

ELECTRON

Jurnal Ilmiah Teknik Elektro

ELEKTRONIKA, SISTEM KENDALI, TELEKOMUNIKASI,
TEKNOLOGI INFORMASI, TEKNIK KETENAGALISTRIKAN

VOLUME 03 NOMOR 02, NOVEMBER 2022



**Kampus
Merdeka**
INDONESIA JAYA

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BANGKA BELITUNG**



Dewan Redaksi

Penerbit

Jurusan Teknik Elektro Universitas Bangka Belitung

Ketua Redaksi

M. Yonggi Puriza, S.T., M.T.

Manajer Jurnal

Welly Yandi, S.Pd., M.T.

Penelaah Sejawat

Imil Hamda Imran, S.T., M.Sc., Ph.D.

Swadexi Istiqphara, S.T., M.T.

Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T.

Hanalde Andre, S.T., M.T.

Rizki Wahyu Pratama, S.T., M.T.

Tianur, S.S.T., M.Eng

Ghiri Basuki Putra, S.T., M.T.

Muhd Jumnahdi, S.T., M.T.

Rika Favoria Gusa, S.T., M.Eng.

Ir. Wahri Sunanda, S.T., M.Eng., IPM., A.Eng

Asmar, S.T., M.Eng.

Editor

Fardhan Arkan, S.T., M.T.

Tri Hendrawan Budiarto, S.T., M.T.

Umar Faruq Vista, S.Kom., M.Kom.

Iski Zaliman, S.Kom., M.Kom.

Fahri Setiawan, M.Si.

Almeera Amsana Rachmani

Staf Administrasi

Hendy, S.T.

Tirmayadi

Alamat Redaksi :

Gedung Dharma Penelitian

Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknik

Kampus Terpadu Universitas Bangka BelitungBalunijuk,

Kab. Bangka, Prov. Kep. Bangka BelitungTelp. (0717)

4260033 ext. 2125, 2128

Laman Baru : <https://jurnalelectron.org/index.php/electronubb>

Laman Lama : <http://journal.ubb.ac.id/index.php/electron>

e-Mail 1 : jurnalelectron@ubb.ac.id

e-Mail 2 : jurnal.electron.ubb@gmail.com

Kata Pengantar

Jurnal Electron saat ini memasuki Volume 3 no. 2. November 2022.

Fokus dan ruang lingkup Jurnal Electron meliputi bidang Teknik Elektronika, Teknik Kontrol, Teknik Telekomunikasi, Teknik Informatika dan Informatika, dan Teknik Listrik/ Ketenagalistrikan baik dari berbagai akademisi maupun praktisi industri dari instansi pemerintah maupun swasta.

Harapan kami pada edisi selanjutnya akan lebih banyak memuat tulisan-tulisan ilmiah dari hasil penelitian dan hasil pemikiran penulis di luar lembaga sehingga menjadi wadah untuk membuka wacana ilmiah yang lebih luas.

Penghargaan setinggi-tingginya kami sampaikan kepada Penelaah Sejawat atau Reviewer, Dewan Redaksi, Penulis dan semua pihak yang terlibat dalam penyusunan dan penerbitan Jurnal Electron edisi ini. Semoga jurnal ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan keilmuan di bidang Teknik Elektro pada khususnya dan Teknik pada umumnya. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun tetap kami harapkan perbaikan dan perbaikannya demi kemajuan Jurnal Electron ini.

Salam Hangat

Ketua Redaksi Jurnal Electron



e-ISSN 2622-6588 / p-ISSN 2830-523X

ELECTRON

Jurnal Ilmiah Teknik Elektro



<https://jurnalelectron.org/index.php/electron>

Daftar Isi

Rancang Bangun Alat Pendeteksi Status Pentanahan pada Instalasi Listrik Bangunan Berbasis Arduino Mega 2650 Pro

Dean Corio, Reva Arya Andanu, Afit Miranto, Rizki Wahyu Pratama

49 – 57

Implementasi GOOSE (IEC61850) pada Sistem Otomasi Gardu Induk di PLN UPDL Semarang

Muhammad Said Al Manshury

58 – 66

Lampu Taman Tenaga Surya Berbasis *Internet Of Things* di Universitas Bangka Belitung

Anggara Dwi Haryanto, Asmar, Tri Hendrawan Budianto, Wahri Sunanda

67 – 70

Pengaruh Pemasangan Solar Cell Terhadap Biaya pada Industri PT. Kahatex

Fauzia Haz, Shilham Astif Syarifuddin, Giri Angga Setia

71 – 78

Analisis Kelayakan Elektrikal Material Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tumpu Dengan Desain Dua Sirip Terpisah

Andhip Mahdi Manggala, Widagdo Dwi Nugrahadi Prasetya

79 – 88

Rancang Bangun Alat Pendeteksi Status Pentanahan pada Instalasi Listrik Bangunan Berbasis Arduino Mega 2650 Pro

Dean Corio^{1*}, Reva Arya Andanu¹, Afit Miranto¹, Rizki Wahyu Pratama²

Teknik Elektro Institut Teknologi Sumatera¹
Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Andalas²
*dean.corio@el.itera.ac.id

ABSTRACT

The grounding system is very important in a building electrical installation. The socket is an electrical installation component that functions as a power supply line to electronic equipment which in the PUIL 2000 rules must be connected to the building grounding system. As the installation age of a building increases, the grounding system will degrade. In this research, a grounding detector has been made at the socket to determine whether the socket is connected to the grounding system. In this tool there is a plug-shaped component that is mounted on a socket. From the test results, the tool can detect the voltage, leakage current and ground connectivity detection which is displayed on the LCD screen. The optocoupler sensor installed around the wheel can read the wheel rotation well so that the distance measurement data between the outlets has a good accuracy rate approaching 100%, namely 99.26%. The Arduino Mega 2560 Pro microcontroller manages the overall measurement data results and transfers the data to the memory card. The duration of use of this tool can be up to 10 hours, which is quite a long time to be used for the purpose of checking the grounding condition of a building with this tool.

Keywords : *grounding, socket, measurement, optocoupler, building*

INTISARI

Sistem pentanahan merupakan hal yang sangat penting pada suatu instalasi listrik bangunan. Stop-kontak merupakan komponen instalasi listrik yang berfungsi sebagai jalur suplai listrik ke peralatan elektronik dimana pada aturan PUIL 2000 harus terhubung ke sistem pentanahan bangunan. Seiring bertambahnya usia instalasi sebuah bangunan, maka akan terdapat sistem pentanahan yang mengalami degradasi. Pada penelitian ini telah dibuat alat pendeteksi pentanahan pada stop-kontak untuk mengetahui terhubungnya stop-kontak ke sistem pentanahan. Pada alat ini terdapat komponen berbentuk steker yang dipasang pada stop-kontak. Dari hasil pengujian alat dapat mendeteksi besar tegangan, besar arus bocor dan deteksi konektifitas pentanahan yang ditampilkan pada layar LCD. Sensor *optocoupler* yang terpasang di sekitar roda, dapat membaca putaran roda dengan baik sehingga data pengukuran jarak antara stop-kontak memiliki tingkat keakuratan yang baik mendekati 100% yakni 99,26%. Mikrokontroler *Arduino* Mega 2560 Pro mengatur keseluruhan hasil data pengukuran dan mentransfer data pada kartu memori. Durasi penggunaan alat ini bisa hingga 10 jam dapat yang merupakan waktu yang cukup lama digunakan untuk keperluan pemeriksaan kondisi pentanahan sebuah bangunan dengan alat ini.

Kata kunci: *grounding, stop-kontak, pengukuran, optocoupler, gedung*

I. PENDAHULUAN

Pada instalasi listrik sebuah bangunan, perlu diperhatikan kehandalan instalasi dan keamanan perangkat yang terhubung ke jaringan dan penggunaannya. Sistem pengamanan gangguan yang terjadi pada peralatan listrik atau jaringan terhadap tegangan lebih seperti petir dan gangguan hubung

singkat lainnya, disebut dengan sistem pentanahan[1][2].

Sistem pentanahan yang baik mempunyai resistansi pentanahan yang kecil. Resistansi pentanahan merupakan parameter dari sistem proteksi yang berdampak dalam mengamankan tegangan lebih seperti petir dan *switching*[3][4][5]. Resistansi pentanahan yang normal harus memiliki nilai resistansi sekecil mungkin, sehingga saat dalam keadaan

gangguan mampu mengalirkan tegangan gangguan dan tegangan lebih ke tanah secepat mungkin dan tidak terjadi busur api di sekitar elektroda dalam tanah[6]. Busur api pada elektroda dalam tanah akan terjadi bila nilai resistansi pentanahan sangat besar. Hal tersebut dapat membahayakan manusia, binatang, dan tumbuh-tumbuhan disekitar elektroda pentanahan, termasuk terjadinya kerusakan pada peralatan elektronik, kerusakan instalasi listrik, dan bahaya kebakaran[7][8].

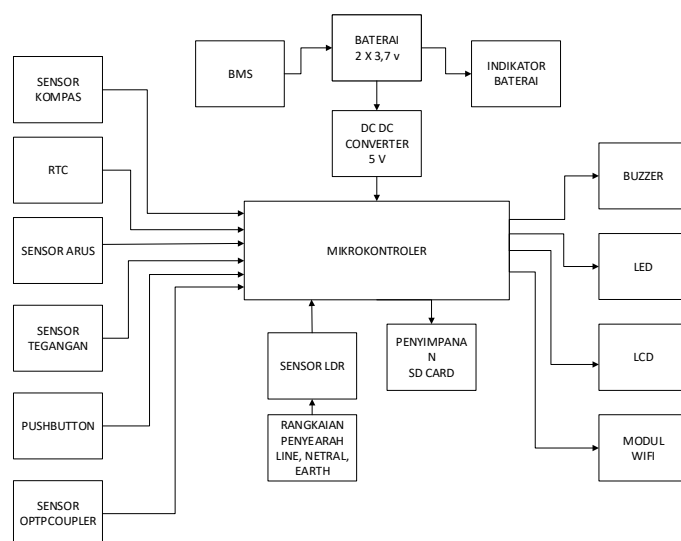
Masa sekarang masih sering dijumpai bangunan yang terpasang sistem pentanahan namun sistem tersebut belum bisa menetralsisir gangguan listrik yang terjadi pada instalasi listrik. Bahkan sering dijumpai bangunan yang tidak dilengkapi dengan sistem pentanahan pada instalasi listriknya. Hal tersebut berbahaya bagi orang-orang dalam bangunan karena bisa menyebabkan kematian. Disamping itu, tidak adanya sistem pentanahan pada instalasi listrik bangunan, dapat menyebabkan cepat berkurangnya *lifetime* dari barang-barang elektronik yang terhubung ke instalasi tersebut dan bahkan bisa menyebabkan kerusakan barang elektronik[9].

Seiring bertambahnya usia bangunan, sistem pentanahan yang terpasang pada suatu bangunan akan mengalami peningkatan nilai resistansi yang berdampak terhadap menurunnya kualitas pentanahan[9][10]. Faktor penyebab terjadinya kenaikan nilai resistansi tanah bisa disebabkan oleh karat pada elektroda pentanahan dan nilai resistansi dari tanah sekitar batang elektroda pentanahan[11]. Karat pada elektroda pentanahan akan menghambat arus yang melewatinya, sehingga aliran arus yang melalui elektroda yang seharusnya disalurkan ke tanah menjadi kurang sempurna[9]. Kualitas sistem pentanahan dilihat dari nilai resistansi yang terukur. Menurut standar PUIL 2000, nilai resistansi yang baik adalah antara 0 s/d 5 Ω . Jika hasil pengukuran nilai pentanahan menunjukkan $>5 \Omega$, maka nilai resistansi pentanahan tersebut tidak sesuai dengan standarisasi instalasi listrik yang berlaku. Nilai 5 Ω merupakan batas tertinggi resistansi pembumian yang masih bisa ditoleransi[12]. Pengukuran impedansi selama ini dilakukan secara praktis dengan mengukur tahanan resistansi dan secara percobaan dengan mengukur harga tegangan puncak dan arus injeksi secara terpisah. Impedansi pentanahan nya diperoleh dengan membagi harga tegangan puncak dengan arus puncaknya[13]. Rancang bangun alat pengukur nilai tahanan tanah digital tidak lepas dari rangkaian dasar pengukuran Arus dan tegangan, pengukuran tahanan tanah

didapatkan dari pengukuran tegangan dan arus tersebut (V/I)[14].

Salah satu komponen instalasi listrik bangunan yang terhubung langsung ke peralatan elektronik adalah stop-kontak (*receptacle*). Komponen stop-kontak bangunan yang tidak terhubung ke sistem pentanahan bisa menyebabkan bahaya bagi manusia dan peralatan elektronik[15]. Mengingat pentingnya peran sistem pentanahan pada instalasi listrik, maka dibutuhkan alat yang mudah digunakan dalam pemeriksaan sistem pentanahan pada tiap titik *receptacle*. Dalam penelitian ini dirancang alat yang dapat digunakan dalam pendeteksian pentanahan pada tiap titik *receptacle* yang mudah digunakan dalam melakukan perawatan atau pemeriksaan instalasi listrik tanpa harus membongkar instalasi listrik dan jalur konduktor pentanahan. Penggunaan mikrokontroler telah banyak diaplikasikan yang membantu para peneliti dalam menganalisa suatu permasalahan[16].

Alat ini berbasis mikrokontroler yang dilengkapi pembacaan pengukuran parameter yang penting dalam melakukan pemeriksaan pentanahan, dimana parameter arus, tegangan dan deteksi *grounding* akan tampil secara visual pada *liquid crystal display* (LCD) dan juga dari indikator nyala *light emitting diode* (LED) pada alat. Penyimpanan data pengukuran dan pengujian akan terekam pada *memory* SD card. Pengujian alat dilakukan terhadap stop-kontak yang berada pada ruangan-ruangan gedung C dan gedung D di Institut Teknologi Sumatera.



Gambar 1. Blok diagram keseluruhan sistem alat

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dirancang alat yang berfungsi untuk melakukan pendeteksian status pentanahan, serta melakukan pengukuran tegangan, arus, dan panjang kabel antar titik stop-kontak.

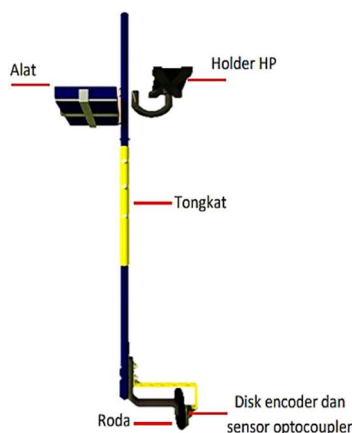
A. Perancangan Sistem

Sistem keseluruhan dari alat deteksi pentanahan yang utama adalah pembacaan sensor kompas, sensor tegangan arus dan sensor optocoupler, sedangkan sistem pendukung untuk menampilkan hasil pembacaan pada layar LCD. Pada gambar 1 terlihat blok diagram keseluruhan sistem dari alat yang dirancang.

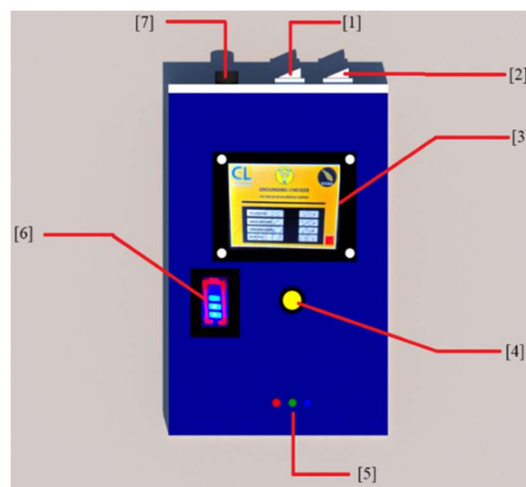
1) Desain Skematik Rangkaian

Desain rancangan skematik rangkaian dilakukan untuk melakukan konfigurasi serta menghubungkan antar komponen yang digunakan antara lain:

- *Arduino Mega 2560 pro* sebagai mikrokontroler alat pendeteksian pentanahan.
- Sensor tegangan, sensor arus, sensor kompas, dan sensor *optocoupler* sebagai inputan utama.
- modul RTC berfungsi sebagai pewaktu yang akurat saat digunakan.
- modul *wifi esp8266* dan *microsd* untuk media komunikasi ke database dan penyimpanan.
- LED, *Buzzer*, dan LCD sebagai indikator dan interface.
- DC-DC *step down* LM2596 8,4 V ke 5 V DC.
- BMS baterai 2s.



Gambar 2. Rakitan alat keseluruhan



Gambar 3. Desain tampilan box alat

2) Desain alat

Pada desain alat ini akan bentuk kotak alat yang berbahan plastik dengan tebal 2 mm, dengan memiliki LCD berwarna berukuran 2,4 inci yang terdapat pada box alat yang berguna untuk menampilkan hasil pengukuran. Box alat ini akan ditempat pada dudukan yang telah dirancang pada tongkat. Dan pada bawah tongkat terdapat roda yang memiliki briket guna menghubungkan pembacaan sensor *optocoupler* dengan roda. Pada gambar 2 dapat dilihat rakitan alat keseluruhan.

Gambar 3 menunjukkan desain tampilan box alat yang terdapat beberapa komponen penyusunnya yaitu, LCD *nextion* 2,4 inci yang terletak pada box di bagian depan (3), *push button* (4), LED indikator (5), saklar power *on/off* (1), saklar *optocoupler* (2), indikator kapasitas baterai (6) dan soket pengecasan (7).

TABEL I. PEMBACAAN STATUS PENTANAHAN.

Kondisi	Fungsi
Led merah & hijau = on	Indikator kabel ground terpasang secara Benar
Led hijau = off	Indikator ground tidak terpasang
Led hijau & biru = on	Live dan ground tertukar
Led merah & biru = on	Live dan netral tertukar
Led merah, hijau, biru = off	Tidak ada sambungan apapun

3) Pembacaan pendeteksian pentanahan

Perancangan dalam pembacaan status pentanahan pada alat ini berdasarkan rangkaian LNE yang telah

dirancang. Hal ini ditujukan untuk membaca dan mengetahui keberadaan status pentanahan pada tiap titik stop-kontak ada atau tidaknya pentanahan pada titik tersebut. Dimana akan ditampilkan indikator nyala LED yang terdiri dari LED berwarna merah, hijau, dan biru. Pembacaan status pendeteksian pentanahan dapat dilihat pada tabel I.

Pembacaan pendeteksian pentanahan pada tiap titik stop-kontak juga terdapat dalam bentuk bunyi suara dari *buzzer* yang terdapat pada alat ini, dalam perancangannya *buzzer* akan berbunyi jika terdapat sistem pentanahan pada titik stop-kontak yang dilakukan pengujian.

B. Prosedur Pengujian

Penelitian yang dilakukan terdapat enam tahapan pengujian yang akan dilakukan, yaitu pengujian pendeteksian status pentanahan, pengujian pengukuran tegangan, pengujian pengukuran panjang kabel, pengujian sensor Kompas, pengujian power supply, dan pengujian penyimpanan data pengukuran.

1) Pengujian pendeteksian status pentanahan

Pengujian pendeteksian status pentanahan yang dilakukan dengan cara menghubungkan kabel *power* pada alat ke stop-kontak, dimana pembacaan status yang dihasilkan dari rangkaian LNE yang dihubungkan dengan sebuah sensor LDR. Apabila terdapat pentanahan pada tiap stop-kontak yang diuji maka akan menghasilkan indikator dari nyala LED dan bunyi *buzzer* sebagai tanda yang akan diketahui oleh pengguna. Parameter nyala LED pada saat pembacaan status pada tabel I.

