
Rancang Bangun Purwarupa Monitoring Arus Bocor Pada Kabel *Grounding Trafo Incoming* 20 KV di Gardu Induk Nusa Dua Berbasis *Internet Of Things*

**Dharma Bagus Saputra¹, Aditya Pradana², Josua Febrian Togatorop³,
Lie Jasa⁴, Rukmi Sari Hartati⁵**

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana^{1,2,3,4,5}

Email : dharmabgsku@gmail.com¹, aditya.prdn16@gmail.com²,
febriantogatorop@student.unud.ac.id³, liejasa@unud.ac.id⁴,
rukmisari@unud.ac.id⁵

Corresponding Author : dharmabgsku@gmail.com

Abstract

Failure of the grounding isolation on the 20 kV transformer incoming cable, resulting in leakage current. The leakage current on the grounding cable can change periodically, so an accurate and real-time monitoring system is required to protect the power transformer equipment and facilitate responsive handling. Therefore, an Internet of Things-based monitoring device is needed that can detect the magnitude of the leakage current present on the 20 kV secondary side of the transformer using an ESP8266 microcontroller and Arduino UNO R3 as the brain of the monitoring system, which controls and processes data from the input to output components. The SCT-013 current sensor is used to measure the AC current on the transformer incoming 20 kV grounding cable without requiring cable cutting, and the Arduino IDE is used to configure the program on the ESP8266 microcontroller to work according to the desired configuration. The results of the prototype testing using the ESP8266 and Arduino UNO R3 microcontrollers and the SCT-013 current sensor have shown that the system can work well and the monitoring has been successfully implemented with real-time current monitoring using the Thinkspeak and Blynk platforms. The testing also proved that the SCT-013 current monitoring device can provide a comparison of the test results and measurements with a Tang Ampere, and the data obtained shows that the real-time SCT-013 current monitoring device is accurate, with an average reading error of less than 3% from the SCT-013 non-linearity specification, with a total reading error percentage of 2.0%. Additionally, the current monitoring device is precise, with the lowest standard deviation value of 0.046.

Keywords :Leakage Current, Percentage Difference, 20 kV Incoming Grounding Cable.

I. Pendahuluan

Gardu Induk adalah komponen krusial dalam sistem tenaga secara

keseluruhan, yang berperan sebagai sumber energi listrik dan mengirimkan energi listrik tersebut untuk

didistribusikan kepada konsumen. Salah satu tantangan yang pernah dihadapi di gardu induk Nusa Dua adalah kegagalan isolasi yang mengakibatkan ketidakmampuan isolasi tersebut dalam menjalankan fungsinya sebagai media isolasi tegangan menengah sebesar 20 kV. Kegagalan isolasi pada kabel tanah tegangan menengah 20 kV ini terjadi pada transformator nomor 3 dengan kapasitas 150 kV/20 kV di gardu induk transmisi Nusa Dua, khususnya pada kabel masukan 20 kV yang mengalirkan listrik ke penyulang Sawangan, Kampus, Kedonganan, Gardenia, Club Med, dan Mulia. Kondisi ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, seperti penuaan isolasi, kelembaban, kerusakan fisik, dan kondisi lingkungan lainnya.

Berdasarkan data inspeksi pemeliharaan mingguan arus bocor pada kabel grounding trafo incoming 20 kV yang diperoleh dari gardu induk Nusa Dua pada tanggal 18 Juli tahun 2018 memiliki persentase perubahan arus bocor pada fasa lebih dari 100% yaitu pada fasa T nomor kabel 1, 2, 3 dan 4 minggu ketiga sebesar 70 mA, 70 mA, 80 mA dan 2330 mA. Penyebab nilai arus bocor yang besar dikarenakan terlepasnya elemen stressing kabel pada sisi outdoor atau bisa disebut dengan terminasi yang dapat mengakibatkan drop voltage pada trafo gardu induk, sehingga penyaluran energi listrik tidak dapat maksimal ke konsumen.

Salah satu tantangan utama dalam mengatasi masalah arus bocor adalah pemeliharaan yang efektif. Petugas operator gardu induk memiliki tanggung jawab untuk memantau arus pada kabel grounding dan kabel power trafo dengan tegangan 20 kV menggunakan alat tang ampere. Namun,

pemeliharaan ini masih memiliki kendala, karena nilai arus yang mengalir pada kabel ground dapat berubah secara periodik.

Dalam mengatasi permasalahan ini, dengan mengembangkan suatu solusi inovatif dengan merancang purwarupa alat monitoring arus bocor pada kabel grounding trafo incoming 20 kV yang dimana dapat membaca data arus bocor secara real-time, membaca persentase perubahan dari tiap pengukuran dan memberikan notifikasi adanya persentase perubahan arus bocor yang melebihi 100% yang dipasang pada kabel grounding fasa T kabel 1, 2, 3 dan 4.

