadilangu Melalui Implementasi Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet of Things", Jurnal Pengabdian Masyarakat Terapan, 2025 Crossref	20 words — < 1%
12	M Yusuf Nurul Yakin, Jefri Lianda, Adam Adam. "Sistem Monitoring PH Pada Tanaman Kelapa Sawit Berbasis IoT", KOLONI, 2026 Crossref	19 words — < 1%
13	eprints.uny.ac.id internet	19 words — < 1%
14	Ahmad Umar Farisi -, Anton Breva Yunanda -. "RANCANG BANGUN SISTEM GREENHOUSE BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) UNTUK PERTUMBUHAN TANAMAN MELON PADA LAHAN SEMPIT", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2026 Crossref	18 words — < 1%
15	etheses.uin-malang.ac.id internet	18 words — < 1%
16	jurnalmahasiswa.unesa.ac.id internet	18 words — < 1%
17	rama.uniku.ac.id internet	18 words — < 1%
18	repository.pnj.ac.id internet	18 words — < 1%
19	repository.umy.ac.id internet	18 words — < 1%
20	www.ejournalwiraraja.com internet	17 words — < 1%
21	digilib.uinsby.ac.id internet	16 words — < 1%

22	es.scribd.com internet	16 words — < 1%
23	rumusterbaru.blogspot.com internet	15 words — < 1%
24	docplayer.info internet	14 words — < 1%
25	ejournal.omahtabing.com internet	13 words — < 1%
26	Diofany Nur Jamia, Taryo Taryo. "Load Balancing Optimization Analysis of 630 kVA Transformer to Reduce Neutral Current at KSBI Cirebon Substation", Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2026 Crossref	12 words — < 1%
27	Muhammad Wildan Salama, Priyo Adi Sesotyo, Ari Endang Jayati. "Analisis Kelayakan Sistem Pentanahan pada Instalasi Listrik Gedung Menara Berdasarkan Pull 2011", Science and Physics Education Journal (SPEJ), 2026 Crossref	12 words — < 1%
28	arsipgadget.com internet	12 words — < 1%
29	repository.ar-raniry.ac.id internet	12 words — < 1%
30	core.ac.uk internet	10 words — < 1%
31	eperformance.bsn.go.id internet	10 words — < 1%
32	rama.unlmal.ac.id internet	10 words — < 1%
33	repositori.unsil.ac.id internet	10 words — < 1%
34	repositori.usu.ac.id internet	10 words — < 1%

- 35 Ghifar Javad H Aziz, David Naista. "Implementasi Kendali PI pada Single Axis Solar Tracker untuk Smart Lamp Berbasis IoT", CHAIN: Journal of Computer Technology, Computer Engineering, and Informatics, 2026
Crossref 9 words — < 1%
- 36 Hamles Leonardo Latupeirissa. "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi", JURNAL SIMETRIK, 2017
Crossref 9 words — < 1%
- 37 Novelia Leatemia, Julius Panda Putra Naibaho, Cristian Dwi Suhendra. "KAMUS BAHASA BIAK BERBASIS ANDROID", JISTECH: Journal of Information Science and Technology, 2023
Crossref 9 words — < 1%
- 38 adefuadkrizalcipoetra17.blogspot.com
internet 9 words — < 1%
- 39 ejournal.raharja.ac.id
internet 9 words — < 1%
- 40 sipora.polije.ac.id
internet 9 words — < 1%
- 41 staff.universitaspahlawan.ac.id
internet 9 words — < 1%
- 42 www.bsbedge.com
internet 9 words — < 1%
- 43 Akbar Abdul Fatah, Ummul Khair. "PENERAPAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS (IOT) DALAM PENGEMBANGAN SISTEM OTOMATIS MONITORING DAN PERAWATAN TANAMAN ANGGREK", PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer, 2026
Crossref 8 words — < 1%
- 44 Enjelina R. Minaely, Lira Aprina, Febianti Bolratan, Jeane Kaya et al. "Perancangan dan Implementasi Sistem Instrumentasi Pengukuran Tinggi Badan Non-Kontak berbasis Sensor Ultrasonik dan Mikrokontroler Arduino", ALGORITHM: Journal of Computer Science and Computational Intelligence, 2026
Crossref 8 words — < 1%
- 45 Haniva Budiana Deswary, Retno Devita, Halifia Hendri. "Perancangan Gazebo Sehat dengan Atap Otomatis Berbasis IoT dan Notifikasi 8 words — < 1%

Blynk", Culture education and technologyresearch (Cetera), 2026

Crossref

46	eprints.polbeng.ac.id	8 words — < 1%
47	id.123dok.com	8 words — < 1%
48	jurnal.uisu.ac.id	8 words — < 1%
49	ml.scribd.com	8 words — < 1%
50	repository.upnvj.ac.id	8 words — < 1%
51	www.scribd.com	8 words — < 1%

