

Perancangan Monitoring Arus Bocor Pada Ground Kabel Power Trafo Tenaga 150/20KV Berbasis HMI

Design of Current Leakage Monitoring on Ground Cables of 150/50KV Power Transformers Based on HMI

Rummi Sirait¹, Muhamad Davva Arisandi², Meyhart Bangkit Sitorus³
^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan,
Institut Teknologi PLN
E-mail: ¹rummi@itpln.ac.id, ²mailto.davvamuhamad@gmail.com

Abstrak

Transformator tenaga merupakan material transmisi utama pada Gardu Induk 150 kV, pada sisi sekunder transformator terdapat kabel ground untuk mendeteksi arus bocor yang terjadi pada kabel power 20kV. PLN menggunakan cara manual dalam melakukan pengukuran arus bocor pada kabel power 20kV secara periodik sehingga arus bocor pada kabel tidak terdeteksi secara dini. Peningkatan arus bocor kabel tanah pada transformator 150/20 kV dapat menimbulkan gangguan pada penyaluran listrik. Penelitian ini merancang alat monitoring arus bocor kabel tanah pada transformator 150/20 kV secara *realtime*. Arus bocor ini dideteksi dengan menggunakan sensor arus SCT-013 5A dan diolah oleh Arduino mega 2560, kemudian ditampilkan pada HMI (*Human Machine Interface*). HMI yang digunakan dalam pengukuran arus bocor kabel tanah pada transformator 150/20 kV memanfaatkan aplikasi *VTScada*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ground kabel power trafo 4 GI Semen Baru 150kV masih dalam kondisi normal dan layak beroperasi karena nilai arus yang terbaca tidak ada yang lebih dari 1 Ampere. Perbandingan hasil pengujian alat dengan tang ampere menunjukkan rata-rata *error* pembacaan nilai arus dari alat sebesar 2,92%. Arduino Mega 2560 sebagai pusat pengendali alat mampu bekerja sesuai dengan program yang telah dimasukkan dan penggunaan aplikasi *VTScada* sebagai HMI berhasil dijalankan dengan pengujian berupa *telemetry* dan *telesignaling*.

Kata kunci: Arus bocor, Arduino Mega 2560, Sensor SCT-013, HMI

Abstract

The power transformer is the main transmission material at the 150 kV substation. On the secondary side of the transformer, there is a ground cable that detects leakage currents in the 20kV power cable. PLN continues to use manual methods to periodically measure leakage currents in 20kV power cables to prevent early detection of leakage currents. This study creates a real-time ground cable leakage current monitoring tool for 150/20 kV transformers. The SCT-013 5A current sensor is used to detect and process the leakage current, which is then displayed on the HMI. The HMI used in measuring ground cable leakage current on 150/20 kV transformers utilizes the VTScada application. Because the current value read is less than 1 Ampere, the test findings indicate that the 4 GI Semen Baru 150kV transformer's ground cable is still in good condition and safe for usage. The average inaccuracy in reading the tool's current value, according to a comparison of the test results with ampere pliers, is 2.92%. Testing in the form of telemetry and telesignaling successfully demonstrated the usability of the VTScada application as an HMI and the Arduino Mega 2560 as the device control center operating in accordance with the program entered.

Keywords: Leakage Current, Arduino Mega 2560, Sensor SCT-013, HMI

1. PENDAHULUAN

Proses penyediaan tenaga listrik di PT PLN meliputi beberapa tahapan yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi [1]. Dalam proses penyaluran tenaga listrik, Gardu induk mempunyai peranan penting dimana didalamnya terdapat material transmisi utama, salah satunya yaitu transformator tenaga. Transformator berfungsi sebagai penurun tegangan dari 150kV pada sisi primer menjadi 20kV pada sisi sekunder yang selanjutnya didistribusikan ke pelanggan [2]. Pada umumnya sisi sekunder transformator menggunakan saluran kabel power tegangan menengah sebagai media penyalurannya yang berjenis kabel tanah. Kendala yang sering muncul dalam penggunaan kabel ini adalah kegagalan dalam isolasinya, dimana hal itu mengakibatkan kebocoran arus di bagian kabel power trafo 20kV. Arus bocor merupakan besarnya nilai arus yang melalui kabel screen menuju tanah [3] dan arus bocor ini hanya dapat diketahui jika melakukan pengukuran menggunakan alat ukur.