Sensor SCT-013 adalah alat sensor yang berfungsi membaca nilai arus dari 0 – 100 ampere. Arduino UNO R3 sebagai mikrokontroler, Arduino IDE sebagai program coding dan Blynk digunakan untuk notifikasi otomatis persentase perubahan arus bocor melalui smartphone, selain itu terdapat notifikasi cadangan yang dikirimkan melalui telegram, dan ThingSpeak sebagai antarmuka program yang dapat memberikan data secara real-time. Data yang dikirim menggunakan jaringan internet ke perangkat *smartphone* dan PC menggunakan Node MCU ESP8266.

Tujuan *capstone project* rancang bangun purwarupa monitoring arus bocor pada kabel grounding trafo incoming 20 kV di Gardu Induk Nusa Dua berbasis Internet of Things. Pertama, merancang dan membangun perangkat monitoring arus bocor pada kabel grounding secara akurat dan real-time. Kedua, operasional gardu induk dengan monitoring jarak jauh dan penanganan yang lebih responsif.

Ketiga, mampu melindungi peralatan trafo daya dari kerusakan akibat arus bocor di sisi 20 kV. Keempat, untuk memudahkan staff PLN dalam melakukan assesment pada arus bocor kabel trafo incoming 20 kV.

II. Landasan Teori Konstruksi Kabel XLPE

Kabel penghantar digunakan sebagai sarana untuk mengalirkan arus listrik. Pemilihan jenis kabel penghantar, seperti tembaga atau aluminium, didasarkan pada pertimbangan beberapa faktor, termasuk kapasitas arus dan harga. Pada sisi sekunder trafo dengan tegangan 150/20 kV, jenis konduktor yang umum digunakan adalah XLPE. Kabel ini diinstal melalui saluran bawah tanah dan terhubung ke ruang kubikel. Terdapat tiga kabel fasa R, S, dan T yang masing-masing dilengkapi dengan kabel grounding.



Gambar 1. Kabel XLPE 20 KV

Kabel XLPE memiliki struktur yang terdiri dari beberapa komponen, termasuk Lapisan Anti-Korosif (PVC), Selubung Logam (Lapisan Tembaga), Lapisan Semikonduktor Isolasi, Isolasi XLPE, Lapisan Konduktor, dan Konduktor. Lapisan Anti-Korosif merupakan lapisan terluar kabel yang

berfungsi untuk melindungi konduktor dari kerusakan fisik. Selubung Logam adalah lapisan berbahan tembaga dalam

bentuk pita yang melilit sepanjang konduktor. Fungsi utama dari lapisan ini adalah untuk menghilangkan medan listrik eksternal dan berfungsi sebagai elektroda kedua dalam pembentukan kapasitor yang terbentuk oleh kabel.[3].



Gambar 2. Struktur Kabel XLPE 20 kV

Arus Bocor

Arus bocor adalah arus listrik yang mengalir melalui atau menembus permukaan bahan isolasi. Fungsi isolasi adalah memisahkan secara elektrik dua konduktor atau lebih yang berdekatan, sehingga tidak ada kebocoran arus. Arus bocor juga dapat disebabkan oleh rongga atau celah pada bahan isolasi, yang dapat terjadi akibat kesalahan dalam proses pembuatan atau manufaktur bahan isolasi.

Persentase Perubahan

Diterapkan ketika membandingkan dua besaran pengukuran misalnya A1 dan A2, yang keduanya tidak dapat dianggap sebagai nilai yang “benar”. Perbedaan persen adalah nilai dari selisih rata-rata dikalikan 100 (Percent Difference & Percent Error, 2019).

$$\% \text{ Perubahan} = \frac{A1-A2}{\frac{A1+A2}{2}} \times 100$$

Keterangan :

- A1 : Nilai besaran tertinggi
- A2 : Nilai besaran terendah

Sensor SCT-013

Teknologi sensor ini mirip dengan sensor tegangan yang menggunakan transformator arus yang disebut Current Transformer (CT). Sensor ini memanfaatkan prinsip Efek Hall, di mana medan magnet mempengaruhi aliran listrik pada sirkuit. Sensor ini memiliki komponen yang sangat stabil. Salah satu contoh yang populer adalah Transformator Arus Ydhc atau sensor CT yang sering digunakan. Sensor CT ini merupakan sensor non-invasif yang dapat mendeteksi arus yang mengalir melalui konduktor tanpa perlu memotong atau melakukan intervensi langsung pada konduktor tersebut.

ESP8266

ESP8266 adalah sebuah sistem dalam paket (SoC) yang menggunakan teknologi Wi-Fi dan diproduksi oleh perusahaan bernama Espressif Systems. Chip ini menyediakan berbagai fungsi yang terintegrasi secara komprehensif untuk memungkinkan konektivitas internet dalam ukuran yang kecil. Terdapat berbagai pemasok dan papan pengembangan yang berbeda untuk ESP8266, dan setiap papan memiliki perbedaan dalam jumlah pin yang tersedia. Beberapa papan juga mendukung koneksi antena eksternal dan memiliki antena terintegrasi. ESP8266 juga dapat berfungsi sebagai mikrokontroler yang memiliki kemampuan Wi-Fi langsung dengan menggunakan firmware SDK khusus.