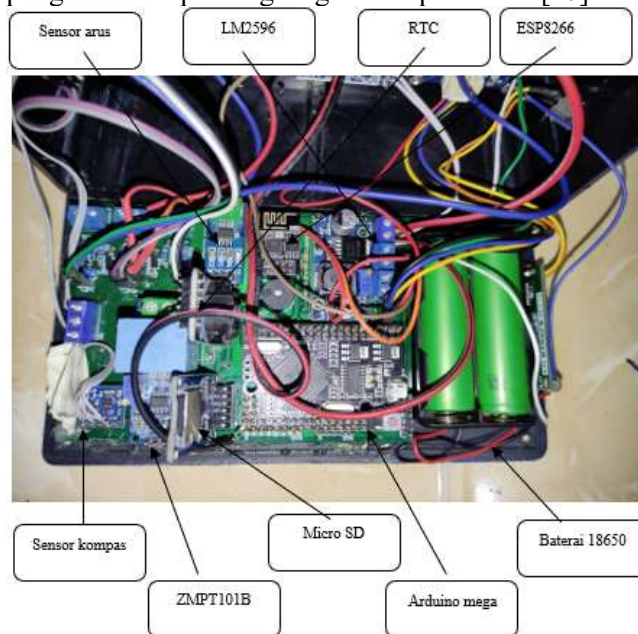
2) Pengujian sensor tegangan

Pada pengujian sensor tegangan yang akan dilakukan dengan cara menghubungkan kabel *power* alat ke stop-kontak, dimana pembacaan yang dihasilkan dari pembacaan sensor tegangan yang bertipe ZMPT101B yang telah digunakan pada alat. Hasil pengukuran yang didapatkan maka akan dibandingkan dengan multimeter digital untuk mengetahui pengukuran yang dilakukan telah benar atau tidak.

3) Pengujian panjang kabel

Pada penelitian Arif Eko Wahyudi (2015), dirancang alat ukur jarak berbasis arduino uno sebagai pengontrol utama. sensor *rotary encoder*, H38S400B

dengan 400 *counter* pulsa per putarannya, hasil pengukuran dapat langsung dilihat pada LCD[17].



Gambar 4. Komponen-komponen yang terpasang dalam *box* alat

Pada pengujian pada penelitian ini, pengukuran panjang kabel yang akan dilakukan dengan cara menjalankan roda antara titik-titik stop-kontak, dimana pengukuran yang dihasilkan dari disc *encoder* yang berputar sesuai dengan putaran roda terbaca oleh sensor *optocoupler*.

4) Pengujian sensor Kompas

Pengujian yang dilakukan hasil dari pembacaan dari sensor Kompas GY271 yang terdapat pada *box* alat yang akan diproses oleh mikrokontroler untuk menampilkan besaran nilai *bearing* Kompas, dimana pengguna sensor kompas untuk menghasilkan sudut dan arah perpindahan arah alat pada proses pemetaan.

5) Pengujian sensor Arus

Pada pengujian sensor arus yang akan dilakukan dengan cara menghubungkan kabel *power* alat ke stop-kontak, dimana pembacaan yang dihasilkan dari sensor arus yang bertipe ACS712A yang telah digunakan pada alat untuk mengukur besaran nilai arus bocor apabila terdapat gangguan pada tiap titik stop-kontak.

6) Pengujian *power supply*

Pengujian *power supply* yang dilakukan pada alat untuk mengetahui waktu pengisian ulang daya baterai dan lama pemakaian alat, pengujian ini dilakukan

dengan mengukur besaran tegangan pada saat pengisian ulang, dan pemakaian daya alat dengan multimeter digital yang dihubungkan dengan baterai yang terdapat pada alat ini. Dimana pengujian lama waktu penggunaan baterai dihitung menggunakan persamaan (1):

$$\text{Lama pengisian baterai (h)} = \frac{\text{Kapasitas baterai (Ah)}}{\text{Kapasitas charger (A)}} \quad (1)$$

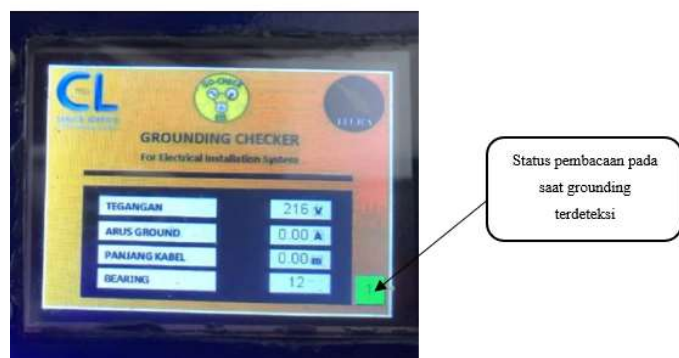
7) Pengujian penyimpanan data pengukuran

Pengujian penyimpanan data yang dilakukan guna memastikan data yang diambil pada saat pengukuran telah berhasil tersimpan dengan benar, dimana data penyimpanan secara *real time* meliputi data pengukuran tegangan, arus, panjang kabel, dan status pendeteksian pentanahan.

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Alat

Hasil implementasi berupa hasil desain skematik rangkaian pada PCB yang didesain menggunakan aplikasi, yang dilanjutkan dengan perakitan komponen pada PCB yang telah dirancang seperti terlihat pada gambar 4. Pada desain *box* alat dan tongkat alat digunakan *box* berukuran 18,2 x 11,2 x 6,2 cm berwarna biru dan untuk tongkat berukuran panjang 120 cm yang terdapat roda pada bagian bawah. Setelah seluruh komponen terpasang dan terhubung maka akan dilakukan pengecekan dengan multimeter digital untuk memastikan semua jalur dan seluruh komponen terhubung tidak terputus. Hasil rancangan keseluruhan alat dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 5. Tampilan indikator terdeteksi *grounding*.

TABEL II. HASIL DETEKSI PENTANAHAN

No	Status pendeteksian sistem pentanahan pada stop-kontak				
	Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3	Terminal 4	Terminal 5
1	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Terhubung	-
2	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Terhubung	-
3	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Terhubung	-
4	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Terhubung	-
5	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Terhubung	-
6	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Tidak terhubung
7	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Tidak terhubung
8	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Tidak terhubung
9	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Tidak terhubung
10	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Terhubung	Tidak terhubung

B. Pengujian Alat

Pengujian yang akan dilakukan bertujuan untuk mengetahui keakuratan sensor dengan parameter yang telah dirancang, dimana akan dilakukan pengujian pendeteksian pentanahan, pengukuran tegangan, arus, dan panjang kabel antar titik stop-kontak, serta pengisian daya baterai yang digunakan pada alat ini.

1) Hasil pengujian deteksi *grounding*

Dalam pengujian ini melakukan pengecekan sebanyak 5 titik stop-kontak berikut hasil pengujian pada tabel II. Hasil pengujian nomor 1 sampai 5 diuji pada ruangan-ruangan Gedung C lantai 2. Pengukuran yang dilakukan pada 4 titik stop-kontak tiap ruangan dimana dari hasil pengujian terdapat *grounding*. Pada gambar 5 dapat dilihat tampilan alat deteksi saat pengujian stop-kontak yang terpasang *grounding*.



Gambar 6. Tampilan indikator tidak terdeteksi *grounding*.

Sedangkan untuk no 6 sampai 10 pada tabel hasil pengujian yang dilakukan pada C dan D pada selasar sampai Gedung D pada titik stop-kontak ke 5 tidak terdapat *grounding*. Pada gambar 6 dapat dilihat tampilan alat deteksi saat pengujian stop-kontak yang tidak terpasang/ terhubung *grounding*.

TABEL III. HASIL PENGUKURAN TEGANGAN DENGAN ALAT.

No.	Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3	Terminal 4	Terminal 5
1	220 V	220 V	220 V	219 V	-
2	220 V	220 V	220 V	219 V	-
3	219 V	219 V	219 V	219 V	-
4	220 V	220 V	220 V	219 V	-
5	220 V	219 V	219 V	219 V	-
6	218 V	219 V	219 V	219 V	218 V
7	219 V	219 V	219 V	219 V	218 V
8	217 V	217 V	217 V	217 V	217 V
9	218 V	218 V	218 V	218 V	218 V
10	219 V	219 V	219 V	219 V	218 V

2) Hasil pengukuran tegangan

Pengujian pengukuran tegangan yang dilakukan pada tiap titik stop-kontak yang memiliki sumber tegangan sebesar 220 V, pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan kabel *power* yang terdapat pada alat ke stop-kontak. Pengukuran yang dilakukan dengan membandingkan dengan multimeter digital untuk melihat perbandingan pembacaannya untuk menghasilkan pengukuran tegangan digunakan sensor tegangan ZMPT101B yang terdapat pada alat yang memiliki kemampuan mengukur tegangan AC. Hasil pengukuran dengan alat dapat dilihat pada tabel III dan pengukuran dengan multimeter dapat dilihat pada tabel IV.

Hasil yang didapatkan dari pengujian tegangan tiap titik stop-kontak dengan membandingkan hasil pengukuran alat yang dirancang dengan multimeter digital didapatkan rata-rata keberhasilan 99,72 % dalam melakukan pengukuran tegangan, sedangkan, nilai galat yang didapatkan sebesar 0,28.

TABEL IV. HASIL PENGUKURAN TEGANGAN DENGAN MULTIMETER.

No.	Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3	Terminal 4	Terminal 5
1	220 V	220 V	220 V	220 V	-
2	220 V	220 V	220 V	220 V	-
3	220 V	220 V	220 V	220 V	-
4	220 V	220 V	220 V	220 V	-
5	220 V	220 V	221 V	220 V	-
6	221 V	221 V	220 V	220 V	220 V
7	221 V	220 V	220 V	220 V	220 V
8	220 V	220 V	220 V	220 V	220 V
9	221 V	220 V	220 V	220 V	220 V
10	220 V	220 V	220 V	220 V	220 V

TABEL V. HASIL PERBANDINGAN PENGUKURAN ALAT & METERAN

No.	Jarak pengukuran alat (m)	Jarak sebenarnya (m)	Selisih jarak (m)
1	81	80,4	0,6
2	80	80,4	0,4
3	80	80,4	0,4
4	80	80,4	0,4
5	80	80,4	0,4
6	83	83,42	0,42
7	83	83,42	0,42
8	83	83,42	0,42
9	83	83,42	0,42
10	83	83,42	0,42

3) Hasil pengujian pengukuran panjang kabel

Pada pengukuran panjang kabel dilakukan dengan cara mengukur jarak antar titik stop-kontak dengan menjalankan roda pada alat. Sensor *optocoupler* menghasilkan data jarak tersebut terakumulasi menjadi total panjang kabel. Dari hasil total jarak yang terukur diasumsikan menjadi panjang kabel. Pada tabel V hasil pengukuran alat dibandingkan juga dengan pengukuran menggunakan meteran.

Pembacaan panjang kabel antar stop-kontak berdasarkan hasil *sensing* dari *disc encoder* yang melewati sensor *optocoupler*. Sensor ini dapat bekerja ketika lubang yang ada pada *disc encoder* melewati *infrared* dari sensor *optocoupler*. Pada *disc encoder* terdapat 20 lubang sehingga dalam 1 kali putaran roda terdapat 20 *counter*. Secara persentase keberhasilan berdasarkan pada galat terbesar, nilai keberhasilan pengujian sudah mencapai 99,26%. Hal ini sudah sangat baik karena ketepatan pengukuran sudah mendekati 100%.

4) Hasil pengujian gangguan arus bocor

Pada pengujian gangguan arus bocor sensor yang akan digunakan sebagai komponen pengukur besaran arus bocor menggunakan *current* sensor ACS712A, sensor ini dapat mengukur batas maksimal arus bocor apabila terdapat gangguan pada setiap titik stop-kontak yang diukur dalam melakukan pengujian sebesar 5 A. Berikut data pengukuran yang dilakukan pada tiap titik stop-kontak dapat dilihat pada tabel VI.

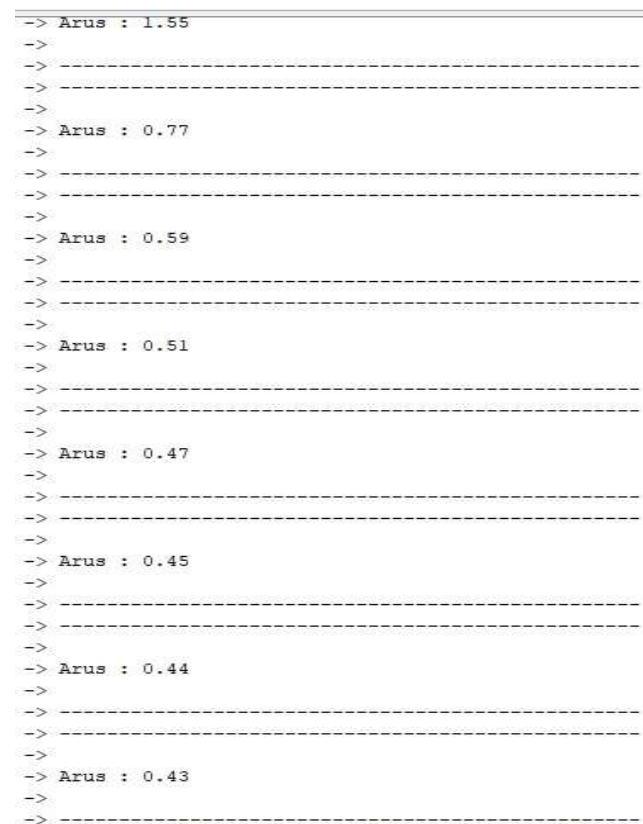
TABEL VI. DATA PENGUKURAN ARUS BOCOR

No.	Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3	Terminal 4	Terminal 5
1	0 A	0 A	0 A	0 A	-
2	0 A	0 A	0 A	0 A	-
3	0 A	0 A	0 A	0 A	-
4	0 A	0 A	0 A	0 A	-
5	0 A	0 A	0 A	0 A	-
6	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A

7	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A
8	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A
9	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A
10	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A

Dalam tabel VI terlihat hasil pengujian arus bocor pada gedung C dan gedung D ITERA, tidak ditemukan gangguan arus bocor dimana besar arus pada tiap titik stop-kontak sebesar 0 ampere, membuktikan bahwa pada Gedung C dan D ITERA tidak ada gangguan arus bocor. Untuk membuktikan bahwa sensor ACS712A berfungsi baik dan tidak mengalami kegagalan fungsi dalam pengukuran besaran nilai arus, maka percobaan dengan beban diujikan. Percobaan dilakukan dengan memberikan beban bor listrik yang memiliki beban sekitar 300-watt hasil pengukuran yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 7.

Besaran arus yang terukur membuktikan sensor arus ACS dapat mengukur arus berfungsi dengan baik, hasil yang terukur dimana *start* awal bor listrik hidup sebesar 1,55 A dan 0,43 A saat akan berhenti berputar. Pengukuran arus *start* lebih besar dikarenakan *start* awal motor bor listrik besar setelah beberapa waktu akan konstan turun dan stabil.



Gambar 7. Tampilan indikator terdeteksi *grounding*.

TABEL VII. HASIL PEMBACAAN SENSOR KOMPAS ALAT.

No.	Arah kompas alat antar stopkontak (derajat)					Arah kompas hp antar titik stopkontak (derajat)				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
1	14	354	269	267	-	13	355	271	266	-
2	14	358	271	266	-	13	355	271	266	-
3	12	353	269	267	-	13	355	271	266	-
4	14	356	270	268	-	13	355	271	266	-
5	12	356	272	267	-	13	355	271	266	-
6	272	271	265	185	290	269	271	266	186	290
7	271	268	268	185	291	269	271	266	186	290
8	268	271	263	186	290	269	271	266	186	290
9	270	270	264	185	290	269	271	266	186	290
10	271	270	267	185	291	269	271	266	186	290

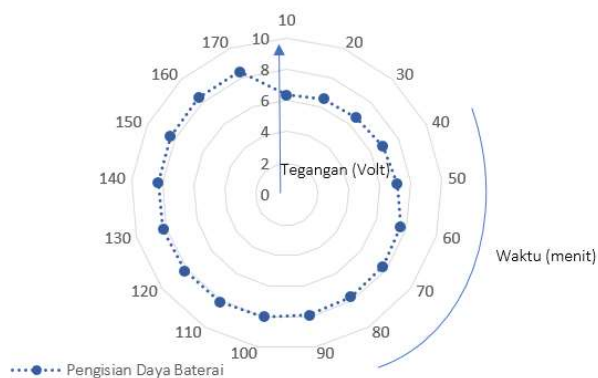
5) Hasil pengujian sensor Kompas

Pada pengujian sensor kompas yang akan digunakan sebagai penentu arah perpindahan dan pembuatan sudut pada pemetaan panjang kabel, yang dihasilkan dari sensor kompas berupa nilai *bearing* yang berkisar dari 0 derajat sampai 360 derajat. Untuk nilai *bearing* yang didapatkan sesuai dengan posisi keadaan alat, untuk memastikan apakah benar pembacaan kompas pada alat maka, dibandingkan dengan pembacaan kompas dari HP pengguna. Hasil pembacaan kompas yang dilakukan dalam pengujian ini dapat dilihat pada tabel VII.

Hasil kompas yang terkam dapat diimplementasikan pada pemetaan. Pengaruh hasil dari pembacaan kompas akan terlihat jelas untuk proses pemetaan terutama pada saat sudut perpindahan arah posisi alat. Hasil pemetaan yang didapatkan dari plot titik dari sensor kompas dan dikombinasikan dengan pembacaan sensor *optocoupler* untuk pembacaan jarak antar titik.

6) Hasil Pengujian *Power Supply*

Pengujian *power supply* bertujuan untuk mengetahui waktu penggunaan baterai pada alat ini, dan juga mengetahui waktu untuk mengisi ulang daya yang telah habis sampai terisi kembali.



Gambar 8. Grafik pengisian daya baterai.

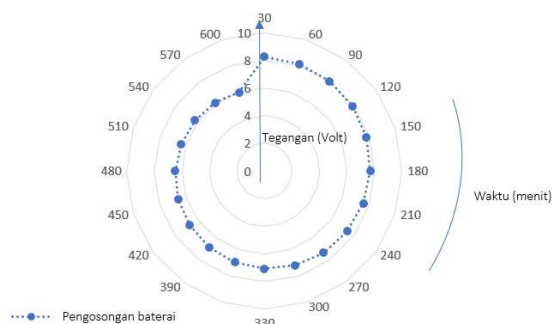
Alat yang digunakan pada pengujian untuk mengukur tegangan menggunakan multimeter digital dan alat pewaktu untuk memberikan jeda waktu pengukuran secara berkala.

- Pengujian Pengisian Daya Baterai

Berikut hasil pengisian daya baterai yang telah didapatkan pengujian ini menggunakan adaptor charger yang digunakan pada pengecasan ini dengan spesifikasi 9V 1A dengan interval waktu pengukuran tegangan yang dilakukan setiap 10 menit. Adapun hasil data pengecasan terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 8. Pengujian pengisian daya baterai alat yang menggunakan baterai bertipe 18650 mAh sebanyak 2 buah yang dihubungkan secara seri, pada pengujian ini digunakan adaptor *charger* yang memiliki keluaran tegangan sebesar 9 volt dan arus sebesar 1 ampere. Pengisian dilakukan pada saat kondisi baterai kosong atau tegangan terendahnya agar pengisian maksimal sampai kondisi baterai penuh. Berdasarkan perhitungan lama waktu pengecasan daya baterai dari kondisi kosong sampai penuh adalah 2 jam 48 menit. Sedangkan lama waktu secara *real time* didapatkan 2 jam 50 menit.

- Pengujian lama pemakaian daya baterai pada alat

Pengujian dilakukan ditujukan agar mengetahui berapa lama waktu alat dioperasikan. Pengujian ini menggunakan alat ukur multimeter untuk mengetahui tegangan baterai saat menggunakan alat. Interval waktu pengukuran yang dilakukan setiap 30 menit penggunaan seperti terlihat pada gambar 9. Dari pengujian penggunaan alat terhadap waktu, alat ini mampu digunakan dalam jangka waktu ± 10 jam.



Gambar 9. Grafik pemakaian daya baterai.

Date/Time	Terminal	Voltage	Current	Power	Energy
Jumat,12.11.2021 18:32:09	Terminal: 1	0V	0.00A	0.00m	0
Jumat,12.11.2021 18:32:27	Terminal: 2	0V	0.00A	3.37m	0
Kamis,18.11.2021 14:23:49	Terminal: 1	220V	0.00A	0.00m	1
Kamis,18.11.2021 14:26:05	Terminal: 1	220V	0.00A	0.00m	1
Kamis,18.11.2021 14:28:45	Terminal: 2	219V	0.00A	41.75m	1
Kamis,18.11.2021 14:29:30	Terminal: 3	220V	0.00A	51.46m	1
Kamis,18.11.2021 14:31:01	Terminal: 4	219V	0.00A	80.27m	1
Kamis,18.11.2021 14:43:25	Terminal: 1	220V	0.00A	0.00m	1
Kamis,18.11.2021 14:45:17	Terminal: 2	219V	0.00A	41.33m	1
Kamis,18.11.2021 14:45:48	Terminal: 3	219V	0.00A	51.06m	1
Kamis,18.11.2021 14:47:28	Terminal: 4	218V	0.00A	78.97m	1
Kamis,18.11.2021 14:52:11	Terminal: 1	220V	0.00A	0.00m	1
Kamis,18.11.2021 14:54:24	Terminal: 2	218V	0.00A	41.16m	1
Kamis,18.11.2021 14:55:41	Terminal: 3	216V	0.00A	51.29m	1
Kamis,18.11.2021 14:57:29	Terminal: 4	216V	0.00A	78.85m	1
Kamis,18.11.2021 14:57:48	Terminal: 5	215V	0.00A	78.85m	1
Kamis,18.11.2021 15:08:30	Terminal: 1	221V	0.00A	0.00m	0

Gambar 10. Hasil penyimpanan data pengukuran.