Pemeliharaan peralatan Gardu Induk dilakukan secara berkala dengan melakukan pengukuran arus pada kabel ground kabel power trafo incoming 20kV, pemeliharaan tersebut berfungsi sebagai indikator pertama jika terjadi *breakdown* atau terbakar pada kabel power tersebut. Potensi berbahaya bagi peralatan-peralatan Gardu Induk seperti kerusakan kabel, kerusakan trafo dan sistem penyaluran *off* sebagai akibat dari kurangnya monitoring terhadap arus bocor. Monitoring arus pada ground kabel power trafo incoming 20kV merupakan salah satu tugas petugas gardu induk dengan menggunakan alat ukur tang ampere, dimana dalam kenyataannya di lapangan petugas bagian operasi dan pemeliharaan peralatan-peralatan Gardu Induk masih dilakukan secara konvensional. Oleh karena itu perlu adanya monitoring terhadap arus bocor untuk penanganan dengan cepat sehingga hubung singkat dan kerusakan pada kabel tanah, kerusakan trafo dapat dicegah [4].

Paper [5-7] meneliti tentang perancangan alat monitoring arus bocor pada jaringan listrik. Penelitian [5] merancang alat monitoring arus pada kabel ground kabel power Trafo Incoming 20kV. Perancangan alat ini menggunakan sensor arus SCT 013 menjadi pembaca arus, Arduino uno sebagai mikontroler, dan HC-11 sebagai alat transmitter dan receiver yang berfungsi untuk menghubungkan ke tampilan interface di komputer. Penelitian [6] merancang sistem pemantauan arus bocor yang bertujuan untuk keamanan arus bocor di jaringan listrik bertegangan rendah. Sistem monitoring dirancang berdasarkan teknologi NB-IoT mencakup sistem deteksi dan transmisi arus bocor dan konstruksi *platform cloud*. Sistem monitoring arus bocor yang dirancang dapat bekerja secara *realtime* di jaringan listrik bertegangan rendah dan dapat mencegah serta menyelesaikan masalah keamanan arus bocor. Penulis [7] meneliti penggunaan alat yang berfungsi untuk memonitoring arus bocor pada kabel power trafo tenaga secara *online*. Sebagai masukan untuk mendeteksi arusnya alat ini bekerja menggunakan input sensor arus PZEM-004T. Untuk menampilkan nilai data arus ke Thingspeak dan BLYNK, sebagai mikrokontroler menggunakan WEMOS-D1. Sebagai hasil yang tertampil di thingspeak secara online berupa parameter arus pada kabel power. Kelebihan dari alat ini dari tang ampere merk sanwa adalah alat ini dapat menunjukkan nilai arus sampai dua angka dibelakang koma.

Paper [8-10] meneliti metode diagnosis gangguan kebocoran arus pada jaringan listrik pedesaan, rumah tangga, pada kabel 20kV sisi sekunder Trafo dengan menerapkan teknologi *Internet of Things* (IoT). Paper [8] merancang alat untuk meningkatkan keakuratan dan efisiensi sistem diagnosis kebocoran listrik pedesaan berdasarkan *narrowband* IoT. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem diagnosis kebocoran jaringan listrik pedesaan dapat secara efektif meningkatkan akurasi diagnosis kebocoran jaringan listrik dan memberikan jaminan bagi pertumbuhan perekonomian masyarakat pedesaan. Penulis [9] membahas isu-isu tentang layanan manajemen keselamatan listrik otonom yang menggunakan outlet pintar untuk memastikan keamanan listrik bagi setiap rumah tangga. Model manajemen keselamatan listrik otonom yang dijalankan pada outlet pintar berbasis IoT dikembangkan berdasarkan korelasi antara tegangan, arus, dan arus fasa nol untuk mengidentifikasi faktor risiko kecelakaan listrik dan memprediksi kecelakaan. Penulis [10] merancang alat monitoring untuk mengukur arus bocor berbasis IoT. Alat monitoring ini terdapat pada kabel 20 kV sisi sekunder trafo dengan menerapkan metode

filter Kalman dan mengirimkannya ke operator Gardu Induk menggunakan Wifi. Hasil implementasi alat ini menyimpulkan bahwa dengan penggunaan filter Kalman dalam sistem monitoring arus bocor berbasis IoT pada tegangan 20kV dapat mereduksi noise pengukuran. Penelitian [11] merancang sistem monitoring arus beban pada gardu distribusi yang dapat dikontrol langsung dengan menggunakan layanan SMS (*Short Message Service*). Sistem monitoring arus beban pada gardu distribusi dapat melakukan monitoring arus beban berdasarkan perintah yang dikirimkan melalui SMS. Jika terjadi gangguan arus beban pada gardu induk distribusi, maka sistem akan memberikan SMS peringatan.