ThingSpeak

ThingSpeak adalah sebuah platform yang dikhususkan untuk

membangun aplikasi Internet of Things (IoT). Platform ini menawarkan berbagai layanan yang bertujuan untuk memfasilitasi pengembangan dan implementasi aplikasi IoT yang efektif. Salah satu fitur utama ThingSpeak adalah kemampuannya dalam mengumpulkan data secara real-time. Pengguna dapat mengirim data sensor dan perangkat IoT ke platform ini dengan cepat dan akurat.

Selain itu, ThingSpeak juga menyediakan fungsi visualisasi yang memungkinkan pengguna untuk menganalisis dan memvisualisasikan data yang telah dikumpulkan. Grafik dan diagram yang interaktif dapat digunakan untuk memahami tren dan pola data dengan lebih baik.

Dengan demikian, ThingSpeak menjadi solusi yang komprehensif dan serbaguna bagi pengembang aplikasi IoT, dengan menyediakan fitur pengumpulan data real-time, visualisasi data yang fleksibel, serta kemampuan untuk berintegrasi dengan layanan lain melalui plugin dan aplikasi yang dapat dibuat pengguna.

Blynk

Blynk adalah sebuah aplikasi mobile yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol perangkat seperti Arduino, NodeMCU, dan Raspberry Pi melalui internet. Blynk terdiri dari tiga komponen utama: aplikasi mobile, server, dan library. Server Blynk bertindak sebagai penghubung antara smartphone dan perangkat keras yang dikendalikan. Aplikasi Blynk menyediakan berbagai widget, seperti tombol, tampilan data, grafik riwayat, serta integrasi dengan Twitter dan email. Blynk kompatibel dengan

berbagai jenis mikrokontroler, asalkan perangkat keras yang digunakan mendukungnya. Contohnya, NodeMCU yang menggunakan chip ESP8266 untuk koneksi WiFi dapat dikontrol melalui internet menggunakan Blynk, sehingga siap digunakan dalam aplikasi Internet of Things.

Persentase Error

Persentase kesalahan adalah kasus khusus dari bentuk persentase perubahan relatif yang dihitung dari perubahan absolut antara nilai eksperimen (yang diukur) dan nilai teoritis (yang diterima), dan dibagi dengan nilai teoritis (yang diterima).

$$\%Error = \frac{|\text{Nilai Eksperimen} - \text{Hasil Nilai Teoritis}|}{\text{Hasil Nilai Teoritis}} \times 100$$

Istilah "Eksperimen" dan "Teoritis" yang digunakan dalam persamaan di atas biasanya diganti dengan istilah serupa. Istilah-istilah lain yang digunakan untuk eksperimen dapat berupa "diukur", "dihitung", atau "aktual", dan istilah lain yang digunakan untuk istilah teoritis dapat "diterima". Nilai eksperimen adalah nilai yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan atau pengukuran dan diuji keakuratannya terhadap nilai teoritis, nilai yang diterima oleh komunitas ilmiah atau nilai yang dapat dilihat sebagai tujuan untuk mencapai hasil yang sukses.

Standar Deviasi

Standar deviasi atau simpangan baku adalah sebuah angka yang mengindikasikan sejauh mana kelompok atau set data bervariasi dari nilai rata-ratanya. Nilai ini

mencerminkan ukuran standar penyimpangan dari nilai rata-rata. [8].

Untuk data tunggal ragam dihitung dengan rumus :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n-1}}$$

Keterangan :

S = Standar deviasi

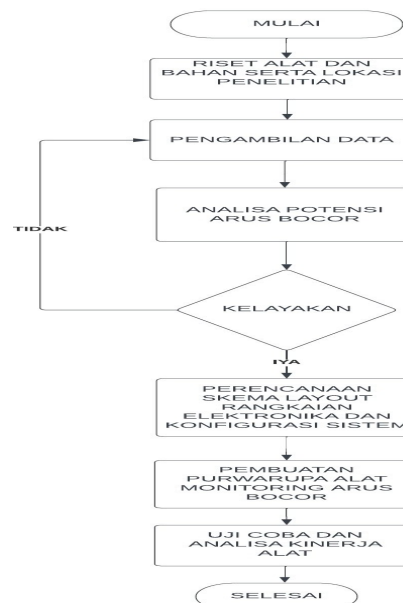
X_i = Nilai Tengah

X = Nilai rata-rata

n = Jumlah data

III. Metode Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Nusa Dua. Waktu pelaksanaan dimulai selama enam bulan, yaitu dari bulan Januari 2024 sampai dengan bulan Juni 2024. Pemilihan tempat dan waktu ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas dan peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian dan analisis data. Analisis data dapat dilihat pada Gambar 3 :