7) Hasil pengujian penyimpanan data pengukuran pada microSD

Data pengukuran yang telah dilakukan akan tersimpan pada sistem penyimpanan yang telah dirancang menggunakan kartu memori. Hasil data pengukuran tegangan, arus, status pentanahan, dan panjang kabel terlihat pada gambar 10.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dijelaskan seluruh perancangan dan implementasi dari alat deteksi pentanahan. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan dalam percobaan pengujian pendeteksian pentanahan tiap stop-kontak dapat dilakukan dengan baik dimana hasil pendeteksian tampil secara akurat sesuai perancangan yang diharapkan. Pengukuran panjang kabel yang menggunakan sensor optocoupler telah berhasil diimplementasikan dengan baik, dimana hasil pengukuran alat dan pengukuran dengan meteran memiliki tingkat keakuratan yang baik mendekati 100% yakni 99,26%. Keseluruhan hasil data pengukuran dapat disimpan pada kartu memori yang mudah dibaca hasil pendataannya. Lama penggunaan alat dalam melakukan pencatatan data atau inspeksi deteksi pentanahan bisa hingga 10 jam merupakan waktu yang cukup lama digunakan untuk pemeriksaan kondisi pentanahan dengan alat ini.

REFERENSI

[1] J. Jamaaluddin and S. Sumarno, "Perencanaan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik Terintegrasi Pada Bangunan," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–33, 2017.
 [2] T. Siahaan and S. Lala, "Studi Pembumian

- Peralatan Dan Sistem Instalasi Listrik Pada Gedung Kantor BICT PT. Pelindo I (Persero) Belawan,” *J. Tek. Elektro*, vol. VIII, no. 2, pp. 96–101, 2019.
- [3] TS.Hutauruk, *Pengetanahan Netral Sistem tenaga & Pengetanahan peralatan*, 2nd ed. Jakarta: Erlangga, 1991.
- [4] R. Harahap, R. Nasution, and S. Ramadhani, “Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan di Gedung dan di Gardu induk pada Rumah Sakit Grand Mitra Medika Medan,” *J. Electr. Technol.*, vol. 6, no. 3, 2021.
- [5] A. Budiman, “Analisa Tahanan Pembumian Peralatan Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan Yang Menggunakan Elektrode Pasak Tunggal Panjang 2 Meter,” *J. Penelit. Enj.*, vol. 21, no. 1, pp. 75–80, 2017.
- [6] J. Arifin, “Pengukuran Nilai Grounding Terbaik Pada Kondisi Tanah Berbeda,” *J. ELTIKOM*, vol. 5, no. 1, pp. 40–47, 2021.
- [7] Fauzi and Radhiah, “Peran tahanan pentanahan pada peralatan listrik,” *J. LITEK J. List. Telekomun. Elektron.*, vol. 18, no. 1, pp. 28–33, 2021.
- [8] A. Budiman, “Pengaruh Resistansi Pembumian Terhadap Prakiraan Jangka Pendek Biaya Instalasi Sistem Pembumian Peralatan Pada Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan,” *J. Borneo Saintek*, vol. 1, no. Nomor 1, pp. 79–86, 2018.
- [9] A. Santoso, A. Herawati, and Y. S. Handayani, “Analisis Sistem Pentanahan Instalasi Listrik Gedung Lembaga Pemasarakatan Kelas IIA Bengkulu,” *J. Amplif.*, vol. 10, no. 2, pp. 28–33, 2020.
- [10] A. Zainuri, “Grounding Instalasi Listrik Pasca Umur 15 Tahun di Perumahan Taman Bukit Klepu,” Universitas Negeri Semarang, 2016.
- [11] Hasrul, “Evaluasi Sistem Pembumian Instalasi Listrik Domestik di Kabupaten Barru,” *MEDIA Elektr.*, vol. 5, no. 1, 2010.
- [12] Panitia Revisi PUIL 1987, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik*. Jakarta: PLN, 2000.
- [13] R. Defi M.P, “Perancangan Alat Ukur Impedansi Pembumian,” *J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 128–135, 2011.
- [14] H. Firdaus, “Rancang Bangun Alat Ukur Tahanan Tanah (Earth Meter) Digital,” *J. Soshum Insentif*, pp. 35–42, 2018.
- [15] M. Sokol, “Failures in Outlet Testing Exposed,” *Electrical Construction & Maintenance (EC&M)*, Overland Park, KS, 2013.
- [16] Z. Nurbekova, T. Tolganbaiuly, B. Nurbekov, A. Sagimbayeva, and Z. Kazhiakparova, “Project-based learning technology: An example in programming microcontrollers,” *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, vol. 15, no. 11, pp. 218–227, 2020.
- [17] A. E. Wahyudi, “Perancangan Dan Pembuatan Alat Ukur Jarak Digital Berbasis Arduino Menggunakan Sensor Rotary Encoder,” *Univ. Muhammadiyah Surakarta*, p. 4, 2015.

Implementasi GOOSE (IEC61850) pada Sistem Otomasi Gardu Induk di PLN UPDL Semarang

Muhammad Said Al Manshury¹

PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pendidikan dan Pelatihan (UPDL) Semarang¹
m.said@pln.co.id¹

ABSTRACT

PLN has implemented a lot of Substation Automation Systems (SAS), especially at new substations or extension new bays to conventional substations. The Implementation of SAS cannot be separated from the IEC 61850 protocol which is a standard protocol in SAS. One of the important communications in the IEC 61850 protocol is GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event). In GOOSE known GOOSE publisher and GOOSE subscriber. The steps taken in this research are literature review, configuration of GOOSE publisher, GOOSE subscriber, and testing. Based on the results of the testing that have been carried out at the SCADA PLN UPDL Semarang laboratory, the results obtained that the GOOSE publisher (Schneider protection IED type P141) can send data to the ethernet network (IEC 61850) and the GOOSE subscriber (Siemens IED controller / BCU type 7SJ642) can receive data from GOOSE publisher. This GOOSE can be implemented on IEDs that both support IEC 61850 even though they are from different brands / manufacturers. For its implementation in the field, GOOSE can be used for interlocking, tripping, blocking and others, this GOOSE replaces the hardwire. With the implementation of GOOSE on the Substation Automation System, it is expected to reduce the costs and time for the hardwire installation. In this research, it can be concluded that GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) was successfully implemented in the SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) laboratory at PLN UPDL Semarang.

Keywords : GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event), IEC 61850, SAS (Substation Automation System)

INTISARI

PLN sudah banyak menerapkan Sistem Otomasi Gardu Induk (SOGI), khususnya pada gardu induk baru ataupun penambahan bay baru pada Gardu Induk konvensional. Penerapan SOGI ini tentunya tidak lepas dari protokol IEC 61850 yang merupakan protokol standar pada SOGI. Salah satu komunikasi yang penting dalam protokol IEC 61850 ini adalah GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*). Dalam GOOSE dikenal GOOSE *publisher* dan GOOSE *subscriber*. Langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kajian literatur, konfigurasi GOOSE *publisher*, GOOSE *subscriber*, dan pengujian. Berdasarkan uji coba yang telah dilakukan di laboratorium SCADA PLN UPDL Semarang, diperoleh hasil bahwa GOOSE *publisher* (IED proteksi merk Schneider tipe P141) dapat mengirimkan data ke jaringan ethernet (IEC 61850) dan GOOSE *subscriber* (IED controller / BCU merk Siemens tipe 7SJ642) bisa menerima data dari GOOSE *publisher*. GOOSE ini dapat diimplementasikan pada IED yang sama-sama mendukung IEC 61850 walaupun dari merk/pabrikasi yang berbeda. Untuk implementasinya di lapangan, GOOSE dapat digunakan untuk *interlocking*, *tripping*, *blocking* dan lain-lain, di mana GOOSE ini menggantikan *hardwire*. Dengan implementasi GOOSE pada Sistem Otomasi Gardu Induk (SOGI) diharapkan dapat mengurangi biaya dan waktu untuk instalasi *hardwire*. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) berhasil diimplementasikan di laboratorium SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) di PLN UPDL Semarang.

Kata kunci: GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*), IEC 61850, SOGI (Sistem Otomasi Gardu Induk)

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini di PLN sudah banyak menerapkan Sistem Otomasi Gardu Induk (SOGI). SOGI ini dibangun khususnya pada gardu induk baru ataupun

penambahan bay baru pada Gardu Induk konvensional ataupun saat rehabilitasi Gardu Induk. SOGI atau SAS (*Substation Automation System*) adalah sistem untuk mengelola, mengendalikan, dan proteksi sistem tenaga listrik, hal ini dapat dicapai dengan mengambil

informasi *real time* dari sistem, didukung oleh aplikasi *local* dan *remote control* yang handal dan proteksi sistem tenaga listrik [1].

Di PLN, protokol yang wajib digunakan dalam SOGI adalah IEC 61850 [2]. IEC 61850 adalah standar komunikasi untuk Sistem Otomasi Gardu Induk (SOGI). IEC 61850 ini mendefinisikan model informasi dan layanan yang digunakan untuk komunikasi antara *Intelligent Electronic Device* (IED) di gardu induk [3]. IEC 61850 merupakan keluarga standar komunikasi yang menetapkan protokol penamaan perangkat, data dan jaringan komunikasi yang terkait dengan otomatisasi gardu tenaga listrik. Hal ini telah diadopsi oleh utilitas di seluruh dunia untuk komunikasi data di Gardu Induk [4]. Komunikasi yang ada pada IEC 61850 diantaranya MMS (*Manufacturing Message Specification*), GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) dan SV (*Sample Value*) [5].

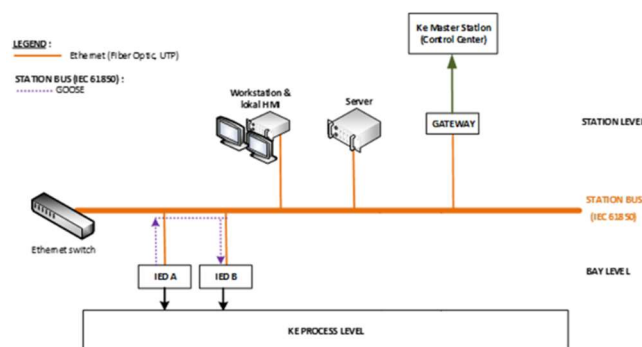
GOOSE digunakan dalam Sistem Otomasi Gardu Induk untuk transfer sinyal antar IED yang lebih cepat. Umumnya, GOOSE mampu mengarahkan sinyal transfer untuk *interlocking* atau *blocking* antar IED [6]. Pada Gardu Induk konvensional, komunikasi antar bay atau antar *device* menggunakan *hardwire*, sedangkan pada Sistem Otomasi Gardu Induk komunikasi antar bay atau antar *device* dapat menggunakan GOOSE [7].

Dalam Sistem Otomasi Gardu Induk, GOOSE dapat difungsikan untuk menggantikan *hardwire* yang digunakan untuk komunikasi antar bay atau antar *device*. Pada Gardu Induk konvensional jika akan mengirimkan suatu status peralatan, menggunakan *hardwire*, sedangkan pada SOGI bisa tanpa *hardwire* tersebut, akan tetapi status tersebut dikirimkan secara digital melalui jaringan ethernet IEC 61850 yaitu dengan GOOSE. Sehingga dengan penggunaan GOOSE ini diharapkan akan lebih efektif dan efisiensi dalam instalasi *hardware* saat pembangunan gardu induk baru atau penambahan bay baru, karena akan menghemat waktu dan biaya instalasi *hardwire*. GOOSE ini dapat dipergunakan untuk *interlocking*, *tripping*, *blocking* dan lain-lain

II. LANDASAN TEORI

Perangkat IED yang berkomunikasi menggunakan GOOSE dapat beroperasi dalam mode *publisher* dan *subscriber*. Operasi pengiriman dan penerimaan GOOSE antar IED ini melalui *ethernet switch* [8].

Pada komunikasi menggunakan GOOSE ada yang bertindak sebagai *GOOSE publisher* dan ada yang bertindak sebagai *GOOSE subscriber*. *GOOSE publisher* adalah IED/*device* yang mengirimkan/menyediakan data sedangkan *GOOSE subscriber* adalah IED/*device* yang menerima/meminta data. *GOOSE message* dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. GOOSE message

Sistem Otomasi Gardu Induk (SOGI) dibagi menjadi 3 level yaitu *station level*, *bay level* dan *process level*. *Station level* terdiri dari *server*, *workstation* dan *gateway*. Sedangkan *bay level* terdiri dari banyak IED (IED proteksi, IED *controller*/BCU, dan IED lainnya). Sedangkan *process level* terdiri dari *Circuit Breaker* (CB), *Disconnecting Switch* (DS), *Earthing Switch* (ES), *Current Transformer* (CT), *Voltage Transformer* (VT) dan peralatan lainnya yang ada di *switchyard*. *Station bus* menyediakan komunikasi antara peralatan di *station level* dengan peralatan di *bay level* [9].

Pada *station level*, *server* digunakan untuk mengambil data (status, pengukuran, dan kontrol) dari IED-IED lewat protokol IEC 61850, sedangkan *workstation* digunakan untuk menampilkan data-data yang sudah dikumpulkan oleh *server*. *Gateway* merupakan *protocol converter*, pada satu sisi menggunakan protokol IEC 61850 dan di sisi lain menggunakan protokol yang lain (contohnya IEC 60870-5-101) [10]. *Gateway* ini digunakan untuk mengambil data (status, pengukuran, dan kontrol) dari IED-IED lewat protokol IEC 61850 dan dikirimkan melalui protokol IEC 60870-5-101 atau IEC 60870-5-104 atau DNP3.

Pada *bay level*, IED digunakan untuk mengambil data (status, pengukuran, dan kontrol) secara langsung ke peralatan yang ada di *process level* (CB, DS, ES, CT, VT dan peralatan lainnya). Pengambilan datanya

ini biasanya menggunakan *hardwire*, sedangkan untuk gardu induk yang sudah digital (*Digital Substation*), pengambilannya menggunakan protokol IEC 61850 (*GOOSE* dan *Sample Value/SV*).

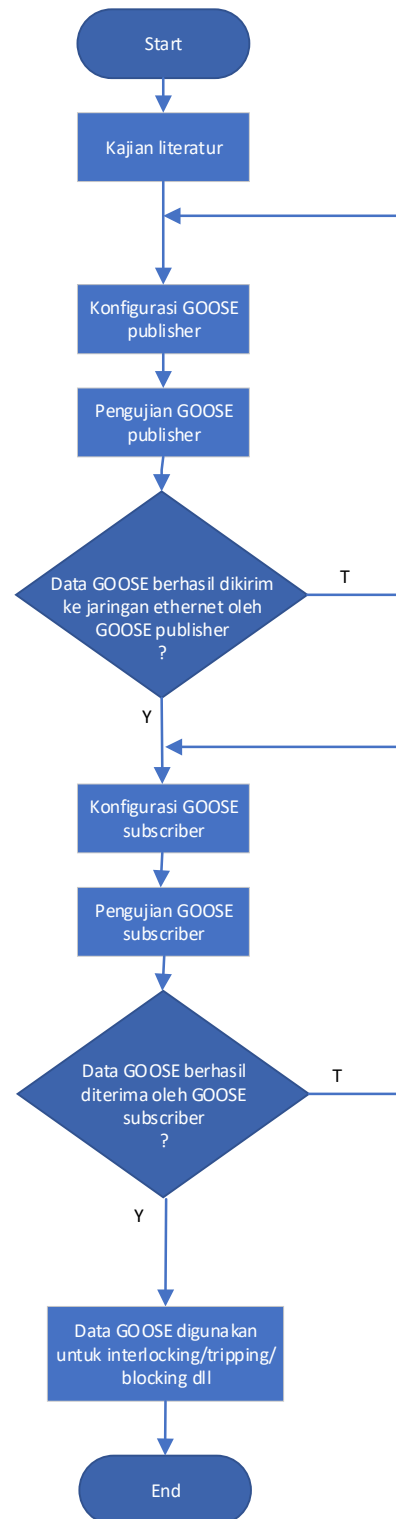
Pada gambar 1 di atas terlihat komunikasi *GOOSE* antara IED A dan IED B, di mana IED A sebagai *GOOSE publisher*, dan IED B sebagai *GOOSE subscriber*. IED A mengambil data secara langsung ke peralatan di *process level* menggunakan *hardwire*. Lalu IED A mengirimkan data tersebut lewat komunikasi digital. Komunikasi digital ini menggunakan protokol IEC 61850 yaitu berupa *GOOSE*. Komunikasi digital ini merupakan salah satu kelebihan dari IEC 61850. Komunikasi digital akan menggantikan *hardwire* (kabel) tradisional antar perangkat [11].

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan uji coba secara langsung di laboratorium SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) di PLN UPDL Semarang, yaitu pada peralatan SOGI (Sistem Otomasi Gardu Induk). Langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi kajian literatur, konfigurasi *GOOSE publisher*, konfigurasi *GOOSE subscriber*, dan pengujian, seperti yang terlihat pada gambar 2 di bawah ini.

Kajian literatur tentang *GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event)* dilakukan sebelum melakukan uji coba. Dalam penelitian ini perlu dipelajari juga cara melakukan konfigurasi *GOOSE* pada IED. Baik itu konfigurasi pada *GOOSE publisher* maupun konfigurasi pada *GOOSE subscriber*.

Langkah selanjutnya adalah melakukan konfigurasi pada *GOOSE publisher*. Lalu dilakukan pengujian untuk memastikan bahwa *GOOSE message* berhasil dikirimkan ke jaringan ethernet. Jika belum berhasil, lakukan pengecekan dan lakukan konfigurasi ulang pada *GOOSE publisher*. Jika *GOOSE message* sudah berhasil dikirimkan ke jaringan ethernet, maka dilanjutkan dengan melakukan konfigurasi pada *GOOSE subscriber*. Lalu lakukan pengujian untuk memastikan bahwa *GOOSE message* sudah berhasil diterima oleh *GOOSE subscriber*. Jika data belum diterima oleh *GOOSE subscriber*, lakukan konfigurasi ulang pada *GOOSE publisher*. Jika data sudah diterima oleh *GOOSE subscriber*, maka *GOOSE message* dapat digunakan untuk keperluan seperti *interlocking*, *tripping*, *blocking* dan lain-lain.



Gambar 2. Diagram alir metode penelitian

Masing-masing pabrikan IED, mempunyai *software* dan cara konfigurasi *GOOSE* yang berbeda. Akan tetapi secara umum untuk konfigurasi untuk

GOOSE publisher dan *GOOSE subscriber* adalah sebagai berikut.

Cara konfigurasi *GOOSE publisher* :

1. Tentukan **IED name** (*case sensitive*) : dalam satu jaringan ethernet IEC 61850, masing-masing *IED name* harus unik
2. Tentukan **MAC address** : dalam satu jaringan ethernet IEC 61850, masing-masing *MAC address* IED sebaiknya unik, karena ada beberapa pabrikan yang bermasalah ketika *MAC address*-nya tidak unik.
3. Buat **DataSet** : yang berisi data-data yang akan dikirimkan melalui GOOSE. Data yang dikirimkan melalui GOOSE biasanya berupa *DA/Data Attribute*. Berapa jumlah DataSet dan data apa saja yang dikandung dalam Dataset, dibuat sesuai kebutuhan.
4. Buat **GOOSE** : GOOSE berisi DataSet. Jumlah GOOSE dan DataSet, dibuat sesuai kebutuhan. Tidak seperti *report* pada MMS (di mana 1 *report* hanya bisa untuk 1 *client*), pada GOOSE, 1 GOOSE bisa digunakan untuk banyak *subscriber*.