Dari penelitian sebelumnya telah dibangun sistem monitoring arus bocor secara *realtime*, tetapi pada penelitian tersebut masih terdapat kelemahan antara lain belum adanya sistem pengawasan status kondisi arus bocor. Untuk memperbaiki kekurangan dari alat monitoring arus bocor tersebut maka perlu dirancang sistem yang dapat memantau status kondisi arus bocor yaitu dengan antarmuka berbasis *Human Machine Interface* (HMI). HMI dirancang menggunakan *software VTScada* untuk membuat desain tampilan yang digunakan sebagai tampilan monitoring dan proses *controlling* peralatan. Untuk status kondisi arus bocor didesain indikator *pilot lamp* dengan tiga buah indikator *annunciator* dan fungsi alarm untuk peringatan. Sedangkan untuk monitoring menggunakan sebuah LCD 7 segment sebagai penampil nilai besaran arus.

Saat ini belum ada alat monitoring khusus terhadap kabel 20 kV pada trafo di wilayah PT PLN Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Tengah, pengukuran arus bocor pada kabel power 20kV masih dilakukan secara manual. Pada saat terjadi kecelakaan arus bocor, pemecahan permasalahan secara manual tidak efisien [6]. Penelitian ini akan merancang suatu alat pengukuran arus bocor yang dapat dimonitoring secara *realtime* dengan menggunakan sensor arus SCT 013 sebagai sensor arusnya, Arduino sebagai mikrokontroler, dan *VTScada* sebagai program interface secara *realtime*. Penggunaan alat ini juga akan secara signifikan meningkatkan efisiensi tenaga dan waktu, karena operator dapat fokus pada tugas-tugas lain yang memerlukan perhatian lebih mendalam dan penyaluran listrik kepada konsumen akan lebih maksimal. Selain itu, alat ini juga mempunyai peranan yang sangat penting dalam tindakan preventif, dimana alat ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi arus bocor pada ground kabel power 20kV secara dini, sehingga alat ini akan membantu mencegah terjadinya gangguan serius seperti breakdown atau bahkan kebakaran pada kabel tersebut. Tindakan preventif ini akan membantu menjaga integritas dan kinerja jaringan listrik secara keseluruhan, menghindari potensi kerugian yang signifikan baik dari segi materi maupun keselamatan. Alat monitoring dan pengujian arus bocor ini tidak hanya akan memberikan dampak positif pada operasional PT PLN, tetapi juga dapat menjadi contoh nyata dari inovasi dalam industri kelistrikan. Dengan demikian, alat ini memiliki potensi untuk memberikan kontribusi yang berarti dalam menjaga kelangsungan pasokan listrik yang handal dan aman bagi masyarakat serta berkontribusi pada perkembangan teknologi dalam sektor ketenagalistrikan.

2. METODE PENELITIAN

Perancangan dan pengujian alat monitoring arus bocor yang dibuat ini digunakan pada Gardu Induk 150kV Semen Baru, yang terletak di wilayah kerja PLN ULTG Bogor. Untuk menganalisis data dilakukan dengan membandingkan data hasil perancangan dari alat monitoring arus bocor yang dibuat dengan hasil pengukuran arus bocor pada ground kabel power 20kV menggunakan tang ampere. Metode ini dilakukan untuk mengetahui layak atau tidaknya alat tersebut untuk digunakan dengan standar pengujian peralatan yang ada.