Gambar 3. Flowchart Capstone Project

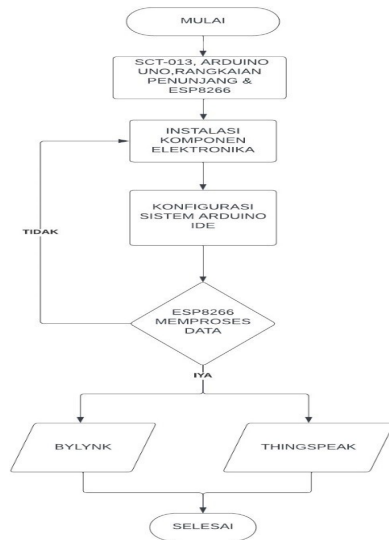
IV. Hasil Dan Pembahasan Perancangan Kerangka Dasar Alat

Alur perancangan kerangka dasar alat dan proses desain fisik purwarupa alat *monitoring* arus bocor pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV :

1. Identifikasi Kebutuhan
Tahap pertama dalam desain fisik purwarupa alat *monitoring* arus bocor pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV adalah mengidentifikasi kebutuhan dan tujuan proyek. Ini meliputi jenis mikrokontroler, alat pengukur arus yang akan digunakan, serta aspek lain seperti *monitoring* secara *real-time* dengan web Thingspeak maupun notifikasi otomatis ketika terjadi persentaseperubahan arus bocor pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV dengan aplikasi Blynk.
2. Perencanaan dan Konsep Desain
Setelah kebutuhan teridentifikasi, langkah berikutnya adalah merencanakan dan mengembangkan konsep desain purwarupa alat *monitoring* arus bocor pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV. Ini melibatkan pemilihan komponen utama seperti mikrokontroler ESP8266 dan Board Arduino UNO R3, SCT-013, Thingspeak, dan Blynk. Pada tahap ini, perlu dipertimbangkan aspek seperti dimensi fisik, konfigurasi sistem, dan tata letak komponen.
3. Desain Detail
Setelah konsep desain diverifikasi, dilakukan desain

detail untuk menghasilkan gambar teknis yang rinci dan spesifikasi komponen. Desain ini mencakup tata letak sistem, dimensi dan spesifikasi komponen, serta perhitungan dan pemilihan material yang sesuai.

4. Prototipe dan Pengujian
Tahap selanjutnya adalah membangun prototipe alat *monitoring* arus bocor pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV berdasarkan desain detail. Prototipe ini digunakan untuk melakukan pengujian dan validasi lebih lanjut terkait *monitoring* arus bocor secara *real-time*.
5. Produksi dan Implementasi
Setelah prototipe diuji dan diverifikasi, langkah terakhir adalah produksi dan implementasi alat *monitoring* arus bocor pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV. Ini melibatkan produksi komponen, perakitan sistem, serta pemasangan dan pengujian akhir sebelum alat pembangkit siap digunakan. Berikut adalah gambaran alur perancangan kerangka dasar alat pada gambar 4.



Gambar 4. Rancangan Kerangka Dasar Alat

Alur Perancangan Perangkat IoT

Perancangan mekanisme fisik purwarupa alat *monitoring* arus bocor pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV. Penelitian ini berada di Gardu Induk Nusa Dua juga melibatkan IoT sebagai *monitoring system* dalam perancangannya yaitu, Arduino UNO R3, mikrokontroler ESP8266, sensor arus SCT-013, Web Thingspeak, dan Blynk. Web Thingspeak dan aplikasi Blynk digunakan sebagai menampilkan grafik sebagai *monitoring* arus bocor secara *real-time* dan notifikasi notifikasi otomatis ketika terjadi Persentaseperubahan arus bocor antar pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV. Berikut merupakan kegunaan masing – masing *monitoring system* :

1. Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 adalah papan sirkuit yang menggunakan mikrokontroler Atmega328 dan

dirancang untuk mengendalikan berbagai perangkat elektronik.

2. Mikrokontroler ESP8266

ESP8266 merupakan sebuah mikrokontroler berbasis modul Wi-Fi yang digunakan sebagai perangkat perluasan untuk mikrokontroler seperti Arduino, memungkinkan koneksi langsung dengan jaringan Wi-Fi dan penyediaan koneksi TCP/IP.

3. Sensor Pengukur Arus SCT-013

Sensor SCT-013 merupakan sebuah sensor pengukur arus yang dirancang khusus untuk melakukan pengukuran pada sinyal arus bolak balik (AC).

4. Web Thingspeak

Platform web ThingSpeak digunakan untuk melakukan akuisisi data dari perangkat node, serta menyediakan kemampuan untuk mengambil data tersebut ke dalam perangkat lunak guna analisis data historis.

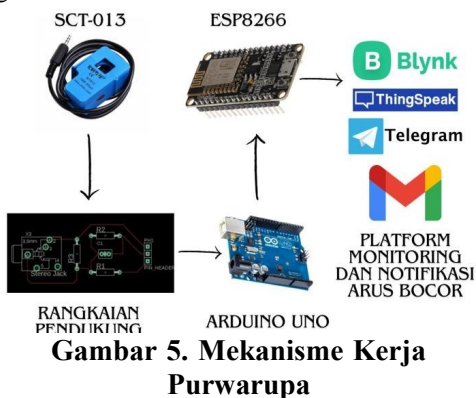
5. Aplikasi Blynk

Aplikasi Blynk adalah sebuah platform berbasis mobile yang dirancang untuk mengendalikan mikrokontroler seperti Arduino, NodeMcu, dan sejenisnya melalui koneksi internet.