Cara konfigurasi *GOOSE subscriber* :

1. Ambil file *SCL-Substation Configuration Language* (CID, ICD, IID) dari IED yang menjadi *GOOSE publisher*. File SCL ini merupakan file konfigurasi IEC 61850 dari satu atau beberapa IED yang ada pada SOGI.
2. Import file SCL tersebut menggunakan *software ICT-IED Configurator Tool* (software konfigurator dari IED yang menjadi *GOOSE subscriber*)
3. Pilih GOOSE yang akan diambil : 1 GOOSE bisa digunakan untuk banyak *subscriber*.
4. *Mapping* data yang dikirimkan oleh *GOOSE publisher* ke dalam database/konfigurasi IED yang menjadi *GOOSE subscriber* : *mapping* ini bisa diartikan *mapping* ke *virtual input* yang ada di IED *subscriber*, di mana *virtual input* ini akan diproses lebih lanjut, misalnya untuk *interlocking*, *tripping*, *blocking* dan lain-lain.

Cara setting *GOOSE publisher* dan *GOOSE subscriber* secara umum adalah seperti di atas, akan tetapi teknis pelaksanaan untuk masing-masing pabrikan/merk berbeda-beda.

Selain konfigurasi di atas, parameter-parameter pada GOOSE yang perlu diperhatikan adalah *application ID*, *GOOSE ID* dan *Configuration revision*.

Langkah setelah melakukan konfigurasi adalah pengujian, untuk memastikan hasilnya sesuai dengan yang diharapkan yaitu data (misalnya data status) yang dikirimkan oleh *GOOSE publisher* diterima dengan baik oleh *GOOSE subscriber*. Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang sudah ada. Pada penelitian sebelumnya untuk melakukan monitoring *GOOSE message*, menggunakan *Logical Node* LGOS (*GOOSE subscription*). *Logical Node* (LN) adalah bagian terkecil dari fungsi yang bertukar data dan LN ini merupakan objek yang ditentukan oleh data dan metodenya. *Logical Node* (LN) ini diatur dalam IEC 61850-7-4 [12]. Dengan menggunakan LGOS dimungkinkan untuk mengawasi *GOOSE message* untuk mendeteksi masalah di *publisher* atau *subscriber* [13]. Penggunaan *Logical Node* LGOS ini sangat memudahkan dalam melakukan supervisi *GOOSE message*, akan tetapi LGOS ini baru ada pada IEC 61850 edisi 2 ke atas dan sifatnya *optional*, artinya tidak semua pabrikan mengimplementasikannya. Sehingga penggunaan LGOS tidak selalu bisa digunakan untuk pengecekan *GOOSE message*, tetapi hanya bisa digunakan pada peralatan IED yang mendukung LGOS.

Sedangkan pada penelitian ini, pengujian *GOOSE message* menggunakan *Logical Node* (LN) GGIO (*Generic process I/O*) di mana LN GGIO ini merupakan *virtual input* pada *GOOSE publisher* yang digunakan untuk menampung data dari *GOOSE message* yang dikirim oleh *GOOSE publisher*. Kelebihan dari pengecekan *GOOSE message* menggunakan LN GGIO ini adalah dapat diterapkan ke semua peralatan IED dan pada semua edisi IEC 61850, karena semua peralatan IED dan semua edisi IEC 61850 mendukung LN GGIO ini.

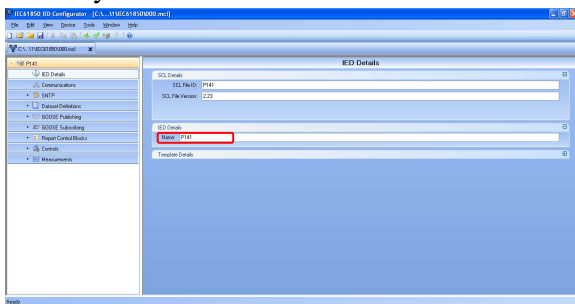
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Komunikasi GOOSE yang akan diujicobakan dalam penelitian di laboratorium SCADA UPDL Semarang ini adalah komunikasi 2 IED dari pabrikan yang berbeda, yaitu IED proteksi merk Scheneider tipe P141 dengan IED controller (BCU-Bay Control Unit) merk Siemens tipe 7SJ642. Pada penelitian ini IED proteksi merk Scheneider tipe P141 difungsikan sebagai *GOOSE publisher* (pengirim data) dan IED controller (BCU) merk Siemens tipe 7SJ642 difungsikan sebagai *GOOSE subscriber* (penerima data).

Untuk melakukan konfigurasi pada IED proteksi merk Scheneider tipe P141 membutuhkan *software* ICT (*IED Configurator Tool*) yaitu *Micom SI Studio*, sedangkan untuk melakukan konfigurasi pada IED controller (BCU) merk Siemens tipe 7SJ642 memerlukan *software* *Digs*.

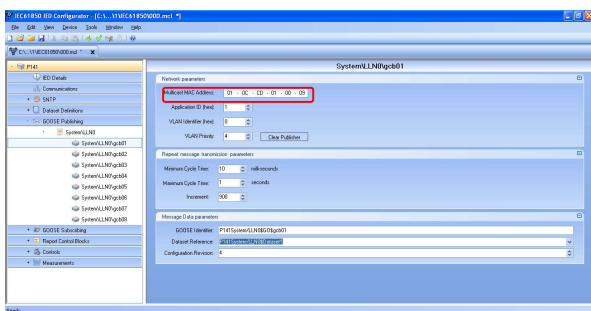
Langkah pertama yang harus dilakukan adalah melakukan konfigurasi pada IED proteksi merk Scheneider tipe P141 sebagai *GOOSE publisher*. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Tentukan *IED name* (*case sensitive*) : misal IED name-nya adalah P141.



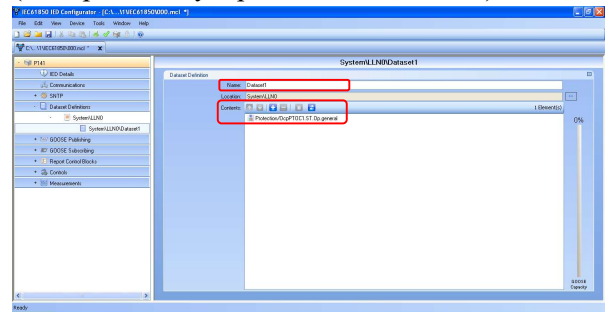
Gambar 3. Konfigurasi - IED name

2. Tentukan *MAC address* : misal *MAC address*-nya adalah 01-0C-CD-01-00-09



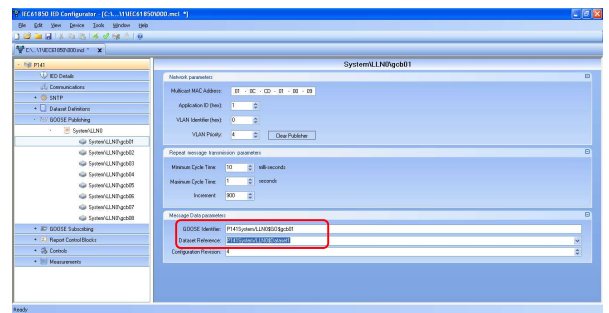
Gambar 4. Konfigurasi – MAC Address

3. Buat *DataSet* dan tambahkan *data-data* ke dalam *DataSet* yang akan dikirimkan melalui GOOSE : misal nama *DataSet*-nya adalah Dataset1, dengan isi data setnya adalah : **Protection/OcpPTOC1.ST.Op.general** (merupakan sinyal proteksi *over current*)



Gambar 5. Konfigurasi - DataSet

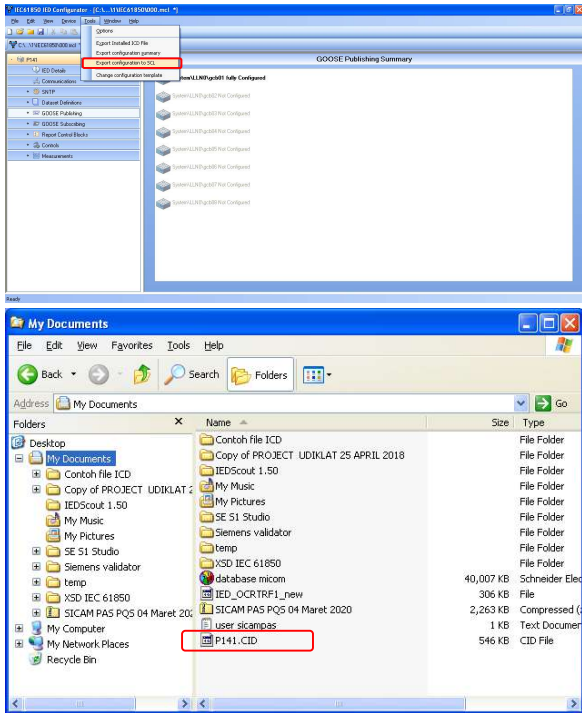
4. Buat GOOSE dan pilih DataSet yang akan dikirimkan melalui GOOSE tersebut



Gambar 6. Konfigurasi - GOOSE

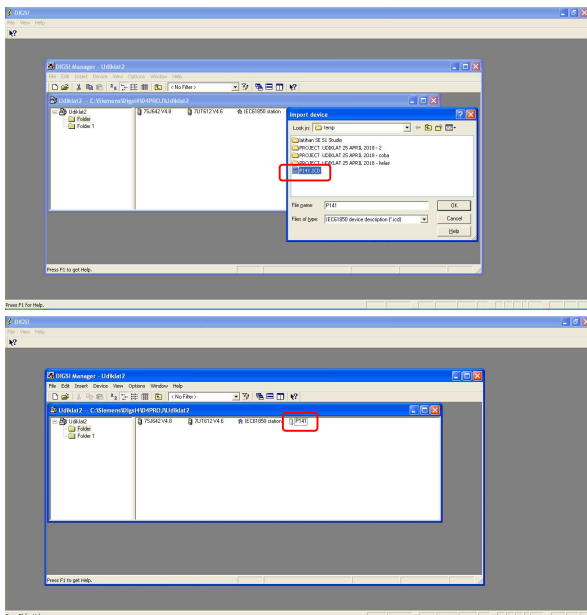
Langkah kedua yang harus dilakukan adalah melakukan konfigurasi pada IED controller (BCU) merk Siemens tipe 7SJ642 sebagai *GOOSE subscriber*. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Ambil file *SCL-Substation Configuration Language* (CID, ICD, IID) dari IED yang menjadi *GOOSE publisher*.



Gambar 7. Konfigurasi – Ambil File SCL

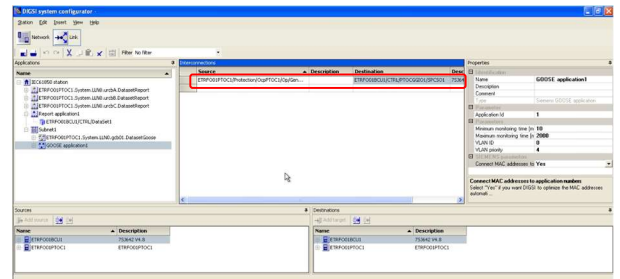
2. Import file SCL tersebut menggunakan *software ICT-IED Configurator Tool* dari *GOOSE subscriber*



Gambar 8. Konfigurasi – Import file SCL

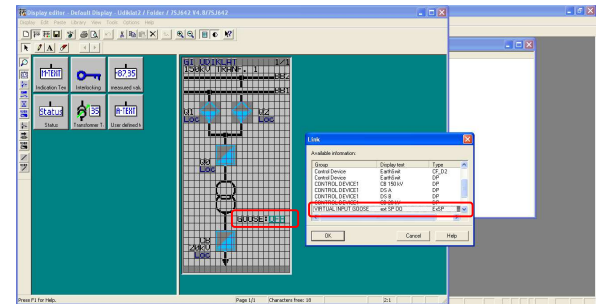
3. Pilih data dari *GOOSE publisher* yang akan diambil, sebagai *source*.

- Data dari *GOOSE publisher* yang akan diambil adalah **P141.Protection.OcpPTOC1.general**
4. Mapping data dari *GOOSE publisher* ke ke *virtual input*, sebagai *destination*.
 Misalnya *virtual input* yang digunakan di *GOOSE subscriber* adalah :
ETRFBCU1.CTRL.PTOCGGIO.SPCSO1



Gambar 9. Konfigurasi – Mapping

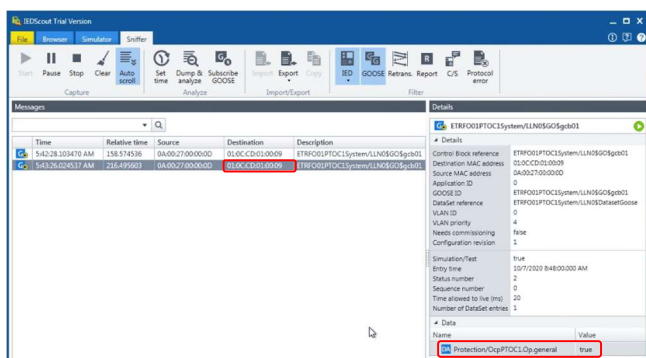
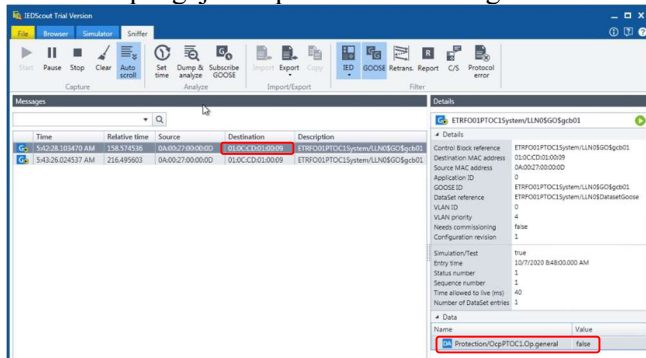
Untuk kebutuhan pengujian, perlu ditambahkan gambar yang mengindikasikan apakah *GOOSE* sudah diterima *GOOSE subscriber* atau belum.



Gambar 10. Indikasi GOOSE

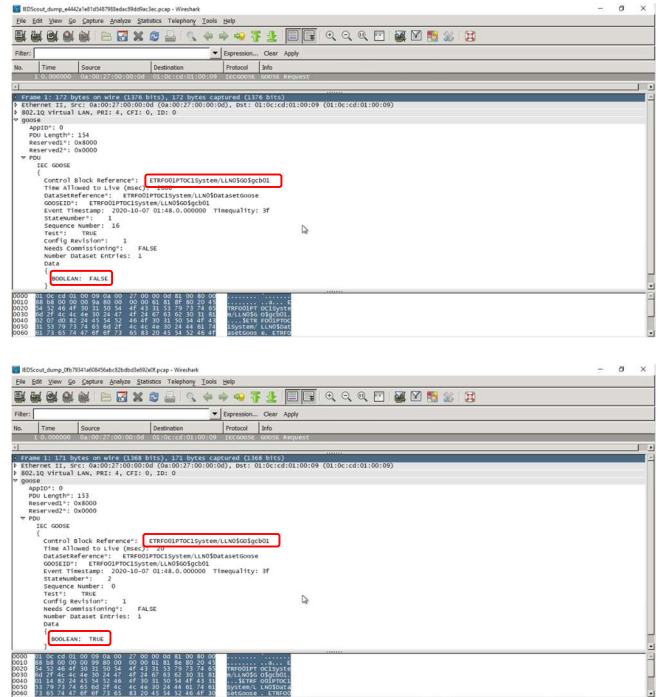
Setelah telah dilakukan konfigurasi di *GOOSE publisher* (IED proteksi merk Schneider tipe P141) dan *GOOSE subscriber* (IED controller/BCU merk Siemens tipe 7SJ642), langkah terakhir adalah melakukan pengujian untuk memastikan bahwa status yang dikirimkan oleh *GOOSE publisher*, sudah diterima dengan baik oleh *GOOSE subscriber*. Pengujian dilakukan dengan cara mengubah-ubah status yang dikirimkan oleh *GOOSE publisher*. Status yang dikirim oleh *GOOSE publisher* adalah **P141.Protection.OcpPTOC1.general**. Status diubah dari OFF (*false*) ke ON (*true*) dan sebaliknya. Lalu dilihat apakah *GOOSE publisher* ini sudah berhasil mengirimkan status tersebut di jaringan ethernet (IEC 61850). *GOOSE* bersifat *multicast*, sehingga jika *GOOSE publisher* ini sudah berhasil mengirimkan status, dapat dilihat di jaringan ethernet menggunakan *protocol analyzer* IEC 61850, misalnya menggunakan

IED scout (menu sniffer) atau menggunakan wireshark. Dari hasil pengujian diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 11. Pengecekan pengiriman GOOSE ke jaringan ethernet (IEC 61850) menggunakan IED Scout

Dari gambar 11 di atas, dapat dilihat melalui software IED Scout bahwa status **P141.Protection.OcpPTOC1.general** berhasil dikirimkan oleh *GOOSE publisher* ke jaringan ethernet (IEC 61850) dari posisi *false* (OFF) menjadi posisi *true* (ON).



Gambar 12. Pengecekan pengiriman GOOSE ke jaringan ethernet (IEC 61850) menggunakan wireshark

Status **P141.Protection.OcpPTOC1.general** berhasil dikirimkan oleh *GOOSE publisher* ke jaringan ethernet (IEC 61850) dari posisi *false* (OFF) menjadi posisi *true* (ON) dapat dilihat juga melalui software wireshark seperti yang terlihat pada gambar 12 di atas.

Setelah *GOOSE publisher* berhasil mengirimkan data, perlu diperiksa apakah *GOOSE subscriber* sudah menerima data tersebut atau belum. Untuk melihat apakah data sudah berhasil diterima oleh *GOOSE subscriber*, dapat menggunakan *protocol analyzer* IEC 61850, misalnya menggunakan IED scout (menu *browser*). Dari hasil pengujian diperoleh hasil sebagai berikut :

REFERENSI

- [1] PLN, "Bagian 1 Transmisi," in *SPLN S3.005 : 2021 - Spesifikasi Peralatan Remote Station*, PLN, 2021.
- [2] PLN, *SPLN S3.001 : 2021 - Peralatan SCADA Sistem Tenaga Listrik*, PLN, 2021.
- [3] H. León, C. Montez, M. Stemmer and F. Vasques, "Simulation models for IEC 61850 communication in electrical substations using GOOSE and SMV time-critical messages," in *IEEE World Conference on Factory Communication Systems (WFCS)*, 2016.
- [4] P. Rai, A. Mishra and A. Lal, "Smart Grid and IEC 61850," in *International Conference on Intelligent Technologies (CONIT)*, 2021.
- [5] Y. Zheng, R. Dou, X. Liao, X. Tong, M. Geng and J. Wu, "The implement of Multi-IED simulator for intelligent substation," in *5th Chinese Control Conference (CCC)*, 2016.
- [6] A. Kamaludin, H. Prasetya and Y. Nugroho, "Implementation of GOOSE for Overcurrent Relays with Non-Cascade Scheme in Medium Voltage Switchgear as Breaker Failure and Busbar Protection System," in *International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP)*, 2020.
- [7] V. K. Singh, A. S. Thoke and C. P. Awasthi, "Procedures for testing control and protection scheme based on GOOSE messages-methodology and constraints from engineering perspective," in *IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 2016.
- [8] T. Bhattacharjee and M. Jamil, "GOOSE Publishing and Receiving Operations of IEC 61850 Enabled IEDs," in *IEEE 1st International Conference on Energy, Systems and Information Processing (ICESIP)*, 2019.
- [9] M. Vadiati, M. Asadi, B. Shahbazi, S. Farzalizadeh, M. Shariati and M. Rassaie, "A new approach for determination of the communication buses architecture based on IEC 61850 in substation automation system," in *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 2008.
- [10] J. Lobo, M. Cuenca, D. Gregor, M. Arzamendia, R. Gregor and S. Toledo, "Design and implementation of a gateway between IEC 61850 and IEC 60870-5-101 standards for power electrical systems," in *CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, 2015.
- [11] K. Gwan-Su and L. Hong-Hee, "A study on IEC 61850 based communication for intelligent electronic devices," in *The 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology*, 2005.
- [12] PLN, *SPLN S4.008: 2021 - Penamaan Dan Penulisan IEC 61850*, PLN, 2021.
- [13] R. Munos, C. Haspiura and F. Becker, "Recent Enhancements to System Reliability by Implementing IEC 61850 GOOSE and SV Monitoring via LGOS and LSVS Logical Nodes," in *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 2008.