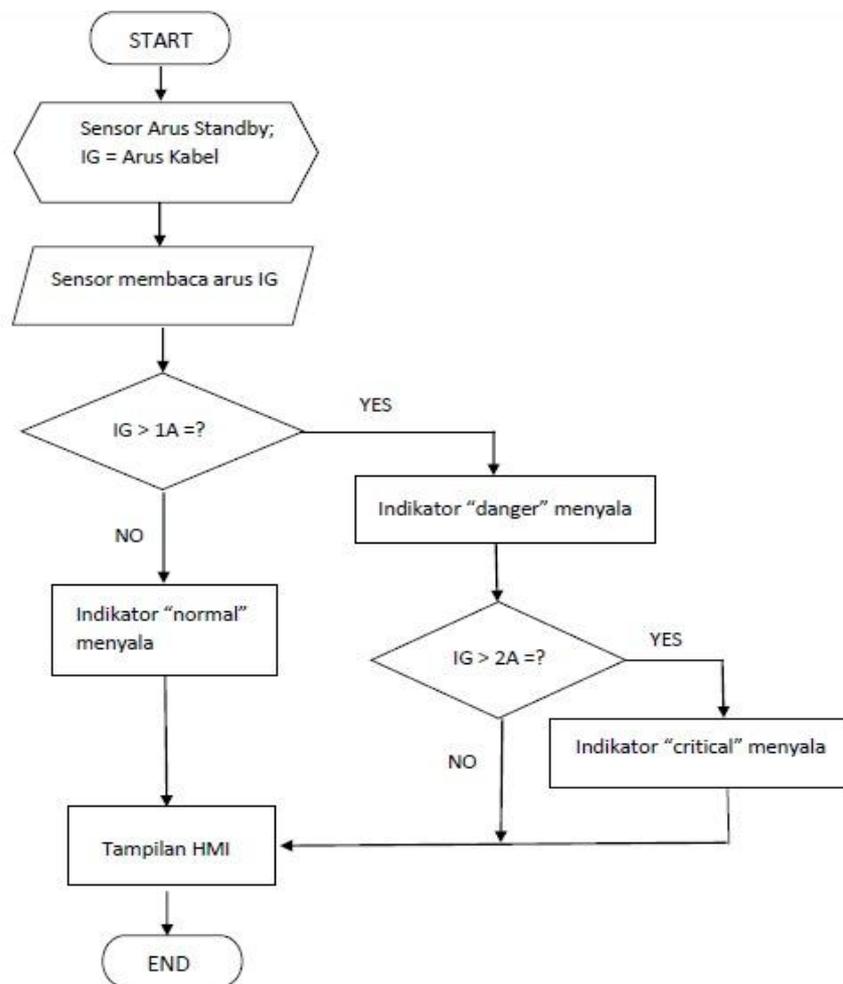
2.1 Konsep Kerja Alat dan Sistem

Alat monitoring arus bocor yang dirancang ini akan ditempatkan pada bagian sisi sekunder dari transformator tenaga 150/20 kV atau tepatnya pada kabel power 20kV. Kabel ground pada kabel power 20kV pada sisi sekunder transformator tenaga gardu induk dimonitoring arusnya, data pembacaan arus diperoleh dari pembacaan sensor arus SCT 013 yang selanjutnya akan diproses oleh mikrokontroler Arduino mega 2560. Setelah diproses, pembacaan nilai arus

dikirimkan melalui media *wifi* dengan komunikasi modul ethernet shield. Kemudian nilai arus akan tampil pada layar monitor komputer operator gardu induk.

2.2 Flowchart Alat Monitoring Arus Bocor

Gambar 1 menunjukkan *flowchart* dari alat monitoring arus bocor pada ground kabel power trafo tenaga 150/120KV berbasis HMI. Berdasarkan *flowchart* pada gambar 1, arus yang mengalir pada ground kabel power 20kV pada sisi sekunder transformator tenaga gardu induk didapatkan dari hasil pembacaan sensor arus SCT 013 yang selanjutnya akan diproses oleh mikrokontroler Arduino mega 2560. Setelah diproses, pembacaan nilai arus dikirimkan melalui media *wifi* dengan komunikasi modul ethernet shield. Kemudian nilai arus akan tampil pada layar monitor komputer operator gardu induk. Apabila arus yang mengalir terbaca lebih dari 1 Ampere maka di layar monitor indikator “*danger*” akan menyala. Sedangkan arus yang mengalir terbaca lebih dari 2 Ampere maka di layar monitor indikator “*critical*” akan menyala. Indikator “*normal*” pada layar monitor akan menyala apabila arus yang mengalir terbaca kurang dari 1 Ampere.



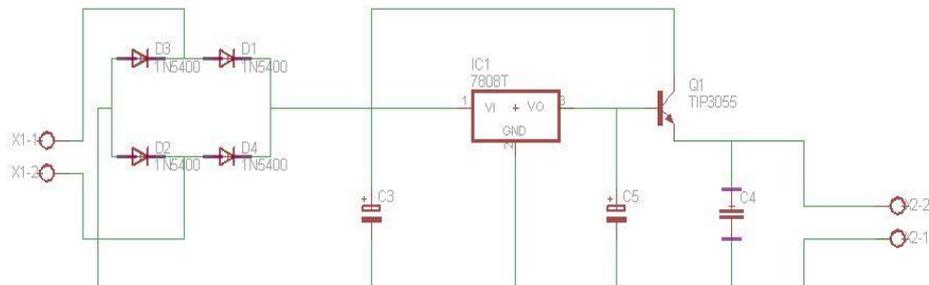
Gambar 1. Flowchart Alat ground kabel power 20kV

2.3 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras pada penelitian ini meliputi perancangan rangkaian catu daya 5 VDC, rangkaian pengkondisi sinyal sensor arus SCT 013, serta penjelasan mengenai Ethernet shield dan router.