INCLUDE QUOTES

ON

EXCLUDE SOURCES

OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY

ON

EXCLUDE MATCHES

OFF

Lampiran 6: Kode pada aplikasi Arduino IDE

```

1  #include <BmeLib.h>
2  #include <DowWire.h>
3  #include <DallasTemperature.h>
4
5  #include <WiFi.h>
6  #include <time.h>
7  #include <FirebaseESP32.h>
8
9  #include "addons/TokenHelper.h"
10 #include "addons/RTCHelper.h"
11
12 #define WIFI_SSID "PPIC_WIFI (WUASISWA)"
13 #define WIFI_PASSWORD "propresta1"
14
15 #define API_KEY "AIzaSyDitsFKwMPLDhhtk87Gvj5GgmyBalls"
16 #define DATABASE_URL "https://transformator-monitoring-default-rtdb.firebaseio.com"
17
18 FirebaseData fdb;
19 FirebaseAuth auth;
20 FirebaseConfig config;
21
22 bool signupOK = false;
23
24 unsigned long realtimeTimer = 0;
25 unsigned long historyTimer = 0;
26
27 const unsigned long REALTIME_INTERVAL = 2000;
28 const unsigned long HISTORY_INTERVAL = 60000;
29
30 const char* ntpServer = "pool.ntp.org";
31 const long gmOffset_sec = 7 * 3600; // WIB
32 const int daylightOffset_sec = 0;
33
34 // =====
35 // PIN
36 // =====
37 #define ONE_WIRE_BUS 4 // DS18B18
38
39 #define PIN_R 34 // SCT013 Fasa R
40 #define PIN_S 35 // SCT013 Fasa S
41 #define PIN_T 32 // SCT013 Fasa T
42
43 // =====
44 // SENSOR AMPU
45 // =====
46 EnergyMonitor cIR;
47 EnergyMonitor cTS;
48 EnergyMonitor cTT;
49
50 // =====
51 // SENSOR 1WIK
52 // =====
53 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
54 DallasTemperature sensors(&oneWire);
55
56 void setup() {
57
58   Serial.begin(115200);
59
60   WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
61
62   Serial.print("Menghubungkan WiFi");
63
64   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
65     Serial.print(".");
66     delay(300);
67   }
68
69   configTime(gmOffset_sec, daylightOffset_sec, ntpServer);
70
71   Serial.print("Sinkronisasi waktu");
72
73   struct tm timeinfo;
74
75   while (!getLocalTime(&timeinfo)) {
76     Serial.print(".");
77     delay(500);
78   }
79
80   Serial.println();
81   Serial.println("Waktu berhasil disinkronkan");
82
83   Serial.println();
84   Serial.println("WiFi Connected");
85 }

```

```

85
86 config.api_key = API_KEY;
87 config.database_url = DATABASE_URL;
88
89 if (Firebase.auth().signInWithEmailAndPassword(email, password)) {
90     Serial.println("Firebase Connected");
91     signupOK = true;
92 } else {
93     Serial.printf("Error: %s", firebase.auth().signInWithEmailAndPassword(email, password).getException().getMessage());
94 }
95
96 config.token_status_callback = tokenStatusCallback;
97
98 Firebase.auth().signInWithEmailAndPassword(email, password);
99 Firebase.auth().addOnAuthStateChanged(authListener);
100
101 // Inisialisasi I2C
102 I2C.begin(PIN_SDA, PIN_SCL);
103 I2C.begin(PIN_SDA, PIN_SCL);
104 I2C.begin(PIN_SDA, PIN_SCL);
105
106 // Inisialisasi I2C
107 sensors.begin();
108
109 Serial.println("=====");
110 Serial.println("Monitoring Arus 3 Fasa + Suhu");
111 Serial.println("=====");
112 }
113
114 void loop() {
115
116     // =====
117     // BACA ARUS
118     // =====
119     double Ir = cIR.calcIrms(1480);
120     double Is = cIS.calcIrms(1480);
121     double It = cIT.calcIrms(1480);
122
123
124     // =====
125     // PARAMETER TRAFU
126     // =====
127     const float TRAFU_KVA = 50.0; // kapasitas trafo (KVA)
128     const float LINE_VOLTAGE = 380.0; // tegangan 3 fasa (Volt)
129
130     // =====
131     // HITUNG RATED CURRENT
132     // =====
133     float Irated = (TRAFU_KVA * 1000.0) / (sqrt(3) * LINE_VOLTAGE);
134
135     // =====
136     // HITUNG ARUS RATA-RATA
137     // =====
138     float Iavg = (Ir + Is + It) / 3.0;
139
140     // =====
141     // HITUNG LIAD (% PERSENTASE)
142     // =====
143     float load = (Iavg / Irated) * 100.0;
144
145     // =====
146     // HITUNG UNBALANCE
147     // =====
148     float Unbalance = 0.0;
149
150     if (Iavg > 0.0) {
151         // koefisien a, b, c
152         float a = Ir / Iavg;
153         float b = Is / Iavg;
154         float c = It / Iavg;
155
156         // Persentase ketidakseimbangan
157         Unbalance =
158             ((fabs(a - 1.0) +
159              fabs(b - 1.0) +
160              fabs(c - 1.0)) / 3.0) * 100.0;
161     }
162
163
164     // =====
165     // BACA SUHU
166     // =====
167     sensors.requestTemperatures();
168     float suhu = sensors.getTempCByIndex(0);
169

```

Lampiran 7: Kode pada aplikasi *Visual Studio Code*

```
1  <!DOCTYPE html>
2
3  <html lang="en">
4
5  <head>
6
7  <meta charset="UTF-8">
8
9  <meta name="viewport"
10 content="width=device-width, initial-scale=1.0">
11
12 <title>Monitoring Trafo</title>
13
14 <link
15 rel="icon"
16 type="image/png"
17 href="assets/favicon.png">
18
19 <link
20 rel="stylesheet"
21 href="css/style.css">
22
23 <link
24 rel="stylesheet"
25 href="css/glass.css">
26
27 <link
28 rel="stylesheet"
29 href="css/dashboard.css">
30
31 <link
32 href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Inter:wght@300;400;500;600;700&display=swap"
33 rel="stylesheet">
34
35 </head>
36
37 > <body>|...
312 </body>
313
314 </html>
```