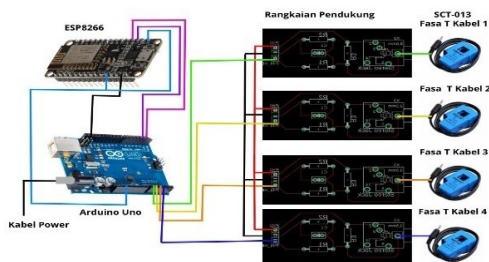
Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk mengontrolperangkat keras, menampilkan data sensor secara *real-time*, serta menyimpan dan memvisualisasikan data.

Dengan integrasi ini, data dari sensor dapat diakses dan dianalisis secara *real-time* melalui web Thingspeak untuk pemantauan dan pengambilan keputusan yang lebih baik dan *real-time*. Adapun diagram

penelitian yang digambarkan pada gambar 5 dan 6.



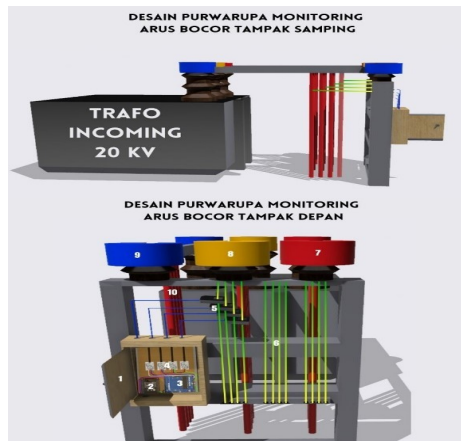
Gambar 5. Mekanisme Kerja Purwarupa



Gambar 6. Alur Rancangan Perangkat IoT

Desain Alat Monitoring Arus Bocor

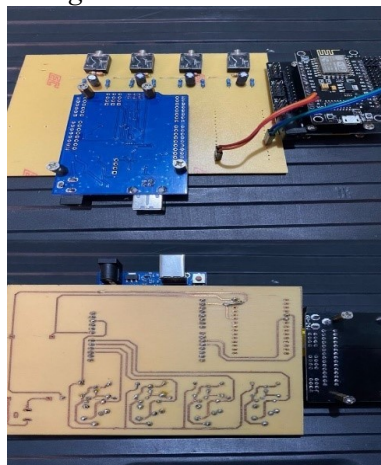
Desain alat *monitoring* arus bocor berbasis *Internet of Things* adalah suatu alat *monitoring* arus bocor dengan menggunakan *platform Internet of Things* sebagai media *monitoring* secara *real-time*, dan notifikasi dini adanya arus bocor. Berikut gambar 7 rancang bangun dari alat *monitoring* arus bocor :



Gambar 7. Desain Alat Monitoring Arus

Pembuatan Rangkaian Elektronika Alat Monitoring Arus Bocor

Dalam realisasi pembuatan rangkaian elektronika alat *monitoring* arus bocor, rangkaian elektronika berisi rangkaian pendukung untuk sensor arus SCT-013 yang berisi *Jack Female*, Resistor, dan Kapsitor. Berikut pada gambar 8 merupakan hasil realisasi dari pembuatan rangkaian elektronika alat *monitoring* arus bocor.



Gambar 8. Rangkaian Elektronika Alat Monitoring Arus Bocor

Pemasangan Alat Monitoring Arus Bocor pada Trafo 20 kV

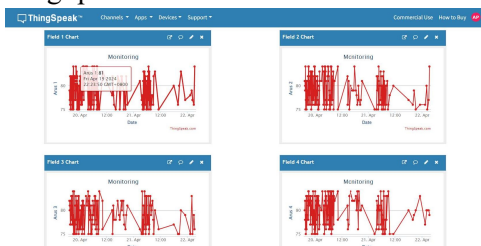
Dalam realisasi pemasangan alat *monitoring* arus bocor pada trafo 20 kV, pemasangan alat *monitoring* arus bocor di pasang di gardu induk Nusa Dua dan dilakukan pengujian purwarupa alat *monitoring* arus bocor. Berikut pada gambar 4.5 merupakan hasil realisasi dari pemasangan alat *monitoring* pada trafo 20 kV.



Monitoring Arus Bocor pada Trafo 20 kV

Hasil Pengujian Sensor SCT-013 dengan ThingSpeak

Pengujian sensor arus SCT-013 dengan *platform* ThingSpeak digunakan untuk melakukan pengukuran arus secara *real-time* dan *monitoring* menggunakan jaringan internet yang berbasis Internet of Things. Berikut hasil pengujian sensor arus SCT-013 dengan *platform* ThingSpeak.