2.3.1 Perancangan Rangkaian Catu Daya 5 Volt

Rangkaian catu daya 5V ini berfungsi untuk mengubah tegangan 220 VAC PLN menjadi 5VDC. Rangkaian ini menyuplai inputan Arduino mega 2560. Rangkaian catu daya 5V ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Schematic rangkaian catu daya 5 volt

2.3.2 Perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Arus SCT 013 5A

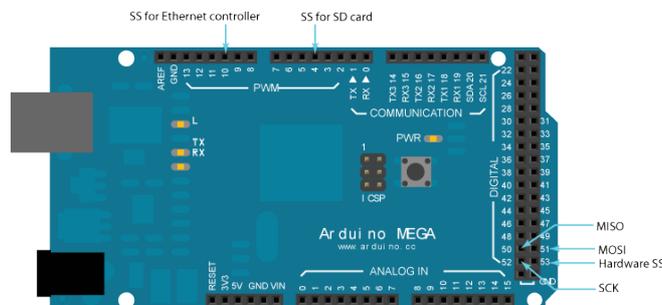
Untuk perancangan rangkaian pengkondisi sinyal sensor SCT-013 5A menggunakan komponen antara lain resistor, kapasitor elco dan jack audio stereo. Tegangan inputan analog Arduino adalah tegangan positif antara 0V sampai dengan tegangan referensi ADC yang dipakai yaitu 5 VDC yang bersumber dari catu daya.



Gambar 3. Rangkaian Pengkondisi Sinyal Arus SCT 013

2.3.3 Ethernet Shield

Arduino Mega harus dijadikan open Modbus TCP/IP agar dapat dikontrol melalui *software VTScada*. Ethernet shield digunakan untuk menghubungkan antara Arduino Mega 2560 dengan jaringan komputer. Ethernet Shield diperlukan untuk menjadikan Arduino Mega sebagai open Modbus TCP/IP. Ethernet Shield dihubungkan dengan Router melalui jaringan LAN (*Local Area Network*).



Gambar 4. Pin Ethernet Shield ke Arduino Mega 2560

Sumber: <https://forum.arduino.cc>

2.3.4 Router

Router digunakan sebagai media telekomunikasi antara Arduino mega 2560 dengan komputer operator gardu induk dengan menggunakan jaringan LAN. Untuk pengiriman data dari Arduino Mega 2560 ke komputer operator gardu induk dan sebaliknya diperlukan protokol Open Modbus TCP/IP yang sebelumnya Arduino telah dipasang Ethernet Shield.



Gambar 5. Router

2.4 Perancangan Perangkat Lunak (*software*)

Perancangan perangkat lunak pada alat ini meliputi pemrograman pada Arduino dan aplikasi *VTScada*.

2.4.1 Pembuatan Program *software* Arduino

Untuk memproses program dari PC ke modul Arduino digunakan aplikasi Arduino IDE. Langkah-langkah untuk mengoperasikan aplikasi Arduino IDE adalah:

1. Membuka aplikasi Arduino IDE yang sudah terdownload dan terinstal pada PC.
2. Pilih *board Arduino Mega 2560* melalui klon menu *tools* kemudian pilih *board*.
3. Setelah memilih *board*, pilih port untuk menghubungkan Arduino ke PC melalui klik menu *tools* kemudian pilih *port*.
4. Ketik program keseluruhan alat sesuai dengan apa yang diinginkan.
5. Setelah program ditulis, cek kebenaran program yang telah dibuat dengan cara *compiling* dengan menekan tombol . Tunggu hingga proses selesai.
6. *Upload* program ke mikrokontroler dengan menekan tombol , tunggu hingga proses *uploading* selesai. Setelah program telah *terupload*, mikrokontroler Arduino mega 2560 siap dijalankan.

2.4.2 Pembuatan Program *Software VTScada*

VTScada merupakan aplikasi yang dirancang untuk menyediakan alat pemantauan dan kontrol yang sangat bagus. Di dalam *VTScada* terdapat pengembangan aplikasi yang mudah digunakan dan bahasa pemrograman [12]. Memungkinkan pengoperasian peralatan yang mudah, layaknya menyetel alarm, dan memperoleh laporan dan statistik. Selama pemantauan, operator bisa melihat status peralatan dari jarak jauh melalui alarm telepon, email, atau SMS. *VTScada* juga memiliki banyak alamat I/O, alarm, dan pencatat data, sehingga dapat membuat tag untuk perangkat sendiri. Pembuatan Program *Software VTScada* merupakan langkah untuk membuat desain tampilan *Human Machine Interface* yang digunakan sebagai tampilan *monitoring* dan proses *controlling* peralatan dengan pembuatan Program *Software VTScada*.

Pembuatan tampilan HMI berfungsi untuk memudahkan dalam pengoperasian SCADA. Desain tampilan HMI sesuai dengan kebutuhan dan fungsinya. Pada pembuatan alat ini mencakup *monitoring* arus dan indikator *pilot lamp*. Pada pembuatan alat ini terdapat tiga buah indikator annunciator untuk status kondisi arus bocor. Sedangkan untuk *monitoring* menggunakan sebuah

LCD 7 segment sebagai penampil nilai besaran arus. Tampilan HMI VTScada yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 6.