Lampu Taman Tenaga Surya Berbasis *Internet Of Things* di Universitas Bangka Belitung

Anggara Dwi Haryanto¹, Asmar^{1*}, Tri Hendrawan Budianto¹, Wahri Sunanda¹
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung
*asmar_ubb2@gmail.com

ABSTRACT

Solar Power Plant owned by the Universitas Bangka Belitung is an alternative energy source that exists today. The energy produced in addition to meeting the needs of electrical energy in buildings is also used as a source of electrical energy for garden lights. Garden lights besides functioning as lighting, of course, can also add to the aesthetic value of the campus. One effort to optimize the existence of garden lights is by innovating in controlling solar garden lights using the Internet of Things (IoT). From the results of the design measurements on the garden lights, the average voltage value based on sensor measurements is 14.39 V, the average current is 0.81 A, the average power is 11.65W. For measurement conditions based on a multimeter, the average voltage value is 13.41 V, the average current value is 0.76 A, the average power value is 10.19 W.

Keywords : Solar power plant, garden light, IoT, voltage, current, real power

INTISARI

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dimiliki Universitas Bangka Belitung merupakan sumber energi alternatif yang ada saat ini. Energi yang dihasilkan selain untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada gedung, juga digunakan sebagai sumber energi listrik bagi lampu taman. Lampu taman selain berfungsi sebagai penerangan, tentunya juga dapat menambah nilai estetika kampus. Salah satu upaya untuk mengoptimalkan keberadaan lampu taman yakni dengan inovasi pada pengendalian lampu taman tenaga surya dengan menggunakan *Internet of Things* (IoT). Dari hasil perancangan yang dilakukan pengukuran pada lampu taman, didapatkan nilai tegangan rata-rata berdasarkan pengukuran sensor 14,39 V, arus rata-rata 0,81 A, daya rata-rata 11,65W. Untuk kondisi pengukuran berdasarkan multimeter didapatkan nilai tegangan rata-rata 13,41 V, nilai arus rata-rata 0,76 A, nilai daya rata-rata 10,19 W.

Kata kunci: PLTS, lampu taman, IoT, tegangan, arus, daya

I. PENDAHULUAN

Penerapan *Internet of Things* (IoT) telah merambah dalam semua aktivitas kehidupan dalam upaya mempermudah dalam operasional, sehingga dapat membantu lebih cepat dalam aktivitas keseharian. Salah satu implementasinya adalah integrasi IoT pada lampu taman atau lampu jalan untuk mempermudah operasionalisasi dan pemantauan jika terdapat permasalahan.

Beberapa penelitian terkait penerapan IoT terutama pada lampu jalan atau lampu taman telah dilakukan, diantaranya penerapan IoT pada lampu jalan yang didukung dengan interface *ThingSpeak* [1], lampu jalan yang informasi malfunctionnya dikirim melalui *Application Programming Interface* [2], menggunakan Android UNO dan Node MCU [3][4][5][6], serta menggunakan perangkat komunikasi LoRa [7]. Lampu jalan yang dikendalikan dengan IoT juga diantaranya

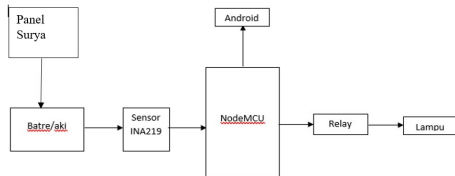
menggunakan lampu berbasis tenaga surya, seperti yang dilakukan di Universitas Muhammadiyah Makassar [8]. Penelitian penerangan jalan umum berbasis tenaga surya juga telah dilakukan di Pangkalpinang sebagai usulan konstruktif untuk kemajuan kota [9][10]. Tentunya pengendalian *photovoltaic* berbasis IoT juga telah dilakukan untuk skala kampus [11] sebagai bagian pengembangan keilmuan.

Dalam kaitan itu, akan dilakukan pengendalian operasionalisasi lampu-lampu taman yang ada di Universitas Bangka Belitung. Lampu-lampu taman yang ada merupakan bagian dari beban yang bersumber dari pembangkit listrik tenaga surya yang dimiliki Universitas Bangka Belitung. Saat ini Universitas Bangka Belitung selain pasok oleh PLN, sebagian beban, seperti gedung, lampu jalan dan lampu taman pasok oleh energi surya, sebagai bagian dari komitmen Universitas Bangka Belitung untuk

peningkatan pemanfaatan energi baru terbarukan khususnya di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.

II. METODE PENELITIAN

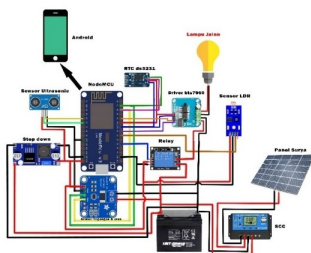
Tahapan penelitian yang dilakukan yakni :



Gambar 1. Blok diagram terkait penelitian

Dari gambar 1, diketahui panel surya menyerap energi matahari kemudian di *input* oleh baterai, lalu *output* dari baterai masuk ke sensor INA219 untuk diproses agar bisa mengetahui tegangan dari baterai. Lalu *output* dari sensor INA219 masuk ke NodeMCU lalu diproses lagi oleh NodeMCU yang sudah terkoneksi ke internet. Kemudian dari NodeMCU akan masuk ke *blynk* yang ada di android untuk menampilkan data yang dikirimkan dari NodeMCU untuk mengetahui tegangan yang ada di sensor INA219. Kemudian dari *blynk* yang ada di android akan menampilkan tegangan, arus, daya yang ada di sensor INA219. Di *blynk* juga menampilkan waktu, tanggal dan tahun pengukuran. Kemudian dari android juga menampilkan relay untuk menghidupkan dan mematikan lampu taman, dan juga di android akan muncul pemberitahuan lampu taman jika sudah menyala atau tidak menyala. Jika lampu menyala maka akan keluar notifikasi di *Blynk* dan jika lampu tidak menyala maka notifikasi yang ada di *Blynk* tidak muncul.

Untuk skema rangkaian lampu taman dapat dilihat pada gambar 2 berikut



Gambar 2. Rangkaian lampu taman

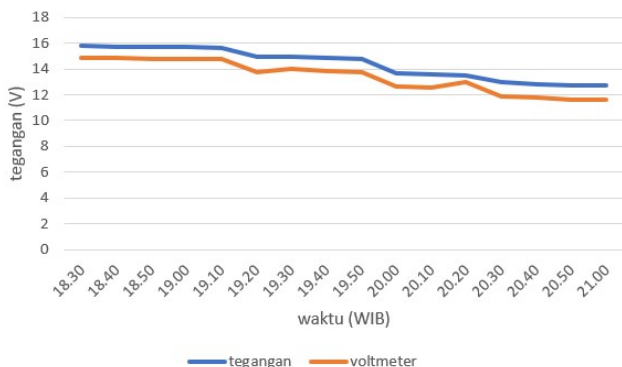
Dari gambar 2 terlihat bahwa dari panel surya menyerap panas matahari lalu disimpan ke baterai, kemudian keluaran dari baterai masuk ke *buck converter*. Kabel merah dari baterai masuk ke positif pada *buck converter* dan kabel hitam dari baterai masuk ke negatif pada *buck converter*. Lalu dari kabel merah keluaran yang ada di *buck converter* masuk ke VIN yang ada di NodeMCU dan keluaran kabel hitam pada *buck converter* masuk ke GND pada NodeMCU. Kemudian kabel merah pada NodeMCU dan *buck converter* dihubungkan ke 5V pada sensor INA219 dan kabel hitam dari NodeMCU masuk ke GND pada sensor INA219. Untuk menghidupkan sensor INA219 diambil dari *buck converter* yang akan ditampilkan pada aplikasi *blynk* di android. Lalu dari kabel hijau sensor INA219 masuk ke SCL pada NodeMCU dan kabel kuning pada sensor INA219 masuk ke SDA pada NodeMCU. Kabel hijau pada sensor INA219 yang terhubung ke NodeMCU berfungsi untuk menghidupkan *clock* data dan kabel kuning pada sensor INA219 yang terhubung ke NodeMCU berfungsi untuk mengirim *clock* data. Kemudian kabel hijau dari sensor INA219 dan NodeMCU dihubungkan ke SCL pada sensor RTC berfungsi untuk menghidupkan *clock* data dan kabel kuning pada sensor INA219 dan NodeMCU dihubungkan ke SDA pada sensor RTC berfungsi untuk mengirim *clock* data, yang akan ditampilkan di aplikasi *blynk* pada android.

Kabel merah dari NodeMCU masuk ke VIN sensor RTC guna sebagai *supply* sensor RTC dan kabel biru pada NodeMCU masuk ke GND pada sensor RTC. Kemudian kabel biru pada NodeMCU masuk ke GND pada relay dan kabel hitam dari NodeMCU masuk ke VIN digital pada relay berguna untuk mengaktifkan relay. Kemudian kabel merah dari sensor INA219 di jumper ke VIN pada relay berguna untuk mengaktifkan modul relay. Kabel merah dan hitam pada keluaran sensor INA219 dihubungkan pada baterai untuk mengukur tegangan baterai. Kemudian kabel merah pada baterai dihubungkan ke *output* pada relay berguna untuk menghidupkan lampu dan kabel hitam dihubungkan pada *buck converter*, sensor INA219 dan lampu pada *ground* dan keluaran kabel merah pada pada relay terhubung pada lampu berguna untuk mengaktifkan lampu.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada lampu taman yang dijadikan objek penelitian, dilakukan pengukuran terhadap tegangan dan arus yang keluar. Selain itu juga dilakukan pengukuran penyalaan lampu dengan menggunakan android dan sensor RTC.

Pada gambar 3 merupakan hasil pengukuran tegangan lampu taman dengan menggunakan sensor dan multimeter. Pengukuran dilakukan pada hari senin tanggal 24 Januari 2022. Hasil pengukuran dengan sensor tegangan memiliki rata-rata tegangan 13,73 V sedangkan pada kondisi pengukxuran pada voltmeter menggunakan multimeter didapatkan rata-rata tegangan 12,88 V sehingga selisih kedua kondisi sebesar 0,85 V. Pada kondisi pengukuran menggunakan sensor tegangan tertinggi sebesar 14,89 V sedangkan pada kondisi pengukuran menggunakan multimeter memiliki tegangan tertinggi sebesar 13,88 V pada pukul 18.30 WIB di waktu yang sama. Pada kondisi sebelum digunakan baterai sudah terisi pada siang harinya yakni 11,3 V



Gambar 3. Tegangan terukur dari sensor tegangan dan multimeter



Gambar 4. Arus terukur dari sensor arus dan multimeter

Pada gambar 4 merupakan hasil pengukuran arus lampu taman dengan menggunakan sensor dan multimeter. Pengukuran dilakukan pada hari senin tanggal 24 Januari 2022. Hasil pengukuran dengan sensor arus memiliki rata-rata arus 1,01 A sedangkan pada kondisi pengukuran pada multimeter didapatkan rata-rata arus 0,98 A sehingga selisih kedua kondisi sebesar 0,03 A. Pada kondisi pengukuran menggunakan sensor arus tertinggi sebesar 1,01 A sedangkan pada kondisi pengukuran menggunakan multimeter memiliki arus tertinggi sebesar 0,98 A pada pukul 18.30 WIB di waktu yang sama



Gambar 5. Pengukuran lampu taman tenaga surya

Berdasarkan hasil pengukuran pada gambar 5 didapat bahwa perbedaan antara waktu sensor RTC dengan android tidak berbeda signifikan. Perbedaan yang terjadi hanya dalam waktu 1 detik lebih cepat pada sensor RTC. Hal ini dimungkinkan karena pengkalibrasi waktu pada sensor RTC. Sensor RTC terletak di dalam kotak pengendali lampu taman yang berfungsi sebagai pengatur jadwal lampu taman aktif dan lampu taman mati pada jam tertentu

IV. KESIMPULAN

Pengukuran pada lampu taman didapatkan nilai tegangan rata-rata berdasarkan pengukuran sensor 14,39 V, arus rata-rata 0,81 A, dan daya rata-rata 11,65W. Untuk kondisi pengukuran berdasarkan multimeter didapatkan nilai tegangan rata-rata 13,41

V, nilai arus rata-rata 0,76 A, nilai daya rata-rata 10,19 W.

REFERENSI

- [1] A. Adam, M. Muharnis, A. Ariadi, and J. Lianda, "Penerapan IoT Untuk Monitoring Lampu Penerangan Jalan Umum," *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 5, no. 1, Sep. 2020, doi: 10.21831/elinvo.v5i1.31249.
- [2] Y.A.M Yazid and R. Agung Permana, "Rancang Bangun Prototype Monitoring Lampu Jalan Secara Otomatis Menggunakan Mikrokontroler ESP32 Dan Api Bot Telegram," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 8, no. 1, pp.12–19, Feb. 2022, doi: 10.51998/jti.v8i1.477.
- [3] M. N. Agriawan, S. Sania, C. Rasmita, N. Wahyuni, and M. Maisarah, "Prototype Sistem Lampu Penerangan Jalan Otomatis Menggunakan Sensor Cahaya Berbasis Arduino Uno," *PHYDAGOGIC Jurnal Fisika dan Pembelajarannya*, vol. 4, no. 1, pp. 39–42, Oct. 2021, doi: 10.31605/phy.v4i1.1489.
- [4] W. W. Anggoro, "The Perancangan dan Penerapan Kendali Lampu Ruangan Berbasis IoT (Internet of Things) Android," *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, vol. 8, no. 3, pp. 1596–1606, Sep. 2021, doi: 10.35957/jatisi.v8i3.1311.
- [5] A. Husna, H. T. Hidayat, and M. Mursyidah. "Penerapan IoT Pada Sistem Otomatisasi Lampu Penerangan Ruangan Dengan Sensor Gerak Dan Sensor Cahaya Menggunakan Android." *Jurnal Teknologi Rekayasa Informasi dan Komputer* vol. 3, no. 1, 2019..
- [6] H. Setiawan, F. Abdaoe, and K. Perdana, "Sistem Kendali Lampu Otomatis Berbasis Iot (Internet Of Things) Menggunakan Node Mcu," *Jurnal Bangkit Indonesia*, vol. 9, no. 1, pp. 76–91, Mar. 2020, doi: 10.52771/bangkitindonesia.v9i1.130.
- [7] T. Taufik, M. Misbahuddin, and I.M.A. Nrrartha., "Sistem Monitoring Dan Kontrol Penerangan Jalan Umum Menggunakan Jaringan Komunikasi Lora Berbasis Internet Of Things (Iot)". *DIELEKTRIKA*, vol. 8 no. 2, pp.95-102.2021.
- [8] M. Muniardi, R. Ridwang, R. Rahmaniah, L. Anas, And A. I. Syahyadi, "Implementasi Iot Pada Lampu Jalan Berbasis Panel Surya Di Wilayah Universitas Muhammadiyah Makassar," *Jurnal INSTEK (Informatika Sains dan Teknologi)*, vol. 6, no. 2, pp. 254–261, Oct. 2021, doi: 10.24252/instek.v6i2.25432.
- [9] A. Febrianto, W. Sunanda, and R. F. Gusa, "Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya: Studi Kasus di Kota Pangkalpinang," *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, vol. 16, no. 2, p. 76, Sep. 2019, doi: 10.14710/presipitasi.v16i2.76-82
- [10] J. S. Siregar, F. Arkan, and W. Sunanda, "Perencanaan Penerangan Jalan Penegang Petaling Berbasis Tenaga Surya," *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 10, no. 1, Jun. 2021, doi: 10.36055/setrum.v10i1.10310
- [11] W. Sunanda, Y. Tiandho, R. F. Gusa, M. Darussalam, and D. Novitasari, "Monitoring of Photovoltaic Performance as an Alternative Energy Source in Campus Buildings," *Instrumentation Measure Métrologie*, vol. 20, no. 3, pp. 153–159, Jun. 2021, doi: 10.18280/i2m.200305.

Pengaruh Pemasangan Solar Cell Terhadap Biaya pada Industri PT. Kahatex

Fauzia Haz^{1*}, Shilham Astif Syarifuddin¹, Giri Angga Setia¹
Universitas Jenderal Achmad Yani¹
*fauzia.haz@lecture.unjani.ac.id

ABSTRACT

This study uses data collection methods to compare how effective the use of solar cells is and the data is based on 2 parameters as reference material, namely real data with simulation data where real data obtained from solar cells in PT. KAHATEX while simulating using Pvsyst software, so it can be seen that the use of solar cells is more impactful as a substitute for conventional energy sources. From this data, it can also be calculated how much the costs have been cut and the impact given by the use of solar cells. After the analysis carried out, it was obtained data that each solar cell module produced an average of 1.32 kWh and also obtained data on the cost of electricity usage which was cut by an average of 4.8% of the total electricity demand from one Garment department at PT. KAHATEX. The installation of solar cells in one Garment Department saves electricity in the last 3 months, which is Rp. 31,006,265. The simulation results using Pvsyst software to expand the use of solar cells in the embroidery department showed that 297 units of modules are needed and the average in one module generates electricity of 1.18 kWh.

Keywords : Solar cell, Power, Energy.

INTISARI

Penelitian ini menggunakan metode pengambilan data untuk membandingkan seberapa efektif penggunaan *solar cell* dan data tersebut berdasar pada 2 parameter sebagai bahan acuan yaitu data real yang ada dengan data simulasi dimana data real yang diperoleh dari *solar cell* yang ada di PT. KAHATEX sementara simulasinya menggunakan software Pvsyst, sehingga dapat terlihat lebih berdampak penggunaan *solar cell* sebagai pengganti sumber energi konvensional. Dari data tersebut dapat juga dihitung berapa biaya yang telah terpengkas dan *impact* yang diberikan oleh penggunaan *solar cell*. Setelah analisis yang dilakukan diperoleh data bahwa setiap satu modul *solar cell* rata-rata menghasilkan 1.32 kWh dan diperoleh juga data *cost* penggunaan listrik yang terpengkas rata-rata mencapai 4,8% dari kebutuhan listrik total dari satu departemen Garmen di PT. KAHATEX. Pemasangan *solar cell* pada satu Departemen Garment tersebut menghemat pengeluaran listrik dalam 3 bulan terakhir itu adalah sejumlah Rp 31.006.265. Hasil simulasi menggunakan software Pvsyst untuk perluasan penggunaan *solar cell* di departemen bordir diperoleh bahwa diperlukan 297 unit modul dan rata-rata dalam satu modul menghasilkan listrik sebesar 1.18 kWh.

Kata kunci: *Solar cell*, Daya, Energi.

I. PENDAHULUAN

Di dunia industri listrik merupakan suatu aspek penting. Tak sedikit perusahaan mengeluarkan biaya besar hanya untuk biaya penggunaan listrik, seperti penyediaan bahan baku yang lain untuk kebutuhan produksi karena hampir sekitar 40% *cost* produksi terambil oleh penggunaan energi. Dari sekian banyak inovasi yang ditemukan, pemanfaatan energi terbarukan digunakan oleh banyak industri guna memangkas *cost* penggunaan listrik menggunakan *solar cell* sebagai salah satu sumber listrik[1], seperti pada PT.KAHATEX, namun penggunaan *solar cell*

hanya sebagian department saja. Mengingat tidak seluruhnya sumber listrik menggunakan sumber PLN yang digunakan oleh PT. KAHATEX, maka perlu diketahui pengaruh penggunaan *solar cell* terhadap pengurangan *cost*. Dari sini juga dapat dilihat data langsung secara real penggunaan listrik yang berasal dari sumber *solar cell* dari mulai listrik yang dihasilkan setiap bulan sampai data yang lebih spesifik lagi seperti listrik yang dihasilkan per modul pada *solar cell*[2].

Konsep yang sederhana dimiliki oleh pembangkit listrik *Solar Cell* dimana proses perubahan bentuk energi dari energi tenaga surya menjadi energi

listrik[3]. Seperti diketahui bahwa tenaga surya/matahari, merupakan suatu energi yang ditimbulkan dari alam. Melalui konsep ini, sering digaungkan bahwa sistem *solar cell* sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan [4]. Energi matahari ini dapat dijadikan sumber listrik yang diimplementasikan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS adalah pembangkit yang mengubah energi surya/matahari menjadi energi listrik sebagai salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan (energi terbarukan)[5].

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis membandingkan listrik yang dihasilkan *solar cell* dengan sumber keseluruhan untuk mengetahui berapa rata-rata listrik yang dihasilkan oleh satu modul *solar cell* dalam keadaan *exiting*, menganalisis berapa rata-rata listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* dalam 3 bulan, menganalisis berapa *cost* yang terpangkas ketika pemakaian *solar cell* [6], menganalisis listrik yang dihasilkan disimulasi *Pvsyst* dalam satu modul, mengetahui penggunaan listrik maksimal yang dihasilkan dalam 3 bulan terakhir oleh *solar cell* yang telah terpasang dan menganalisis jumlah modul yang harus terpasang ketika adanya perluasan penggunaan *solar cell* berdasarkan pada simulasi yang dilakukan.