Gambar 10. Pengujian Sensor SCT-013 dengan ThingSpeak

Hasil Pengujian Notifikasi Arus Bocor pada Blynk dan Email

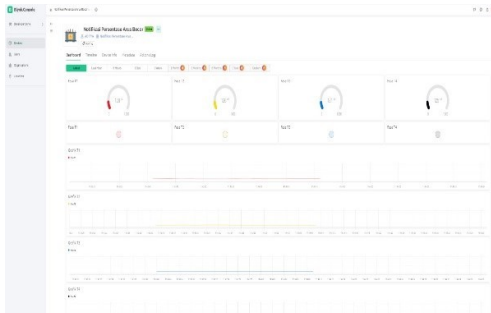
Alat yang digunakan dalam pengujian notifikasi persentase perubahan arus bocor pada Blynk, yaitu menggunakan :

1. *Blynk Smartphone* sebagai pengontrol jarak jauh alat arus bocor melalui *smartphone*
2. *Blynk Web* sebagai pengontrol jarak jauh alat arus bocor menggunakan laptop atau PC
3. *Email* sebagai tempat menerima notifikasi adanya persentase perubahan arus bocor

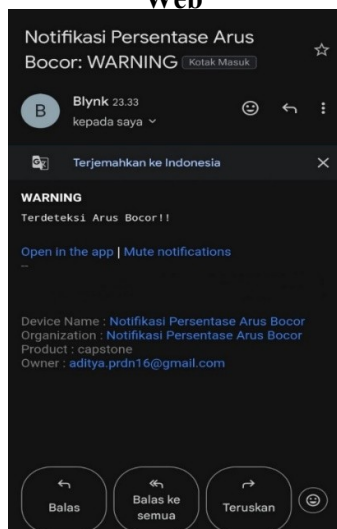
Pada gambar 11, 12, dan 13 merupakan contoh dari hasil pengujian terhadap percobaan yang telah dilakukan



Gambar 11. Hasil Pengujian Notifikasi Arus Bocor dengan Blynk Smartphone



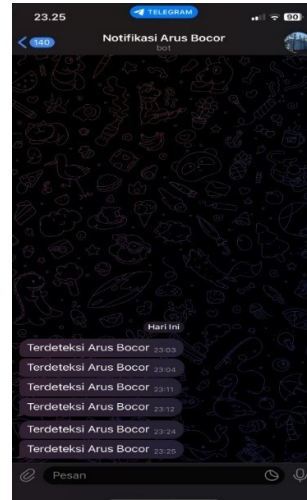
Gambar 12. Hasil Pengujian Notifikasi Arus Bocor dengan Blynk Web



Gambar 13. Hasil Pengujian Notifikasi Arus Bocor dengan Email

Hasil Pengujian Notifikasi Arus Bocor pada Telegram

Pengujian notifikasi arus bocor pada Telegram digunakan untuk memberikan notifikasi dini adanya arus bocor pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV. Telegram akan mendeteksi arus bocor dengan menggunakan metode persentase perubahan yang melebihi 100%. Berikut hasil pengujian notifikasi arus bocor pada Telegram.



Gambar 14. Hasil Pengujian Notifikasi Arus Bocor pada Telegram

Hasil Pengujian Sensor Arus dengan SCT-013

Berikut pada tabel 1 data hasil pengujian sensor arus SCT-013 dengan menggunakan *platform* ThingSpeak yang dihitung dengan persentase perubahan sebagai berikut :

$$\% \text{Perubahan} = \frac{A1 - A2}{\frac{1}{2}(A1 + A2)} \times 100$$

Keterangan :

- A1 :Nilai besaran tertinggi
- A2 :Nilai besaran terendah

Hari/Tanggal : Selasa/16-04-2024

Nilai T1 : 61 Nilai T3 : 73

Nilai T2 : 73 Nilai T4 : 81

$$\begin{aligned} \% \text{Perubahan Fasa T} &= \frac{|81 - 61|}{\frac{1}{2}(81 + 61)} \times 100 \\ &= \frac{20}{71} \times 100 \\ &= 0.28 \times 100 \\ &= 28 \% \end{aligned}$$

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Sensor Arus SCT-013

No	Hari/ Tanggal	Rata-rata per hari (mA)				Persentase Perubahan (%)
		Kabel T1	Kabel T2	Kabel T3	Kabel T4	
1	Selasa 16/04/2024	61	73	73	81	28
2	Rabu 17/04/2024	64	65	82	82	24
3	Kamis 18/04/2024	60	72	65	64	18
4	Jumat 19/04/2024	64	64	75	82	24
5	Sabtu 20/04/2024	61	64	82	80	29
6	Minggu 21/04/2024	64	72	74	82	24
7	Senin 22/04/2024	62	65	75	81	26
Rata-rata total Persentase Perubahan						24

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui rata-rata nilai terendah dari hasil pengukuran SCT-013 adalah 60 mA dan nilai tertinggi adalah 82 mA. Rata-rata persentase Perubahan dalam pengukuran sensor SCT-013 sebesar 24%