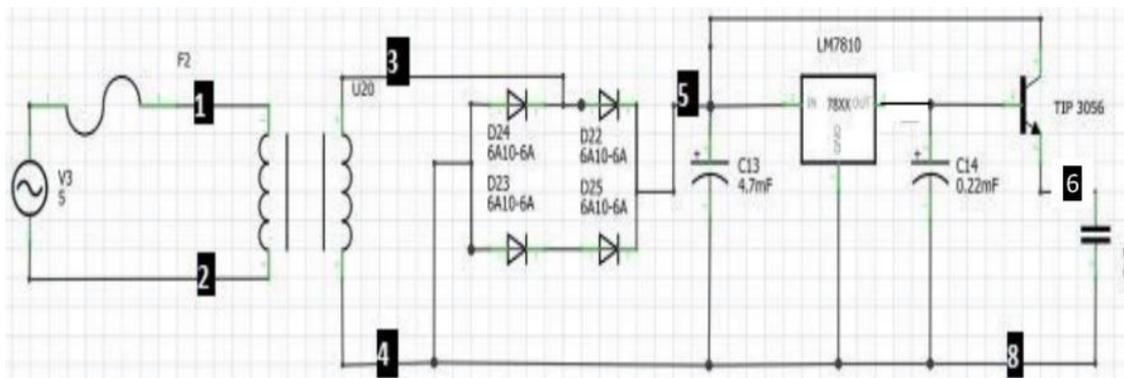
Gambar 6. Tampilan akhir HMI VTScada

Pembuatan tagging dan pengalamatan I/O merupakan salah satu langkah yang harus dikerjakan untuk memenuhi syarat berjalannya suatu sistem yang telah dirangkai pada aplikasi VTscada. Untuk membuat *tag analog status*, pilih *Tag Analogs* kemudian *Analog Status*. Kemudian beri nama *Tag* tersebut dan atur *address* yang digunakan pada *Tag* tersebut. Untuk *address* yang digunakan haruslah sesuai dengan *address* yang diisikan pada program Arduino agar dapat terkoneksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian alat dilakukan untuk melihat bahwa alat yang dibuat memenuhi spesifikasi sebagai penunjang alat inovasi untuk keberlangsungan penyaluran tenaga listrik agar tetap andal oleh PT. PLN. Pengujian dilakukan di Gardu Induk 150kV Semen Baru Bogor.

Pengujian Rangkaian Catu Daya 5 VDC mengambil sumber dari transformator *stepdown* pada sisi sekunder. Pengujian dilakukan dengan menggunakan data pengukuran tegangan input dan output dari rangkaian catu daya tersebut. Titik-titik yang akan diukur ditunjukkan pada gambar 7 dan hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 1.



Gambar 7. Titik Pengukuran pada Rangkaian Catu Daya 5 VDC

Tabel 1. Pengujian Catu Daya 5 VDC

No	Titik Pengukuran	Hasil Pengukuran	Tampilan LCD Multimeter
1	1-2	219 VAC	
2	3-4	9,09 VAC	
3	5-8	11,53 VDC	
4	6-8	5,0 VDC	

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 1 dapat ditunjukkan bahwa:

1. Pada titik 1-2 merupakan hasil inputan dari sumber tegangan 220 VAC dari PLN yang menunjukkan nilai 219 VAC.
2. Pada titik 3-4 merupakan hasil outputan dari transformator 220V/9V dimana hasil pengukuran menunjukkan nilai 9,09 VAC. Hasil ukur tersebut dikategorikan normal karena *rate* tegangan sekunder trafo yang terpasang sebesar 9VAC.
3. Pada titik 5-8 merupakan outputan dari diode *bridge*. Hasil pengukuran dari titik ini menunjukkan nilai 11,53 VDC. Pada diode *bridge* ini merupakan perubahan tegangan AC menjadi tegangan DC.
4. Pada titik 6-8 merupakan outputan dari catu daya. Hasil pengukuran dari titik ini menunjukkan nilai 5 VDC. Hasil ukur tersebut dikategorikan normal karena sesuai dengan apa yang direncanakan.

Pengujian arus bocor dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian tang ampere jenis kyoritsu dengan alat monitoring arus bocor yang sudah dibuat. Pengujian dilakukan dalam jangka waktu sesuai dengan ketentuan PLN yaitu satu minggu sekali dengan rentang waktu satu bulan. Hasil dari pengukuran dengan tang meter akan digunakan sebagai pembanding dengan hasil pengukuran dari alat yang sudah dibuat apakah alat tersebut layak digunakan atau tidak. Pengujian arus bocor ini dilakukan pada kabel tanah 20kV Transformator 4 150/20kV di GI Semen Baru Bogor. Hasil pengujian arus bocor dengan tang ampere dan alat yang sudah dibuat ditunjukkan pada tabel 2.