II. LANDASAN TEORI

A. Solar Cell

Solar Cell adalah suatu komponen yang dapat digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip yang disebut efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* itu sendiri adalah suatu fenomena di mana muncul tegangan listrik karena adanya suatu hubungan atau kontak dari dua elektroda, dimana keduanya dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya[7].

Solar cell juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis mengingat tidak membutuhkan transmisi karena dapat dipasang secara modular di setiap lokasi yang membutuhkan. *Solar cell* tidak memiliki eksekusi suara seperti pada pembangkit tenaga angin serta dapat dipasang pada hampir seluruh daerah karena hampir setiap lokasi di belahan dunia ini menerima sinar matahari. Bandingkan dengan pembangkit air (*hydro*) yang dapat dipasang hanya pada daerah-daerah dengan aliran air tertentu. Berbagai keunggulan ini maka tidak heran jika negara-negara maju berlomba mengembangkan *solar cell* agar dapat

dihasilkan teknologi pembuatan *solar cell* yang berharga ekonomis.

Hingga saat ini total energi listrik yang dibangkitkan dengan *solar cell* di seluruh dunia baru mencapai sekitar 12 GW (bandingkan dengan total penggunaan listrik dunia sebesar 10 TW). Dari 12 GW tersebut Jerman merupakan negara terbesar yang telah menginstal *solar cell* nya yaitu sebesar hampir 5 GW. Meskipun begitu setiap tahunnya terjadi peningkatan produksi *solar cell* dimana pada tahun 2008 total produksi *solar cell* di seluruh dunia telah mencapai angka 6,22 GW[6].

Nilai produksi yang terus meningkat ini juga terus diikuti dengan upaya untuk menurunkan harga *solar cell* modul per Watt peaknya. Saat ini harga listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* sebesar 50 sen setiap kWh yang relatif masih sangat tinggi jika dibandingkan dengan pembangkitan dari sumber lainnya seperti dari pembangkit termal yang hanya sebesar 8 sen untuk setiap kWh nya[8].

B. Jenis – jenis solar cel

Monocrystalline Silicon yaitu Jenis panel surya pertama yang akan kami bahas adalah solar panel *monocrystalline silicon*. Jenis komponen sel surya yang satu ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan karena kelebihan yang dimilikinya. Sel surya ini terbuat dari silikon yang diiris tipis-tipis dengan menggunakan mesin. Irisan bisa menjadi lebih tipis dan juga karakteristiknya identik karena penggunaan mesin potong ini[9].

Jenis solar panel selanjutnya yang bisa digunakan adalah *polycrystalline silicon*. Teknologi panel surya ini merupakan teknologi panel yang terbuat dari batang silikon yang kemudian dicairkan. Teknologi panel ini memiliki kelebihan dari segi susunannya yang lebih rapi dan lebih rapat. Untuk cirinya, biasanya solar panel ini memiliki penampilan yang unik karena terkesan seperti ada retakan-retakan di dalam sel surya yang dimilikinya. Teknologi panel surya yang satu ini juga memiliki kekurangan yang cukup mirip dengan *monocrystalline silicon* yang telah disebutkan sebelumnya[9].

Polycrystalline Silicon Panel surya *polycrystalline* memiliki kekurangan ketika digunakan pada daerah yang rawan dan sering mendung. Ketika diletakkan atau digunakan pada area seperti ini, maka efisiensi yang dimilikinya akan turun. Jika dibandingkan dengan efisiensi *monocrystalline*, *polikristalin silikon* ini memiliki efisiensi yang lebih rendah. Oleh karena itu untuk menghasilkan tenaga listrik dengan jumlah yang

sama, jenis panel tenaga surya yang satu ini akan diperlukan penampang yang lebih besar.

III. METODE PENELITIAN

A. Perhitungan modul dan pemakaian listrik [10].

Untuk memperoleh data secara spesifik diperlukan beberapa perhitungan yang menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sum \text{konsumsi listrik keseluruhan} = \sum \text{subtotal pemakaian (kWh)} \quad (1)$$

Persamaan 1 digunakan untuk mengetahui konsumsi listrik secara keseluruhan di semua departemen di PT. KAHATEX.

$$X \text{ (listrik yang dihasilkan per modul)} = P_v \text{ Yield : Jumlah modul} \quad (2)$$

Persamaan 2 digunakan untuk mengetahui berapa rata-rata listrik yang dihasilkan permodul solar cell dalam satu hari.

$$X \text{ (Permodul selama satu bulan)} = \sum (X \text{ listrik permodul setiap harinya}) : \sum (\text{hari}) \quad (3)$$

Persamaan 3 digunakan untuk mengetahui berapa rata-rata listrik yang dihasilkan permodul dalam satu bulan.

$$X = X \text{ permodul (Januari)} + X \text{ permodul (Februari)} + X \text{ permodul(maret)} : 3 \quad (4)$$

Persamaan 4 digunakan untuk mengetahui berapa rata-rata listrik yang dihasilkan permodul dalam 3 bulan terakhir.

$$\sum R_p \text{ yang di pangkas} = \sum \text{kWh solar cell . biaya listrik per kWh} \quad (5)$$

Persamaan 5 digunakan untuk mengetahui berapa nominal yang terpangkas pada saat pemakaian solar cell.

$$\sum R_p \text{ total} = \sum R_p \text{ Januari} + \sum R_p \text{ Februari} + \sum R_p \text{ Maret} \quad (6)$$

Persamaan 6 digunakan untuk mengetahui jumlah nominal total yang telah terpangkas untuk cost pengeluaran listrik akibat penggunaan solar cell.

$$\% \text{ pengurangan cost penggunaan listrik} = (\text{kWh solar cell}) / (\text{listrik yang dibutuhkan}) \times 100 \quad (7)$$

Persamaan 7 digunakan untuk mengetahui jumlah persentase pengurangan cost penggunaan listrik pada

solar cell dibandingkan dengan penggunaan listrik secara keseluruhan.

$$\text{Persentase rata rata} = (\% \text{ Januari} + \% \text{ Februari} + \% \text{ Maret}) : 3 \quad (8)$$

Persamaan 8 digunakan untuk mengetahui rata-rata persentase pengurangan listrik dalam 3 bulan terakhir di PT. KAHATEX dibandingkan dengan penggunaan listrik secara keseluruhan.

B. Data Solar Cell



Gambar 2. Modul solar cell (seraphim).

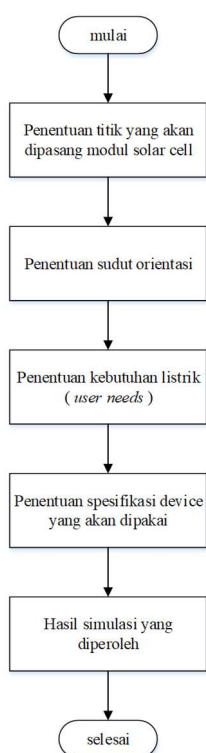
Tabel 1. Uraian modul solar cell.

module type	SRP 440 BMA HV	
	STC	NOCT
Maximum Power at STC (Pmp)	440	328
Open Circuit Voltage (Voc)	49,7	45,7
Short Circuit Current (Isc)	11,27	9,1
Maximum Power Voltage (Vmp)	41,4	38,3
Maximum Power current (Imp)	10,63	8,57
modul efficiency at STC (ηm)	20,24	

Power Tolerance	(0, +3%)
Maximum System Voltage	1500V DC
Maximum Series Fuse Rating	20

C. Simulasi Penelitian

Dalam rangka perluasan penggunaan solar cell di PT. KAHATEX tentunya diperlukan juga simulasi terhadap areal yang akan dipasangkan solar cell tersebut tujuan dari simulasi ini sendiri adalah untuk mengetahui berapa potensi listrik yang dihasilkan di titik yang akan dipasang solar cell dari simulasi ini juga dapat diprediksi berapa jumlah modul yang harus dipasang agar kebutuhan listrik di departemen tersebut dapat terpenuhi ini menjadi salah satu bagian penting dalam mengambil acuan agar perhitungan biaya yang dikeluarkan akan sesuai dengan kebutuhan yang akan digunakan dan berikut adalah gambar diagram alur pengambilan data simulasi:



Gambar 1. Diagram alur simulasi Pvsyst.

Dari gambar 1 bisa dilihat tahapan simulasi dimana pada saat memulai membuka aplikasi lalu penulis menentukan titik atau wilayah yang nantinya akan dipasang solar cell setelah sudah menentukan titik yaitu di departemen bordir lalu aplikasi akan memberi saran sudut maksimal yang digunakan untuk memperoleh hasil yang maksimal juga dan setelah menyetujui sudut yang digunakan lalu menentukan kebutuhan listrik yang ada di departemen bordir perhari untuk dimasukkan ke orientasi user needs setelah memasukan kebutuhan listrik perhari dari departemen bordir tadi menentukan spesifikasi device yang akan digunakan seperti jenis baterai dan jenis modul.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Penggunaan listrik secara keseluruhan di semua departemen

Sebelum jauh mengetahui seberapa besar cost yang dikeluarkan yang perlu diketahui adalah penggunaan listrik dari semua departemen selama 3 bulan terakhir dan didapat data sebagai berikut :

Tabel 2. Penggunaan listrik secara keseluruhan

Departemen	Sub Total Pemakaian (KWH)		
	Januari	Februari	Maret
Kaos Kaki	1.355.273,28	1.019.379,78	1.111.523,43
Garmen	178.763,98	174.110,44	207.137,87
Bordir	6.161,13	6.436,25	7.745,89
Handprint	155.605,90	113.294,01	162.187,83
Muratex	394.889,42	420.700,48	448.910,37
Covering	274.028,59	175.912,50	175.551,19
Elastik	32.833,18	33.909,76	37.141,93
Lab. Umum	30.239,08	26.952,26	30.143,93
Jetloom	922.073,88	859.618,53	936.901,72
Finishing 1	638.674,69	580.167,43	655.134,70
Garuk	22.958,61	20.068,34	24.210,33
Plastik	147.923,32	128.522,99	138.201,48
Finishing 2	344.458,77	299.378,51	336.911,16
Maintenance	1.405.509,76	1.298.915,51	1.558.989,35
Ipal	225.108,78	199.414,00	238.607,77
Cheese Dyeing	945.030,37	822.604,10	1.049.223,42
Kbs	92.283,25	54.082,76	105.841,89
Total	7.171.815,99	6.233.467,65	7.224.364,26

Dari tabel 2, menggambarkan penggunaan energi listrik untuk masing – masing departemen, dimana yang paling banyak mengkonsumsi energi adalah departemen maintenance dan yang paling minimum adalah departement bordir. Namun berdasarkan data *exiting*, pada PT KAHATEX ini telah terpasang beberapa modul solar cell pada departemen Garmen dengan data sebagai berikut :

Tabel 3. Komponen *Solar cell*

Komponen	Nama	Jumlah
Inverters	SUN200-60KTL-M0 (400)	1
Strings	6 mm (copper)	12
modul	REC, REC 365TP25 72M (365W)	224

Dapat dilihat dari tabel 3 satu set *solar cell* yang terpasang hanya terdiri dari 224 modul dan semua modul tersebut terpasang diatas departemen garmen untuk memenuhi sebagian kebutuhan listrik yang dibutuhkan departemen tersebut. Sebagai pembanding diperlukan data listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* dalam 3 bulan pertama di tahun 2022 berikut adalah data listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* :

Tabel 4. Daya yang dihasilkan oleh *solar cell*

Parameter	Januari	Februari	Maret
Total daya Suplai (kWh)	10.233,87	7498.46	9.079.52
Total daya terpakai (kWh)	8.244,87	5965.46	7.722.52
Rata-Rata Daya/Hari (kWh)	330,12	267.80	292,89

Pada tabel 4 menunjukkan daya yang dihasilkan oleh *solar cell* melalui pengamatan secara langsung. Setelah melihat berapa listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* sebagai perbandingan diperlukan data listrik yang dibutuhkan di departemen tersebut dan di peroleh data sebagai berikut :

Tabel 5. Data Penggunaan Listrik Pada Departemen Garmen.

No	Bulan	Listrik Yang Dibuthkan (Kwh)
1	Januari	178.763,98
2	Februari	174.110,44
3	Maret	207.137,87

Data pada tabel 5 menunjukkan penggunaan listrik yang disuplai oleh PLN dan *Solar cell*. Untuk

mengetahui pengaruh pemasangan *solar cell*, maka akan dihitung selisih biaya yang bisa dihemat akibat penggunaan *solar cell* dengan menggunakan persamaan 4 :

Tabel 6. Rata – Rata listrik yang dihasilkan solar cell

	Januari	Februari	Maret
Jumlah modul	224	224	224
Rata – Rata (kWh)	1,47	1,2	1,31

Merujuk pada harga listrik per kWh yang setiap bulan nya selalu berbeda dimana bulan Januari harga per kwh Rp.1156.60 , pada bulan Februari Rp.1156.04, dan pada bulan Maret Rp.1156.59 dan dari harga tersebut dapat diperoleh data berapa nominal cost yang terpangkas menggunakan persamaan 5 dan diperoleh data seperti pada tabel berikut :

Table 7. Biaya pada departement Garment

Bulan	Listrik (Kwh)	Harga (Rp)	Nominal (Rp)
Januari	10233.87	1156,60	11.836.464
Februari	7498.46	1156.04	8.668.519
Maret	9079.52	1156.59	10.501.282

persentase pengurangan cost penggunaan listrik pada saat ada solar cell menggunakan persamaan 7 :

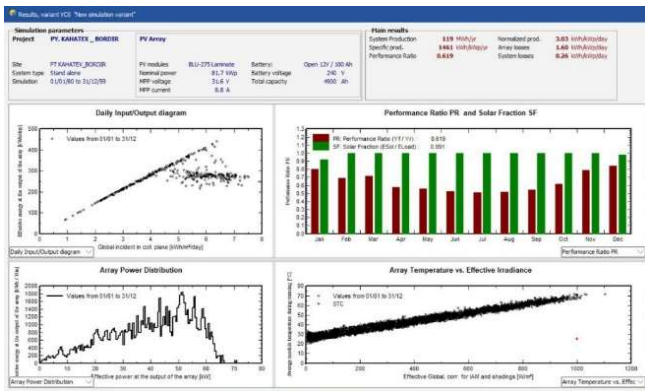
Tabel 8. Persentase perbandingan pengurangan biaya penggunaan listrik.

Bulan	Kebutuhan Listrik (kWh)	Listrik solar cell (kWh)	Selisih
Januari	178.763.98	10.233,87	5.72%
Februari	174.110,44	7.498,46	4.31%
Maret	207.137,87	9.079,52	4.38%

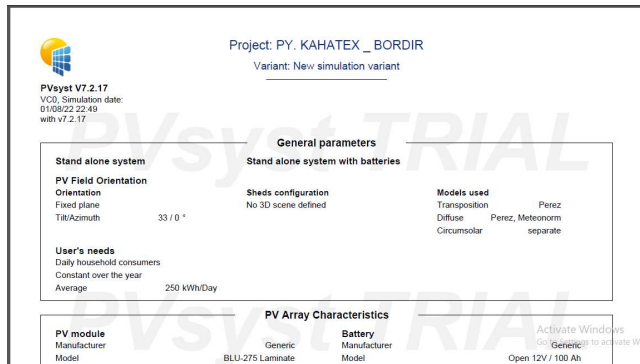
Pada tabel 8 dapat dihitung rata-rata persentase pengurangan *cost* penggunaan listrik dalam 3 bulan terakhir menggunakan persamaan 8 yaitu sebesar 4,8 %.

B. Hasil Simulasi

Untuk simulasi pemasangan *solar cell* dilakukan pada department border dengan hasil sebagai berikut :



Gambar 2. Performa dari solar cell yang terpasang



Gambar 3. Hasil Simulasi

Pada gambar 3 menjelaskan bahwa hasil simulasi disesuaikan dengan kebutuhan listrik. Pada department border membutuhkan modul sebanyak 297 unit dengan 27 strings 11 series. Luas modul area itu sendiri adalah 480 m² dan cell area nya sendiri seluas 434 m², sehingga pada simulasi ini bisa menghasilkan sekitar 1.18 kWh per hari.

Berdasarkan hasil simulasi maka dapat diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 9 Spesifikasi inverter yang akan dipakai.

Efficiency	
Max efficiency	98.8% @480 V ; 98.6% @380 V/400 V
European efficiency	98.6% @480 V ; 98.4% @380 V/400 V
Input	
Max input voltage	1100 V
Max current per MPPT	26 A
Max Short Circuit Current per MPT	40 A

Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V - 1000 V
Rated Input Voltage	570 V @380 V; 600 V @400V; 720 V @480 V
Number Of inputs	20
Number Of MPP tracker	10
Output	
Rated AC Active Power	100000 W (380 V / 400 V / 480 V @40°C)
Max AC Apparent Power	110000 VA
Max. AC active power	110000 VA
Rated Output voltage	220 V / 230 V, DEFAULT 3W + N + PE; 380 V / 400 V / 480 V, 3W + PE
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output current	152.0 A @380 V; 144.4 A @400 V; 120.3 A @480 V
Max. Output current	168.8 A @380 V; 160.4 A @400 V; 133.7 A @480 V
Adjustable Power factor range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	<3%

Dari simulasi yang telah dilakukan di departemen bordir dimana kebutuhan per hari dari departemen tersebut secara keseluruhan adalah sebesar 249.7 kWh disesuaikan dengan sudut terbaik sehingga dapat memaksimalkan potensi performa dari modul solar cell itu maka yang harus terpasang di departemen bordir itu adalah sebanyak 297 modul, 1 modul dapat menghasilkan listrik sebesar sekitar 1,18 kWh perhari.

Disini terlihat perbedaan antara listrik yang dihasilkan permodul di keadaan real dilapangan dengan yang disimulasikan menggunakan Pvsyst dimana solar cell yang telah terpasang dapat menghasilkan listrik sebesar 1.32 kWh perhari dalam satu modul sementara pada saat simulasi yang dijalankan pada software Pvsyst hanya menghasilkan listrik sebesar 1.18 kWh perhari dalam satu modul untuk perencanaan pemasangannya akan direnakanan on grid.

Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti sudut dari modul solar cell yang telah terpasang itu memiliki sudut yang lebih tinggi sehingga performa dari modul juga lebih baik dan potensi di titik yang telah terpasang itu pun lebih baik dilihat dari segi

konstruksi bangunannya dimana departemen garmen itu sendiri memiliki bangunan yang lebih tinggi dari departemen bordir sehingga sinar matahari yang terpancar pun lebih maksimal[11].

Pada departemen bordir terdapat *losses* dimana sebesar 3,8% dari listrik yang dihasilkan. *losses* ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti luas areal dan cuaca juga mempengaruhi dimana semakin luas dari suatu areal maka *losses* yang dihasilkan juga semakin besar dan semakin buruk cuaca potensi *losses* juga semakin besar[12].

KESIMPULAN

Listrik yang dihasilkan dalam satu modul solar cell yang telah terpasang adalah sebesar 1.32 kWh. Listrik yang dihasilkan setiap harinya dalam 3 bulan pertama ditahun 2022 adalah sebesar 297,97 kWh sementara setiap bulanya menghasilkan 9.056,46 kWh. Listrik yang dihasilkan pada saat simulasi dalam satu modul solar cell adalah sebesar 1.18 kWh. Nominal yang bisa disimpan sebagai dampak dari penggunaan solar cell adalah sebesar Rp 31.006.265. Bulan Januari menjadi bulan dengan penghasil listrik terbanyak diantara 3 bulan setelahnya dengan menghasilkan listrik sebesar 10.233,87 kWh dikarenakan faktor jumlah hari yang lebih banyak dari 3 bulan setelahnya dan juga faktor cuaca hampir tanpa hujan terjadi dibulan tersebut sehingga membuat kinerja dari solar cell maksimal.

Tambahan : Penulis mengucapkan terima kasih PT. KAHATEX atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini. Penulis juga berterima kasih kepada rekan-rekan dosen Teknik elektro atas diskusinya yang bermanfaat.

REFERENSI

[1] M. Irsyam, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Energi Lampu Dan Projector Diruang Kelas Fakultas Teknik Unrika," *Sigma Tek.*, vol. 4, no. 2, pp. 199–208, 2021, doi: 10.33373/sigmateknika.v4i2.3259.