Hasil Pengukuran Arus dengan Tang Ampere

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Arus dengan Tang Ampere

No	Hari/ Tanggal	Rata-rata per hari (mA)				Persentase Perubahan (%)
		Kabel T1	Kabel T2	Kabel T3	Kabel T4	
1	Selasa 16/04/2024	60	71	71	80	28
2	Rabu 17/04/2024	63	64	80	80	23
3	Kamis 18/04/2024	61	70	65	63	13
4	Jumat 19/04/2024	63	64	73	80	23
5	Sabtu 20/04/2024	60	64	80	80	28
6	Minggu 21/04/2024	63	70	73	80	23
7	Senin 22/04/2024	63	64	73	80	23
Rata-rata total Persentase Perubahan						23

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui rata-rata nilai terendah dari hasil pengukuran tang ampere adalah 60 mA dan nilai tertinggi adalah 80 mA. Rata-rata persentase perubahan dalam pengukuran tang ampere sebesar 23%

Hasil Perbandingan Alat Monitoring Arus dengan Tang Ampere

Hasil perbandingan alat *monitoring* arus secara *real-time* dengan SCT-013 dan alat manual dengan tang ampere digunakan untuk mengetahui tingkat keakuratan dari alat *monitoring* arus SCT-013. Karena parameter dari keakuratan alat *monitoring* arus SCT-013 adalah hasil dari alat manual tang ampere. Berikut perhitungan persentase error SCT-013 terhadap tang ampere :

Hari/Tanggal : Selasa/16-04-2024
Nilai Pengukuran Sensor SCT-013
(Nilai Eksperiman) : T1 = 61

Nilai Hasil Tang Ampere
(Nilai Hasil Teoritis) : T1 = 60

$$\%Error = \frac{|\text{Nilai Eksperiman} - \text{Nilai Hasil Teoritis}|}{\text{Nilai Hasil Teoritis}} \times 100$$

$$\%Error = \frac{|\text{Nilai Hasil Teoritis} - 61|}{60} \times 100$$

$$\%Error = \frac{|\text{Nilai Hasil Teoritis} - 60|}{60} \times 100$$

$$Error = 1.66 \%$$

Berikut pada tabel 3 adalah data hasil perbandingan antara SCT-013 dengan tang ampere.

Tabel 3. Tabel Hasil Perbandingan SCT-013 dengan Tang Ampere

No	Hari	Tanggal	Rata-rata per hari SCT-013 (mA)				Rata-rata per hari Tang Ampere (mA)				Error Pembacaan (%)				Error Pembacaan Rata-rata (%)
			T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	
1	Selasa	16/04/2024	61	73	73	81	60	71	71	80	1,66	2,81	2,81	1,25	2,12
2	Rabu	17/04/2024	64	55	82	82	63	64	80	80	1,58	1,56	2,50	2,50	2,11
3	Kamis	18/04/2024	60	72	65	64	61	70	65	65	1,63	2,85	0	1,58	1,59
4	Jumat	19/04/2024	64	54	75	82	63	64	73	80	1,58	0	2,73	2,50	1,70
5	Sabtu	20/04/2024	61	54	82	80	60	64	80	80	1,66	0	2,51	0	1,30
6	Minggu	21/04/2024	64	72	74	82	63	70	75	80	1,60	2,85	1,36	2,50	2,17
7	Senin	22/04/2024	62	55	75	81	63	64	73	80	1,59	1,57	2,73	1,25	1,78
Rata-rata Total Error Pembacaan														2,0	

Hasil perbandingan pembacaan sensor SCT-013 dengan alat ukur pembanding, yaitu tang ampere, menunjukkan bahwa sensor SCT-013 memiliki rata-rata kesalahan pembacaan sebesar 2,50% pada kabel fasa T1 - T4. Nilai rata-rata pembacaan tertinggi dari sensor SCT-013 adalah 82 mA, sedangkan nilai pembacaan terendah adalah 60 mA. Alat ukur pembanding, tang ampere, memiliki nilai rata-rata pembacaan tertinggi sebesar 80 mA dan nilai pembacaan terendah sebesar 60 mA. Persentase kesalahan pembacaan sensor SCT-013 terhadap tang ampere masih tergolong baik karena nilai *output* sensor masih berada di bawah kurang lebih 3% *non-linearitas* yang tercantum dalam *datasheet* SCT-013.

Standar Deviasi SCT-013 dengan Tang Ampere

Tabel 4. Standar Deviasi SCT-013 & Tang Ampere

No	Hari	Tanggal	Rata-rata per hari SCT-013 (mA)				Rata-rata per hari Tang Ampere (mA)				Standar Deviasi SCT-013				Standar Deviasi Tang Ampere			
			T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
1	Selasa	16/04/2024	61	73	73	81	60	71	71	80	0,37	2,46	0,93	1,91	0	3,30	5,99	0
2	Rabu	17/04/2024	64	65	82	82	63	64	80	80	0,99	3,19	3,54	2,50	4,33	4,84	0	0
3	Kamis	18/04/2024	60	72	65	64	61	70	65	63	0,046	1,47	3,41	0,99	3,30	5	8,66	4,33
4	Jumat	19/04/2024	64	64	75	82	63	64	73	80	0,80	3,40	1,39	2,70	4,33	4,84	6,61	0
5	Sabtu	20/04/2024	61	64	82	80	60	64	80	80	0,37	0,99	2,02	2,13	0	4,84	0	0
6	Minggu	21/04/2024	64	72	74	82	63	70	73	80	0,99	2,19	1,48	3,54	4,33	5	6,61	0
7	Senin	22/04/2024	62	65	75	81	63	64	73	80	0,32	3,29	1,15	1,95	4,33	4,84	6,61	0