Dari hasil pengujian yang terdapat pada tabel 2, hasil pengukuran menunjukkan nilai yang normal dan dapat dikategorikan aman karena nilai dari hasil pengujian tersebut kurang dari 1 ampere. Untuk standar pengukuran arus bocor yang ditetapkan PLN menurut SKDIR 250 yaitu kurang dari 1 ampere dikategorikan normal, sedangkan kalau hasil pengukuran lebih dari 1 ampere dan kurang dari 2 ampere direkomendasikan untuk dilakukan pengawasan secara berkala apakah semakin parah atau tidak. Kalau hasil pengukuran lebih dari 2 ampere sudah dikategorikan emergency dan perlu dilakukan perbaikan. Rata-rata *error* dari pembacaan nilai arus dari alat yang telah dibuat sebesar 2,92%, hal ini menunjukkan bahwa alat monitoring arus bocor pada

ground kabel power trafo tenaga 150/20kV berbasis HMI layak digunakan karena sesuai dengan teori yang ada yaitu sensor arus SCT 013 memiliki akurasi ketepatan pembacaan sebesar $\pm 3\%$.

Tabel 2. Tabel Pengujian Arus Bocor

No	Waktu	Terbaca di Layar Monitor Operator Gardu Induk	Terbaca di LCD Tang Ampere Meter (A)	Selisih	Error (%)
1	Minggu ke 1			0,01 A	3,5%
2	Minggu ke 2			0,01A	2,7%
3	Minggu ke 3			0,00A	0%
4	Minggu ke 4			0,01A	5,5%
Rata-rata error					2,92%

Pengujian terhadap alat monitoring arus bocor yang telah dibuat dilakukan untuk melihat apakah alat dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Fungsi alat monitoring arus bocor dimaksudkan adalah apabila arus yang terbaca kurang dari 1 ampere maka indikasi *annunciator* warna hijau menyala, kuning dan merah mati. Apabila arus yang terbaca lebih dari 1 ampere maka indikasi *annunciator* kuning menyala, hijau dan merah mati. Apabila arus yang terbaca lebih dari 2 ampere maka indikasi *annunciator* merah menyala, hijau dan kuning mati. Nilai arus terbaca yang didapatkan pada tabel 3 merupakan nilai besaran arus yang disetting di program Arduino.

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 3, dapat dilihat bahwa alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan fungsinya. Pada percobaan pertama yaitu arus yang terbaca disetting 0,4 ampere sehingga indikator *annunciator* hijau menyala, kuning mati, dan merah mati karena arus yang terbaca kurang dari 1 ampere. Hasil percobaan pertama dikategorikan normal. Pada percobaan kedua yaitu arus yang terbaca disetting 1,10 ampere sehingga indikator *annunciator* kuning menyala, hijau mati, dan merah mati karena arus yang terbaca lebih dari 1 ampere dan kurang dari 2 ampere. Hasil percobaan kedua ini dikategorikan *danger*. Pada percobaan ketiga yaitu arus yang terbaca disetting 2,10 ampere sehingga indikator *annunciator* merah menyala, hijau mati, dan kuning mati karena arus yang terbaca lebih dari 2 ampere. Hasil percobaan ketiga ini dikategorikan *critical*. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa alat Monitoring Arus Bocor Pada Ground Kabel Power Trafo Tenaga 150/20kv Berbasis HMI ini layak digunakan pada sistem PLN.

Tabel 3. Pengujian fungsi Alat Monitoring Arus Bocor Berbasis HMI

No.	Arus Terbaca	Terbaca di Layar Monitor Operator Gardu Induk	Keterangan
1	0,40 A		Annunciator Normal Menyala