[2] H. R. Iskandar, E. Taryana, and S. Syaidina, "Perancangan Kebutuhan Energi Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Hanggar Delivery Center Pt. Dirgantara

Indonesia," *Proseding Semin. Nas. Sains dan Teknol. Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, vol. 018, no. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, pp. 1–11, 2018.

[3] C. R. Sandro Putra, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal," *Semin. Nas. Cendekiawan*, vol. 6, no. 1, p. 23.4, 2016.

[4] I. Purwanto, "Solar Cell(Photovoltaic/Pv)Solusi Menuju Pulau Mandiri Listrik," *J. Penelit. Dan Karya Ilm. Lemb. Penelit. Univ. Trisakti*, vol. 5, no. 2, pp. 117–126, 2020, doi: 10.25105/pdk.v5i2.7410.

[5] G. A. Setia, Sutriyadi, N. Winanti, F. Haz, and H. R. Iskandar, "Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Solar Cell dan Wind Turbine) untuk Beban Perumahan," *Epsil. J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 19, no. 2, pp. 33–39, 2021, doi: 10.55893/epsilon.v19i2.58.

[6] E. P. Aji, P. Wibowo, and J. Windarta, "Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem On Grid di BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 15–27, 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.13158.

[7] R. Sianipar, "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," vol. 11, no. 2, pp. 61–78, 2014.

[8] ESDM, "No Title", [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/solar-cell-sumber-energi-terbarukan-masa-depan>

[9] H. Kristiawan, I. N. S. Kumara, and I. A. D. Giriantari, "Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Sekolah di Kota Denpasar," *J. SPEKTRUM Vol. 6, No. 4 Desember 2019*, vol. 6, no. 4, pp. 1–5, 2019.

[10] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Keteragalistrikan, "Statistik Kelistrikan

2020,” *Kementrian Energi dan Sumber Daya Miner. Direktorat Jenderal Keteragalistrikan*, vol. 13, no. April, p. 122, 2021.

- [11] I. Octopianus Silaban, I. Nyoman Satya Kumara, and I. Nyoman Setiawan, “Perancangan Plts Atap Pada Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara Dengan Arsitektur Rumah Adat Batak Toba,” *Spektrum*, vol. 8, no. 2, pp. 1–11, 2021.
- [12] Ilham Lubis, “ANALISA PERANCANGAN ON-GRID SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) PADA INDUSTRI MENENGAH (Studi Kasus : PT. P&P BANGKINANG),” *Skripsi thesis, Univ. Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.*, no. 2016, pp. 1–36, 2018, [Online]. Available: www.journal.uta45jakarta.ac.id

Analisis Kelayakan Elektrikal Material Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tumpu Dengan Desain Dua Sirip Terpisah

Andhip Mahdi Manggala¹, Widagdo Dwi Nugrahadi Prasetya¹
PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pendidikan dan Pelatihan (UPDL) Semarang¹
*widagdo.prasetya@gmail.com

ABSTRACT

An insulator is one of the electric power equipment functioning as insulation that limits the voltage area from the non-voltage area. The insulators of the medium voltage air line network in terms of their function are classified into suspension insulators and line insulators. The line insulators function as a support for the voltage network on a straight line. In this study, a line insulator was made of several fillers, namely epoxy resin as the main material and silica and silane sand as supporting materials. The parameters for testing the insulator including breakdown voltage, insulation resistance and tangent delta measurement. Testing is carried out at PT. PLN (Persero) UPDL Semarang. The results of the breakdown voltage on the epoxy resin propulsion insulator with two conditions, wet and dry conditions, it was found 100 kV in dry condition and 70 kV in wet condition and still in accordance with PLN standards, namely at least 65 kV in wet conditions. The measurement of insulation resistance in dry conditions, it was found more than 1000 GΩ. Referring to the international standard reference VDE (catalogue 228/4) with insulation resistance of 1 MΩ per 1 kV, the results are in accordance with the standard. Then the measured of tangent delta, the largest value obtained 0.495% at the largest input voltage is 9.99 kV. The tangent delta measurement fall into the "GOOD" category when referring to the ANSI C 57.12.90 standard, where the tangent delta less than 0.5% is included in the "GOOD" category.

Keywords : Leakage Current, Line Insulator, Epoxy Resin Material , Breakdown Voltage

INTISARI

Isolator adalah salah satu peralatan tenaga listrik yang berfungsi sebagai isolasi yang membatasi daerah yang bertegangan listrik dengan daerah yang tidak bertegangan. Isolator pada jaringan SUTM apabila dilihat dari fungsinya dibagi menjadi dua jenis, yaitu isolator penegang dan isolator tumpu. Isolator tumpu berfungsi sebagai penumpu jaringan tegangan listrik pada saluran lurus. Pada penelitian ini dibuat sebuah isolator penumpu dari beberapa bahan pengisi, yaitu bahan resin epoksi sebagai bahan utama dan bahan pasir silika dan silane sebagai bahan pendukung. Parameter pengujian kelayakan isolator tersebut antara lain parameter kemampuan tegangan tembus, nilai tahanan isolasi dan nilai ukur tangen delta. Pengujian nilai parameter dilakukan di PT. PLN (Persero) UPDL Semarang. Dari hasil tegangan tembus pada isolator tumpu bahan resin epoksi dengan dua kondisi, kondisi basah dan kering, didapatkan nilai kemampuan tegangan pada kondisi kering sebesar 100 kV dan kondisi basah sebesar 70 kV dan masih sesuai dengan standar PLN yaitu minimal 65 kV pada kondisi basah. Pada nilai tahanan isolasi pada keadaan kering didapatkan bahwa nilai tahanan isolasi mencapai lebih dari 1000 GΩ. Dari hasil tersebut apabila merujuk pada referensi standar internasional VDE (catalogue 228/4) dengan nilai tahanan isolasi 1 MΩ setiap 1 kV maka hasil tersebut sudah sesuai dengan standar. Kemudian yang ketiga yaitu nilai *tangen delta* yang terukur, nilai terbesar yang didapatkan pada tegangan input terbesar yaitu 9,99 kV hasil sebesar 0,495 %. Hasil tersebut masuk dalam kategori "BAIK" apabila merujuk pada standar ANSI C 57.12.90, dimana pada standar tersebut tangen delta kurang dari 0,5 % termasuk dalam kategori "BAIK".

Kata kunci: p

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik untuk kehidupan sangatlah besar. Dari sektor pendidikan, ekonomi, sosial, dan politik semua membutuhkan konsumsi energi listrik. Dengan adanya hal itu sistem ketenaga

listrikan yang handal sangat dibutuhkan untuk menunjang berbagai kebutuhan konsumsi energi listrik tersebut. Sistem tenaga listrik yang handal tentunya didukung dengan peralatan dan material pendukung yang berkualitas. Tingkat kehandalan suatu sistem

tenaga listrik dapat dilihat salah satunya dengan jumlah pemadaman listrik yang diakibatkan oleh gangguan. Salah satu penyebab gangguan yang sering mengakibatkan pemadaman listrik adalah gangguan yang disebabkan oleh kualitas material pendukung ketenaga listrikan. Material pendukung ketenaga listrikan sangatlah beragam fungsi dan jenis bahannya, dari material konduktor/kabel, material tiang listrik, material isolator, material *suspension clamp*, material *tension clamp*. Dari berbagai macam material tersebut salah satunya adalah material isolator yang cukup banyak digunakan sehingga memiliki nilai resiko penyebab gangguan padam yang diakibatkannya.

Isolator pada pemasangan luar memiliki dua klasifikasi fungsi yaitu fungsi sebagai penyangga tumpuan (isolator tumpu) dan yang kedua fungsi sebagai penyangga tarikan (isolator penegang). Pada isolator tumpu penempatan penggunaan material isolator tumpu diklasifikasikan menjadi 2 jenis tempat, yaitu material isolator tumpu pasangan luar dan material isolator pasangan dalam. Dari kedua klasifikasi tempat tersebut, material isolator tumpu pasangan luar yang memiliki kerentanan terhadap kerusakan. Penyebab kerusakan isolator tumpu pada pasangan luar diakibatkan dari faktor suhu/kelembaban lingkungan, faktor hewan dan faktor sistem tenaga listrik itu sendiri. Material isolator pasangan luar yang sudah banyak terpasang diproduksi dari beberapa jenis bahan, antara lain bahan porselen/keramik, bahan kaca, dan bahan polimer. Setiap bahan isolator tersebut memiliki kekurangan pada kondisi tertentu. Sebagai contoh, bahan polimer memiliki kekurangan terhadap resiko kerusakan akibat gangguan hewan. Pada beberapa kasus bahan polimer yang dipasang pada pasangan luar terjadi kerusakan pada permukaan bahan polimer yang cenderung elastis sehingga menjadi sasaran pematukan burung. Kasus demikian mengakibatkan nilai isolasi bahan polimer menjadi berkurang. Kemudian kasus yang lain terjadi pada bahan isolator dengan bahan porselen, bahan porselen cukup banyak diminati oleh kalangan teknisi listrik. Namun bahan ini sangat rentan terhadap benturan benda keras terutama pada bagian siripnya, sehingga apabila salah satu sirip mengalami kerusakan maka harus diganti dengan isolator baru. Keadaan tersebut membuat bahan porselen sangat mudah pecah apabila tidak cukup berhati-hati dalam pemasangannya. Dan Selain itu juga bahan porselen cenderung sangat berat, sehingga cukup sulit dalam proses pemasangan.

Dari beberapa kasus tersebut maka dilakukanlah

penelitian dengan membuat isolator yang memiliki kelebihan dibandingkan ketiga jenis isolator diatas. Dari beberapa referensi penelitian didapatkan bahan resin epoksi yang memiliki beberapa kelebihan untuk dijadikan bahan dasar pembuatan isolator tumpu. Bahan resin epoksi adalah golongan polimer termoset dimana campuran dua komponen yang akhirnya berbentuk seperti kaca pada temperatur ruang yang mempunyai sifat isolasi listrik yang layak dan juga mempunyai kekedapan air yang tinggi. Resin epoksi memiliki karakteristik: sifat kekentalan rendah, mudah dibentuk, penyusutan yang rendah, tingkat kekerasan tinggi, sifat mekanik tinggi, isolasi listrik yang tinggi serta ketahanan kimia yang baik [1].

Dalam penelitian kali ini, isolator akan dibuat dengan desain dua sirip yang terpisah. Tiap sirip akan memiliki konstruksi isolator tersendiri, sehingga apabila salah satu konstruksi sirip mengalami kerusakan maka biaya penggantiananya cukup dengan mengganti satu sirip saja yang rusak tidak diperlukan kedua siripnya untuk diganti. Dengan adanya hal ini akan menghemat biaya pengeluaran pemeliharaan. Selain itu bahan penyusun isolator yang digunakan adalah bahan resin epoksi, kemudian bahan serbuk silika sebagai bahan pengisinya dan bahan silane sebagai bahan pendukung. Isolator yang telah terbentuk selanjutnya akan dilakukan analisa dengan mengujikan beberapa materi uji terkait nilai isolasinya dan nilai kemampuan mekanisnya.

II. LANDASAN TEORI

A. Bahan Isolasi

Isolasi adalah salah satu sifat bahan yang memiliki karakteristik tidak mampu menghantarkan listrik. Bahan isolasi adalah bahan yang tidak bisa atau sulit melakukan perpindahan muatan listrik. Dalam bahan isolasi nilai valensi elektronnya terikat kuat pada atom-atomnya. Dengan memiliki karakteristik tersebut bahan isolasi seringkali digunakan sebagai bahan-bahan material pada sistem tenaga listrik, baik pada klasifikasi tegangan rendah, tegangan menengah maupun pada tegangan tinggi.

Bahan isolasi pada sistem ketenaga listrikan digunakan sesuai dengan fungsi penggunaannya. Pada sistem saluran udara tegangan menengah contohnya, bahan isolasi digunakan untuk menyekat bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak boleh dialiri tegangan. Kemudian pada peralatan transformator, bahan isolasi digunakan sebagai pemadam busur api

pada belitan transformator. Sama halnya dengan transformator, bahan isolasi pada peralatan PMT/*circuit breaker* digunakan sebagai pemadam busur api pada saat terjadi pemutusan sistem tenaga listrik. Setiap bahan isolasi yang digunakan pada sistem tenaga listrik memiliki jenis bahan yang berbeda-beda, ada bahan cair, udara, padat. Suatu bahan isolasi yang baik harus mempunyai resistansi isolasi tinggi, dan kekuatan dielektrik yang baik sehingga sifat hantarnya dapat diminimalkan.

Berdasarkan fungsinya, bahan isolasi dapat digolongkan menjadi:

1. Penyangga / penggantung (*solid support*) yaitu bahan isolasi berbentuk padat. (contoh: keramik, polimer, kayu dan sebagainya).
2. Bahan pengisi (*filling media*) yaitu bahan isolasi berbentuk cair atau gas, misalnya minyak, bitumen, aneka gas dan udara.
3. Bahan penutup (*covering material*) yaitu bahan isolasi yang biasanya terdapat pada bagian luar, berupa bahan padat atau cair, misalnya mika, pennis atau enamel.

B. Parameter Kelayakan Teknis Isolator Tumpu

1. Parameter Kemampuan Tegangan Tembus

Pada parameter kelayakan yang pertama adalah parameter kelayakan dari sisi kemampuan isolator dalam menahan tegangan, dimana pada parameter ini isolator akan diujikan untuk dapat menerima tegangan terapan hingga mencapai batas maksimal isolator dapat menerimanya tanpa adanya indikasi kerusakan isolasi.

Adapun parameter yang digunakan adalah buku standar konstruksi distribusi PT.PLN (Persero) yang digunakan. Pada buku standar konstruksi tersebut, disebutkan nilai tegangan pengenalan isolator tumpu adalah sebesar 24 kV[2]. Dari referensi tersebut maka akan dapat diketahui seberapa layak objek pengujian untuk dapat diterapkan.

2. Parameter Kemampuan Tahanan Isolasi

Parameter yang kedua adalah parameter seberapa besar nilai tahanan yang dimiliki oleh isolator tumpu. Nilai tahanan adalah salah satu indikasi seberapa baik isolasi suatu bahan. Semakin tinggi nilai tahanan yang dimiliki oleh suatu bahan, maka akan semakin baik nilai isolasi bahan tersebut.

Adapun standar yang digunakan untuk dijadikan parameter kelayakan adalah standar internasional

VDE (*catalogue 228/4*) dengan nilai tahanan isolasi 1 M Ω setiap 1 kV[3]. Dari standar tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk isolator tumpu pada tegangan kerja 20 kV, minimum nilai tahanan isolasi yang dimiliki adalah sebesar 20 M Ω .

3. Parameter Nilai Tangen Delta

Parameter yang terakhir adalah parameter uji untuk pengujian *tangen delta*. Pengujian *tan δ* ditujukan untuk mendeteksi besarnya rugi-rugi dielektrik pada isolasi peralatan listrik yang berpengaruh pada umur pakai suatu peralatan listrik[4].

Pada penelitian ini penulis menggunakan referensi parameter standar pengujian untuk *tangen delta* dengan menggunakan standar ANSI C 57.12.90. Dijelaskan pada standar ANSI nilai standar parameter yang dikategorikan nilai *tangen delta* masih dalam keadaan baik adalah sebesar kurang dari 0,5%. Dari parameter tersebut maka isolator tumpu yang dibuat oleh penulis untuk memenuhi nilai kelayakan sesuai dengan standar ANSI harus memiliki nilai *ukur tangen delta* dibawah nilai 0,5%.

III. METODE PENELITIAN.

Pada penelitian ini penulis melaksanakan penelitian dengan menerapkan tegangan tinggi serta menerapkan tekanan mekanis yaitu kuat tekan dan kuat tarik pada isolator tumpu resin epoksi dengan sirip terpisah. Hal ini dilaksanakan untuk mengetahui kemampuan isolator tersebut terhadap tekanan elektrik dan tekanan mekanis yang diterapkan pada isolator. Pengujian dilaksanakan pada tiga lokasi pengujian, yaitu Laboratorium Tegangan Tinggi PT. PLN (Persero) UPDL Semarang.

Adapun Metodologi yang digunakan penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan Isolator

Pada tahapan ini penulis membuat isolator tumpu yang dilaksanakan dengan sarana cetakan isolator yang dibuat dari bahan silicon rubber. Setelah cetakan *silicon rubber* selesai dibentuk, tahap selanjutnya penulis melaksanakan proses pencetakan isolator tumpu dengan tiga bahan pengisi, yaitu bahan resin epoksi, serbuk silika dan silaen. Adapun proses pembuatan isolator dengan bantuan media cetakan yang terbuat dari bahan RTV *silicon rubber*[5].

2. Pengujian Isolator

Pada tahap ini penulis melaksanakan pengujian dengan menyiapkan objek pengujian yaitu isolator tumpu yang telah dicetak serta peralatan uji yang diperlukan untuk proses pengujian. Adapun peralatan yang digunakan penulis adalah alat uji tegangan tembus, alat uji tangen delta, dan alat uji tahanan isolasi.

Adapun pengujian yang dilaksanakan pada tahapan pengujian tegangan tembus dilakukan dengan dua metode pengujian, yaitu pengujian dalam kondisi kering dan pengujian dalam kondisi basah. Hal ini dikarenakan kondisi basah dan kering akan berpengaruh terhadap kemampuan isolasi suatu bahan [3].

3. Pengolahan Data Pengujian

Tahapan selanjutnya adalah tahapan pengolahan data pengujian, dimana pada tahapan ini penulis mengolah hasil data pengujian untuk dijadikan analisa hasil pengujian. Data-data yang didapatkan akan direkap dengan membuat tabel hasil pengujian pada masing-masing parameter pengujian. Dimana tabel yang disusun berjumlah empat jenis tabel, yaitu tabel pengujian tegangan tembus kondisi kering, tabel pengujian tegangan tembus kondisi basah, tabel pengujian tahanan isolasi, dan yang terakhir adalah tabel pengujian tangen delta.

4. Analisis Hasil Pengujian

Pada tahapan akhir penulis akan menganalisa hasil pengujian berdasarkan olahan data yang didapatkan dalam bentuk tabel. Pada tahapan analisa ini penulis akan menganalisa dan membandingkan nilai hasil pengujian untuk kemudian disandingkan dengan referensi standar-standar yang telah ditentukan oleh penulis. Sehingga hasil pengujian penelitian dapat ditarik kesimpulan seberapa sesuainya objek penelitian dengan parameter-parameter yang telah distandarkan.

A. Bahan Isolator

Pada penelitian ini penulis menjelaskan terdapat bahan-bahan penelitian yang akan dianalisa tingkat kelayakannya dari segi teknis. Adapun jenis-jenis bahan penelitiannya adalah sebagai berikut :

a. Bahan Resin Epoksi

Resin epoksi adalah kombinasi dari *bisphenol A* dan *epichlorohydrin* yang mempunyai formasi dari rentetan polimer, yang mengandung dua kelompok *reaktif epoxide* dan *hydroxyl*. Salah satu material isolasi polimer adalah resin epoksi yang secara luas digunakan sebagai isolasi pada banyak peralatan listrik karena material ini mempunyai karakteristik listrik dan mekanik yang sangat baik[1]. Bahan resin epoksi digunakan sebagai bahan pembuat isolator tumpu karena memiliki karakteristik isolasi yang baik[9]. Kelebihan resin epoksi adalah memiliki kestabilan di bawah kondisi-kondisi yang kurang baik, sehingga sangat baik dalam meningkatkan keandalan peralatan listrik, selain itu resin epoksi memiliki dielektrik yang sempurna dan sifat-sifat mekanik yang baik[6].



Gambar 1. Resin epoksi dan Hardener

b. Bahan Silaen

Bahan silaen atau lebih dikenal dalam bidang kimia adalah *silicone rubber* adalah sebuah bahan yang memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi. Selain itu bahan silaen tersebut dikenal memiliki karakteristik *hidropobik* yang cukup baik, artinya bahan tersebut cenderung menolak air. Karakteristik *hidropobik* tersebut sangat bermanfaat apabila digunakan sebagai bahan material isolasi yang dipasangkan pada pasangan luar. Hal ini dapat membantu mengurangi nilai resiko gradasi permukaan suatu bahan akibat aliran air hujan karena sifat *hidropobik* tersebut yang cenderung menolak air.