Pada tabel 4 adalah perbandingan antara data SCT-013 dan Tang Ampere menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dalam hal *variabilitas data*. Pada data SCT-013, standar deviasi tertinggi mencapai 3,54, sementara nilai terendahnya adalah 0,046. Hal ini mengindikasikan bahwa data SCT-013 memiliki rentang variasi yang cukup lebar, namun juga terdapat nilai-nilai yang sangat terpusat atau konsisten. Sedangkan pada data Tang Ampere menunjukkan karakteristik yang berbeda. Standar deviasi tertinggi pada data ini jauh lebih besar, yaitu 8,66. Sementara itu, nilai standar deviasi terendahnya adalah 0, menunjukkan bahwa ada beberapa nilai yang persis sama atau tidak bervariasi sama sekali. Hal ini menunjukkan bahwa data Tang Ampere memiliki keragaman yang sangat tinggi, dengan beberapa nilai yang sangat menyimpang dari rata-rata.

V. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan mengenai perancangan Alat Monitoring Arus Bocor dengan menggunakan teknologi Internet of Things, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Rancang bangun purwarupa *monitoring* arus bocor pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV berbasis *Internet of Things* telah berhasil dibuat dengan pemantauan arus secara *real-time* dengan menggunakan platform Thinkspeak dan Blynk.
2. Monitoring arus bocor pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV telah berhasil dilakukan dengan pemantauan jarak jauh menggunakan platform Thinkspeak dan aplikasi Blynk. Hal ini memungkinkan penanganan yang lebih responsif dan efisien, memastikan keamanan dan keandalan kelistrikan tetap terjaga dengan baik.
3. Monitoring arus bocor pada kabel *grounding* trafo *incoming* 20 kV berbasis *Internet of Things* telah berhasil melindungi peralatan trafo dari kerusakan yang diakibatkan oleh arus bocor pada sisi 20 kV. Dengan pemantauan secara *real-time* dari jarak jauh, dan memberikan notifikasi dini adanya persentase arus bocor pada trafo *incoming* 20 kV.
4. Berdasarkan perbandingan hasil pengujian dan pengukuran sensor arus SCT-013 dan Tang Ampere diperoleh data bahwa alat *monitoring* arus SCT-013

secara *real-time* menunjukkan bahwa alat *monitoring* sudah akurat dengan error pembacaan rata-rata alat *monitoring* kurang dari 3% dari spesifikasi *non-linearitas* SCT-013 dengan nilai total persentase error pembacaan 2,0%, serta alat *monitoring* arus sudah presisi dengan nilai standar deviasi terendah sebesar 0,046. Oleh karena itu, alat *monitoring* arus bocor berbasis *Internet of Things* ini telah berhasil membantu staf PLN, khususnya di Gardu Induk Nusa Dua dalam melakukan pengukuran dan analisa potensi arus bocor.

VI. Daftar Pustaka

- A. Sofwandana, S. Angga Kusuma, 2018, Pendeteksian Dini Terhadap Arus Bocor Kabel Tanah Tegangan Menengah Pada Transformator 150/20 KV. Jurnal Fakultas Elektro ISTN, Vol.XX No 2.
- Fahrus Salam, Onki Alexander, 2023, Perancangan Monitoring Suhu Dengan Node MCU ESP8266, DHT 11 Dan Thingspeak Berbasis Internet Of Things. Jurnal Ilmiah Informatika.
- Febriani, Suci. (2022). Analisis Deskriptif Standar Deviasi. Vol.6 No. 1, Hal 910-913, Jurnal Pendidikan Tambusai, Universitas Pahlawan Tuanku Tambusai.
- Hartman, W., Hensen, A., Vasquez, E., & Altaii, K. (2018). Energy Monitoring and Control Using Internet of Things (IoT) System. IEEE Journal.

- P. Harahap, M. Adam, and A. Prabowo, 2019, Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 KV Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etap 12.6.0, RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro, vol. 1, no. 2, pp. 62–69, doi: 10.30596/rele.v1i2.3002.
- Percent Difference – Percent Error, Illinois State University, Dept of Physics, 2019.
- R. D. Sindhu, I. Sari, D. P. Lestari. Pembuatan Prototype Smart Home Menggunakan Nodemcu Esp8266 V3 Dan Chat Bot Pada Smartphone Android, infokom, vol. 26, no. 2, pp. 123–135, 2021, doi: 10.35760/ik.2021.v26i2.4157
- Sitanggang, A. F. H., & Prabowo, Y. A. (2022). Perancangan Alat Monitoring Arus Bocor pada Kabel 20 kV Menggunakan Filter Kalman Berbasis Internet of Things. *Elektrika*, 14(2), 41. <https://doi.org/10.26623/elektrika.v14i2.4849>