2	1,10 A		Annunciator Danger Menyala
3	2,10 A		Annunciator Critical Menyala

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian alat monitoring arus bocor pada ground kabel power trafo tenaga 150/20kV berbasis HMI dapat disimpulkan bahwa dengan adanya alat monitoring arus bocor pada ground kabel power trafo tenaga 150/20kV berbasis HMI ini arus bocor dapat dideteksi sejak dini dan dimonitoring secara realtime, sehingga jika ada peningkatan nilai arus bocor yang signifikan dapat diminimalisir terjadinya gangguan dan menjaga keandalan sistem penyaluran listrik. Hasil pengujian yang dilakukan empat kali dalam kurun waktu satu bulan menunjukkan bahwa ground kabel power trafo 4 GI Semen Baru 150kV masih dalam kondisi normal dan layak beroperasi karena nilai arus yang terbaca tidak ada yang lebih dari 1 ampere. Untuk perbandingan hasil pengujian alat monitoring arus bocor yang sudah dibuat dengan tang ampere yaitu rata-rata *error* dari pembacaan nilai arus dari alat monitoring arus bocor yang telah dibuat sebesar 2,92%. Hal ini menunjukkan bahwa alat monitoring arus bocor pada ground kabel power trafo tenaga 150/20kV berbasis HMI ini layak digunakan karena sesuai dengan teori yang ada yaitu sensor arus SCT 013 memiliki akurasi ketepatan pembacaan sebesar $\pm 3\%$. Selain itu, Penggunaan aplikasi *VTScada* yang difungsikan sebagai HMI berhasil dijalankan dengan pengujian berupa telemetering dan telesignaling.

Saran untuk penelitian berikutnya untuk lebih mengoptimalkan fungsi alat monitoring ini dapat ditambahkan sistem penyimpanan data yang memiliki banyak kapasitas sehingga pembacaan arus yang telah terbaca dapat tersimpan. Penelitian untuk memastikan kemampuan alat dapat bertahan untuk berapa lama karena alat ditempatkan di luar ruangan sehingga terkena hujan dan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hasibuan, A. Asran, F. Adriansyah, B. Ismail, W. V. Siregar, and M. Sayuti, "Planning to Reconfigure the 150 kV Transmission Network at PT. PLN (Persero) Tualang Cut Network and Substation," *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 61-68, 2023.
- [2] Z. Aini, E. Mutari, L. Liliana, and O. Candra, "Analysis of Imbalance Loads and Losses Based on The Largest Loading by 3 Units of 3 Phase Distribution Transformer," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 7, no. 1, pp. 69-77, 2021.
- [3] M. Shi *et al.*, "The Development of DC Leakage Current Monitoring Device," in *2022 IEEE 5th International Electrical and Energy Conference (CIEEC)*, 2022: IEEE, pp. 3694-3699.
- [4] V. Vita, G. Fotis, V. Chobanov, C. Pavlatos, and V. Mladenov, "Predictive maintenance for distribution system operators in increasing transformers' reliability," *Electronics*, vol. 12, no. 6, p. 1356, 2023.
- [5] F. S. Wicaksono and S. Saidah, "Monitoring Arus Pada Kabel Ground Kabel Power Trafo Incoming 20 KV," *Seminar Nasional Fortei Regional VII-2 (SINARFE7-2)*, 27 July 2019.
- [6] G. Xu, R. Zheng, and K.-C. Chang, "Design of Leakage Current Monitoring System for Low Voltage Power Grid Based on NB-IoT," in *Advanced Machine Learning Technologies and Applications: Proceedings of AMLTA 2021*, 2021: Springer, pp. 688-698.
- [7] B. Adi and A. Hariyanto, "Monitoring Online Arus Bocor Kabel Power Trafo Tenaga Berbasis Mikrokontroler WEMOS-D1 dengan Database Via Thingspeak untuk

- Mengoptimalkan Inspeksi Level-2 di Gardu Induk PLN," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, 2021.
- [8] C. Jiang, H. Xu, W. Jin, and X. Bi, "Research on application of power Internet of Things technology in leakage fault diagnosis of rural power grid," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 847-854, 2023.
- [9] K.-Y. Lee, H.-W. Moon, D.-W. Kim, Y.-B. Lim, and I.-H. Ryu, "A study on the development of an autonomous electrical safety management service using an IoT-based smart outlet," *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, vol. 58, no. 2, pp. 168-178, 2021.
- [10] A. F. H. Sitanggang and Y. A. Prabowo, "Perancangan Alat Monitoring Arus Bocor pada Kabel 20 kV Menggunakan Filter Kalman Berbasis Internet of Things," *Elektrika*, vol. 14, no. 2, pp. 41-48, 2022.
- [11] I. I. W. R. I. Parmana, C. G. I. Partha, and N. P. S. Utama, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus Beban pada Gardu Distribusi Menggunakan Short Message Service," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 1, pp. 17-24, 2018.
- [12] S. Rabidin, A. Faridh, and A. Pranowo, "Implementasi Sistem SCADA untuk Monitoring dan Controlling Serta Koordinasi Kerja Sistem Proteksi Pada Gardu Induk 1, 5 Breaker Menggunakan Ethernet Shield Berbasis Arduino Mega 2560 dengan Tampilan HMI," *JUS TEKNO (Jurnal Sains dan Teknologi)*, vol. 5, no. 2, 2021.