Gambar 2. Lem Sealant

c. Bahan Pasir Silika

Silika atau dikenal dengan *silikon dioksida* (SiO_2) merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan galian yang disebut pasir kuarsa, terdiri atas kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan[6]. Pada penelitian ini bahan silika yang digunakan adalah bahan serbuk silika yang telah melewati proses penyaringan sehingga pasir silika yang dijadikan bahan pengisi lebih halus. Pasir silika dijadikan bahan pengisi isolator tumpu resin epoksi karena dapat meningkatkan nilai kekuatan mekanis pada bahan resin epoksi. Pada penelitian referensi [7] semakin halus pasir silika yang digunakan sebagai pengisi maka semakin bagus nilai kuat mekanis mekanis suatu bahan.



Gambar 3. Pasir Silika

B. Pengujian Isolator

1. Uji Tegangan Tembus

Pada tahapan analisa pengujian tegangan tembus pada penelitian ini penulis menggunakan peralatan uji tegangan tinggi dengan frekuensi 50 Hz. Adapun peralatan uji yang digunakan penulis adalah peralatan uji tegangan tinggi yang digunakan dengan detail sebagai berikut :

- Merk : Baur
- Type : PGK HB
- Deskripsi : HV Test AC/DC
- Variasi Tegangan : 0 - 110 kV AC: 0 – 150 kV DC
- Kelas kesalahan : 1,5
- Arus maximum AC: 11 mA
- Arus maximum DC: 10 mA
- Dioperasikan dari Sumber tegangan 220 Volt AC

Alat pengujian tegangan tinggi tersebut terdiri dari tiga bagian utama, yaitu bagian transformator sebagai penaik tegangan, yang kedua adalah regulator yang berfungsi sebagai pengatur tegangan dan sebagai indikator nilai tegangan dan arus bocor, dan yang ketiga adalah meja uji yang berfungsi sebagai media atau tempat bahan yang akan diujikan.



Gambar 4. Tranformator Tegangan Tinggi

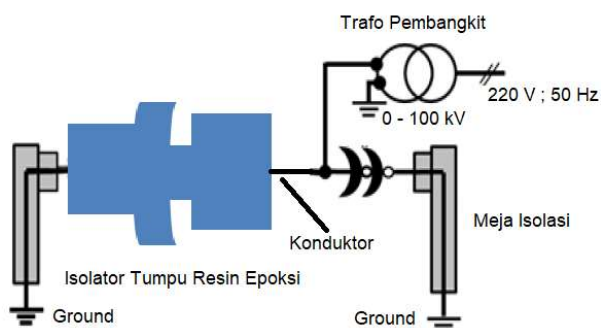


Gambar 5. Regulator Tegangan



Gambar 6. Meja Uji

Pada pengujian nilai tegangan tembus ini adalah penelitian yang merepresentasikan kemampuan suatu objek (dalam hal ini adalah isolator tumpu dengan bahan pengisi resin epoksi, serbuk silika, dan silaen) terhadap tegangan yang mengalir dipermukaan objek tersebut. Metode pengujian yang dilaksanakan penulis adalah metode uji dengan menganalisa kondisi isolator pada dua kondisi pengujian. Yang pertama adalah kondisi kering, dimana objek atau isolator yang diujikan adalah isolator dalam kondisi kering. Kemudian yang kedua adalah kondisi basah, dimana pengujian tegangan tembus yang dilakukan adalah pengujian dengan kondisi basah. Dimana kondisi basah yang diterapkan adalah kondisi basah dengan cara disemprotkan air kebagian permukaan isolator[8]. Tegangan uji yang diberikan sebesar 20 – 100 kV bila arus bocor masih normal di bawah 1 mA selama 60 detik untuk masing – masing tegangan.



Gambar 7. Single Line Digram Pengujian Tegangan Tembus

2. Uji Tahanan Isolasi

Uji yang kedua adalah uji tahanan isolasi yang berfungsi untuk mengukur nilai tahanan isolasi suatu bahan maupun peralatan[12]. Satuan pengukuran peralatan tahanan isolasi adalah ohm (Ω). Adapun peralatan yang digunakan pada pengukuran tahanan isolasi tersebut adalah peralatan tahanan isolasi dengan merk *Kyoritsu* dengan tipe merk 3125. Peralatan tahanan isolasi tersebut terdiri dari dua bagian, yaitu yang pertama adalah bagian mesin uji yang dimana terdapat fitur pengatur nilai tegangan input dan terdapat pula fitur layar yang akan memberikan hasil nilai tahanan isolasi yang terukur pada objek pengujian. Kemudian bagian yang kedua adalah kabel ukur yang berfungsi sebagai media perantara input tegangan dan inputan analisa nilai tahanan isolasi. Kabel yang disediakan terdapat tiga warna, yaitu merah, hitam dan hijau.



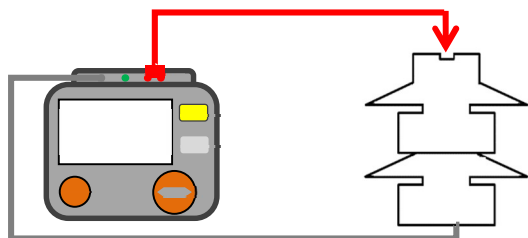
Gambar 8. Mesin Uji Tahanan Isolasi



Gambar 9. Kabel Uji Tahanan Isolasi

Pada pengujian nilai tahanan isolasi, penulis menggunakan metode pengujian kondisi kering. Dengan dasar nilai referensi yang diambil adalah referensi standar VDE (*Catalogue 228/4*) dimana disebutkan standar nilai tahanan isolasi yang

disyaratkan adalah setiap $1 \text{ kV} = 1 \text{ M}\Omega$, dimana nilai 1 kV adalah nilai tegangan fasa ke tanah. Tegangan yang digunakan sebesar 2500 dan 5000 Volt .



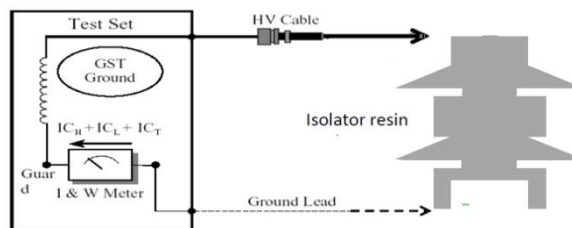
Gambar 10. Single Line Pengujian Tahanan Isolasi

3. Uji Tangen Delta

Uji yang ketiga adalah uji *tangen delta*. Uji *tangen delta* berfungsi untuk mengukur nilai isolasi pada isolator[12]. Dimana peralatan uji tersebut terdiri dari 3 bagian, yaitu bagian mesin, bagian laptop, dan bagian kabel uji. Adapun jenis peralatan yang digunakan adalah alat *tangen delta* dengan merk *Megger* tipe *Delta 4000*. Adapun kabel uji yang disediakan pada peralatan uji tangen delta sejumlah 3 buah kabel yaitu kabel LV (*Low Voltage*), kabel HV (*High Voltage*) dan kabel pentanahan. Pada pengujian tangen delta digunakan enam parameter input tegangan, yaitu 1 kV , 2 kV , 4 kV , 6 kV , 8 kV , 10 kV .



Gambar 11. Mesin Uji Tangen Delta



Gambar 12. Single Line Pengujian Tahanan Isolasi

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada pembahasan selanjutnya adalah pembahasan terkait hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, antara lain yaitu yang pertama pembahasan hasil pengujian tegangan tembus, yang kedua pembahasan hasil pengujian tahanan isolasi, yang ketiga adalah pembahasan hasil pengujian tangen delta. Dari ketiga hasil pengujian tersebut penuli akan dapat menyimpulkan beberapa bukti terkait tingkat kelayakan dari isolator tumpu dengan bahan pengisi resin epoksi, pasir silika dan *silicon rubber*.

A. Hasil Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus yang dilakukan oleh penulis dengan nilai parameter frekuensi 50 Hz , tegangan bervariasi naik hingga didapatkan nilai maksimum dengan indikasi adanya gejala ketidakmampuan isolasi dalam menahan tegangan. Adapun nilai tegangan yang diterapkan pada pengujian tersebut adalah selama satu menit pada tiap variasi nilai tegangan yang diterapkan.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tegangan Tembus (Kondisi Kering)

NO	TEGANGAN UJI (KV)	KETERANGAN
1	20	Tidak ada loncatan busur api
2	30	Tidak ada loncatan busur api
3	40	Tidak ada loncatan busur api
4	50	Tidak ada loncatan busur api
5	60	Tidak ada loncatan busur api
6	70	Tidak ada loncatan busur api
7	80	Tidak ada loncatan busur api
8	90	Tidak ada loncatan busur api
9	100	Tidak ada loncatan busur api

Dari tabel hasil penelitian tersebut penulis mendapatkan hasil dari pengujian tegangan tembus dengan menggunakan metode tegangan input yaitu tegangan tinggi dengan variasi tegangan dimulai dari tegangan 20 kV, 30 kV, 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV, 80 kV, 90kV, 100 kV. Didapatkan dari hasil pengujian tersebut objek pengujian atau isolator tumpu yang terbuat dari bahan pengisi resin epoksi mampu menahan tegangan kerja mencapai 100 kV dengan lamanya tegangan terapan satu menit.

Hasil tersebut dapat terlihat dari nilai tabel hasil pengujian bahwa pada setiap variasi tegangan yang diterapkan pada objek pengujian didapatkan kondisi objek tersebut tidak terdapat tanda-tanda kerusakan akibat tegangan terapan tersebut. Indikasi tersebut dapat menyimpulkan bahwa kemampuan objek pengujian dalam kondisi kering dapat menahan tegangan kerja mencapai satu menit.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tegangan Tembus (Kondisi Basah)

NO	TEGANGAN UJI (KV)	KETERANGAN
1	20	Tidak ada loncatan busur api
2	30	Tidak ada loncatan busur api
3	40	Tidak ada loncatan busur api
4	50	Tidak ada loncatan busur api
5	60	Tidak ada loncatan busur api
6	70	Tidak ada loncatan busur api
7	80	Terjadi loncatan busur api

Pada percobaan kedua pada parameter uji pengujian tegangan tembus, penulis mengujikan objek uji dengan kondisi basah hasil penyemprotan air. Penulis melaksanakan pengujian tegangan tembus pada objek dengan kondisi basah, dengan terapan tegangan bervariasi dari nilai 20 kV, 30 kV, 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV, dan 80 kV dengan waktu terapan tegangan pada setiap variasinya selama satu menit.

Dari hasil penelitian tersebut didapatkan hasil penelitian yang terangkum dalam satu tabel diatas. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa objek penelitian dengan kondisi basah mampu menahan tegangan kerja sebesar 70 kV dengan lamanya waktu tegangan terapan selama satu menit. Tegangan yang diterapkan pada objek pengujian tidak penulis naikan lebih tinggi lagi dikarenakan pada saat tegangan dinaikan pada nilai 80 kV terjadi fenomena *flash over* antara fasa dengan tanah, hal tersebut mengindikasikan bahwa nilai maksimal kemampuan isolasi dari objek hanya berkisar pada nilai 70 kV[13].

Fenomena flash over yang terjadi diindikasikan akibat adanya pengaruh kondisi objek yang dalam keadaan basah. Kondisi basah pada objek menurunkan nilai *creeping distance* tegangan yang mengalir pada permukaan isolator[10]. Akibatnya tegangan yang mengalir pada permukaan isolator mengalami *flash over* tegangan antara fasa ke tanah yang diakibatkan oleh menurunnya nilai *creeping distance*[11].

B. Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Penelitian tahanan isolasi yang dilakukan oleh penulis menggunakan alat uji tahanan isolasi dengan merk kyoritsu. Adapun nilai parameter uji yang diterapkan adalah sebesar 1 kV, 2,5 kV dan 5 kV. Adapun hasil penelitian pada pengujian tahanan isolasi pada objek pengujian isolator tumpu dengan bahan resin epoksi adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tegangan Tembus (Kondisi Kering)

NO	UJI TEGANGAN	HASIL PENGUJIAN	KETERANGAN
1	1000 V	Over Limit (> 2 G Ω)	Nilai batas ketelitian maksimum 2 G Ω
2	2500 V	Over Limit (> 100 G Ω)	Nilai batas ketelitian maksimum 100 G Ω
3	5000 V	Over Limit (> 1000 G Ω)	Nilai batas ketelitian maksimum 1000 G Ω

Hasil penelitian yang didapatkan adalah hasil “Over Limit”, dimana hasil tersebut muncul apabila alat uji yang digunakan tidak mampu membaca nilai tahanan yang terukur pada objek pengujian. Setiap variasi tegangan yang diinputkan oleh peralatan uji, maka nilai ketelitian pembacaan tahanan yang didapatkanpun berbeda-beda. Seperti pada tabel hasil penelitian diatas didapatkan nilai ketelitian pembacaan hasil tahanan isolasi pada variasi tegangan input 1 kV hanya maksimal diangka 2 GΩ. Kemudian pada nilai variasi tegangan input 2,5 kV diketahui tingkat ketelitian pembacaan tahanan hanya hingga nilai 100 GΩ, dan pada nilai variasi tegangan input yang terakhir yaitu dengan nilai tegangan 5 kV didapatkan nilai ketelitian pembacaan tahanan isolasi hanya mencapai 1000 GΩ.

Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan nilai tahanan isolasi yang terukur pada objek pengujian adalah lebih dari 1000 GΩ. Dari hasil pengukuran tahanan isolasi tersebut apabila disesuaikan dengan referensi standar VDE (*Catalouge 228/4*) dengan nilai tahanan isolasi yang ditetapkan adalah 1 MΩ setiap 1 kV-nya, maka dengan hasil penelitian 1000 GΩ pada tegangan 5 kV maka objek pengujian yang diteliti peneliti telah melampaui dari nilai yang disyaratkan, dan dikategorikan layak[12].

C. Hasil Pengujian Tangen Delta

Pada penelitian yang ketiga adalah pengujian tangen delta yang dilakukan oleh penulis. Berikut hasil pengukuran *tangen delta* yang didapatkan pada dari pengujian :

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tangen Delta

NO	TEGANGAN (kV)	ARUS BOCOR (mA)	% TAN DELTA
1	1	0,002	0,128
2	1,997	0,003	0,126
3	3,997	0,007	0,129
4	5,995	0,01	0,13
5	7,988	0,014	0,127
6	9,99	0,017	0,495

Dari hasil penelitian *tangen delta* yang didapatkan dengan enam nilai parameter tegangan input didapatkan nilai *tangen delta* dan arus bocor yang berbeda-beda. Dari nilai parameter tegangan terbesar yaitu 9,99 kV didapatkan hasil *tangen delta* yang terukur adalah 0,495 % dengan arus bocor senilai 0,017 mA. Nilai tangen delta dan nilai arus bocor tersebut juga adalah nilai terbesar dari beberapa parameter tegangan yang berbeda.

Apabila disandingkan dengan standar ANSI C 57.12.90 dengan nilai parameter kategori *GOOD*, *DETERIORATED*, *INVESTIGATE*, *BAD*. Parameter *GOOD* dikategorikan untuk nilai tangen delta kurang dari 0,5 %. Sehingga apabila disandingkan dengan hasil pengukuran penulis dengan nilai *tangen delta* terbesar yang didapatkan adalah sebesar 0,495 % maka objek pengujian yang terukur masuk dalam kategori *GOOD* sesuai dengan standar ANSI tersebut[12].

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan oleh penulis pada penelitian didapatkan dari hasil pengujian adalah sebagai berikut :

1. Isolator tumpu dengan bahan resin epoksi pada kondisi kering memiliki kemampuan terhadap tegangan kerja sebesar 100 kV selama satu menit tanpa adanya indikasi *flash over*.

2. Isolator tumpu dengan bahan resin epoksi pada kondisi basah memiliki kemampuan terhadap tegangan kerja sebesar 70 kV selama satu menit tanpa adanya indikasi *flash over*.
3. Tegangan terapan sebesar 80 kV yang dialirkan pada isolator kondisi basah akan memicu terjadinya flash over yang diakibatkan oleh ada menurunnya nilai *creeping distance* yang diakibatkan oleh air yang mengalir.
4. Nilai tahanan isolasi yang terukur pada isolator tumpu dengan bahan resin epoksi didapatkan sebesar lebih dari 1000 G Ω dengan nilai tegangan input 5 kV. Sehingga isolator tumpu dengan bahan resin epoksi tergolong layak apabila disandingkan dengan standar internasional VDE dengan nilai standar 1 G Ω pada setiap 1 kV.
5. Nilai *tangen delta* yang didapatkan pada tegangan terapan terbesar dengan nilai tegangan 9,99 kV didapatkan nilai *tangen delta*-nya adalah sebesar 0.495 %. Dari hasil tersebut apabila disandingkan dengan standar internasional ANSI C 57.12.90 dengan kriteria "GOOD" adalah kurang dari 0,5 %, maka isolator tumpu dengan bahan resin epoksi tergolong dalam kriteria "GOOD" menurut standar ANSI.

REFERENSI

- [1] A. Syakur, I. Novia A, S. Sarjiya, and H. Berahim, "Pengaruh Penambahan Silikon Terhadap Sudut Kontak Hidropobik dan Karakteristik Arus Bocor Permukaan Bahan Resin Epoksi," *Teknik*, vol. 32, no. 3, pp. 198-202, Feb. 2012.
- [2] PT. PLN (Persero), "Buku 1 kriteria Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik," 2010.
- [3] Suwadi, "Analisis Perbandingan Arus Bocor Pada Pengujian Isolator Polimer Resin Epoksi Sistem Distribusi 20 kV Tipe Tiga Sirip Sama Dan Tipe Tiga Sirip Tidak Sama," *Society*, pp. 1-88. 2019.
- [4] A. Syakur, G. Susilowati, S. AK, and A. P. Siregar, "Pengujian Tan Δ pada Kabel Tegangan Menengah," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 107-112, Mar. 2012.
- [5] R. Joni Setiawan, Ady Prasetyo, "Pengaruh Penambahan TALC terhadap Peningkatan Nilai Kekerasan Cetakan RTV Silicone Rubber pada Proses Spin Casting," *Majalah Ilmiah : Dinamika Kerajinan dan Batik*, vol.34, no. 1. 2017.
- [6] J. Heri, Y. Yuningtyastuti, and A. Syakur, "Studi Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane Dengan Variasi Pengisi Pasir Silika (Dengan Polutan Pantai)," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 14, no. 1, pp. 20-37, Jun. 2012.
- [7] F. Rahman, "Pengaruh Kehalusan Serbuk Pasir Silika Terhadap Kekuatan Tekan Mortar," *Info Tek*, vol. 7, no. 2, pp. 56-66. 2006.
- [8] Slamet Hani, "Pengujian Tegangan Tembus Pada Isolasi Rubber Dalam Rendaman Minyak," *J. Teknol. TECHNOSCIENTIA*, vol. 9, no. 1, pp. 1689-1699. 2013.
- [9] S. H. Mahdi, W. H. Jassim, I. A. Hamad, and K. A. Jasima, "Epoxy/Silicone Rubber Blends for Voltage Insulators and Capacitors Applications," *Energy Procedia*, vol. 119, pp. 501-506. 2017.
- [10] M. Xayyavong, K. Tonmitr, N. Tonmitr, and E. Kaneko, "The Investigation of Insulation Breakdown Strength for the Nano-composite Oxide Doped Epoxy Resin Insulator by Using Positive Impulse Voltage in Comparison with Negative Impulse Voltage," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 86, March, pp. 389-392. 2016.
- [11] L. M. K. Amali, "Analisis Pengujian Arus Bocor Line Post Insulator 70 kV yang Terkontaminasi," *Jurnal Tek. Elektro, Univ. Negeri Gorontalo*, vol. 2, no. 1, pp. 113-116. 2012.
- [12] D. Aribowo, R. Wiryadinata, D. A. Yh, and A. L. Belakang, "Care and Maintenance System Generator Transformer 20KV-150KV," *Electr. - J. Rekayasa dan Teknol. Elektro Care*, vol. 9, no. 1, pp. 31-36. 2014.
- [13] F. M. Abdul Rasyid, "Karakteristik Tegangan Tembus AC pada Material Isolasi Padat Campuran Resin Dengan Alumina (Al₂O₃)," *FTeknik*, vol. 4, no. 2, pp. 1-7. 2017.

ISSN 2830-523X



Alamat Redaksi & Tata Usaha

Gedung Dharma Penelitian
Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknik
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung
Balunijuk, Kab. Bangka, Prov. Kep. Bangka Belitung
Laman : <http://journal.ubb.ac.id/index.php/electron>
e-mail : jurnalelectron@gmail.com