

Rancang Bangun Prototipe Sistem *Monitoring* Sinkronisasi Generator ke Jaringan PLN pada PLTM Berbasis SCADA

Ridwan, Irma Ekawati Lestari, Fitria Suryatini

Teknologi Rekayasa Otomasi, Politeknik Manufaktur Bandung

Email: ridwan@polman-bandung.ac.id

Informasi Artikel:

Received:
15 Maret 2023

Accepted:
1 April 2023

Available:
15 Mei 2023

ABSTRAK

Sistem pembangkit listrik pada umumnya terdiri dari peralatan untuk membangkitkan listrik, sistem kontrol dan sistem *monitoring*. Sistem *monitoring* terletak di *control room* yang lokasinya cukup jauh dari peralatan pembangkit, sehingga menggunakan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sebagai solusi untuk hal tersebut. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan rancang bangun prototipe sistem *monitoring* sinkronisasi generator ke jaringan PLN pada PLTM (Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro) berbasis SCADA. Sistem SCADA menyajikan data dalam bentuk grafik dan tulisan yang nilainya berupa data dari GPC-3 *Hydro* dan PLC. Protokol yang digunakan untuk komunikasi adalah *modbus* TCP/IP. Hasil dari pengujian yang telah dilakukan membuktikan bahwa sistem SCADA yang dibuat sudah mampu melakukan *monitoring* data RTU baik dari GPC-3 *Hydro* maupun PLC secara *real time* saat pembangkit sedang beroperasi. Indikatornya berupa kesesuaian nilai data antara SCADA dengan *modbus* yang terhubung pada GPC-3 *Hydro* dan PLC serta didukung kesesuaian nilai waktu yang terekam pada data tabel *alarm* dan grafik.

Kata Kunci:

Sistem Pembangkit,
Sinkronisasi,
Modbus TCP/IP,
PLTM Mini-Hydro,
RTU SCADA

ABSTRACT

The power generator system generally consists of equipment to generate electricity, control systems, and monitoring systems. The monitoring system is usually located in a control room, which is located quite far from the generating equipment, so many use SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) as a solution for this. Design of a prototype monitoring system for synchronization of generators to the PLN line was carried out on a SCADA-based MHPP (Mini-Hydro Power Plant). The SCADA system presents data in the form of graphs and writings whose values are in the form of data from GPC-3 Hydro and PLC. The protocol used for communication is Modbus TCP/IP. The results of the tests that have been carried out prove that the created SCADA system is capable of monitoring RTU data from both GPC-3 Hydro and PLC in real-time while the generator is operating. The indicator is the suitability of data values between SCADA and Modbus which is connected to GPC-3 Hydro and PLC and is supported by the suitability of the time values recorded in the alarm table data and graphs.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan akan energi listrik menjadi salah satu alasan pembangunan sistem pembangkit listrik, hal tersebut didukung dengan kebijakan mengenai ketenagalistrikan yang diatur oleh pemerintah melalui Peraturan Pemerintah No. 3 Tahun 2005 yang menyatakan "guna menjamin ketersediaan energi primer untuk penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum, diprioritaskan penggunaan sumber energi setempat dengan kewajiban mengutamakan pemanfaatan sumber energi terbarukan". Salah satu energi terbarukan adalah air, aliran air sungai banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik, [1]. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) terbagi menjadi beberapa macam sesuai kapasitas, diantaranya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) [2]. Salah satu PLTM yang ada di Jawa Barat adalah PLTM Cilaki 1B dengan kapasitas 1 MW - 75 MW. Studi kelayakan pamebangkit listrik mikrohidro dan rencana pengembangan pembangkit listrik tenaga air skala minihidro di area tersebut menunjukkan bahwa potensi debit yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik [3].

Sistem pembangkit listrik pada umumnya terdiri dari peralatan untuk membangkitkan listrik, sistem kontrol dan sistem *monitoring*. Sistem *monitoring* terletak di *control room* yang lokasinya cukup jauh dari peralatan pembangkit, sehingga banyak yang menggunakan SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) sebagai solusi. SCADA digunakan untuk melakukan *monitoring* parameter-parameter dari seluruh peralatan yang digunakan pada sistem pembangkit listrik secara *real time* dan tercatat sehingga memudahkan operator dalam pekerjaannya [4]. Sistem pembangkit listrik diawali dari pembangkitan listrik pada generator [5]. Dengan proses sinkronisasi ke jaringan distribusi PLN [6]. Proses sinkronisasi ke jaringan distribusi dilakukan sesuai dengan permintaan dari petugas Pusat Pengaturan dan Pengendalian Beban (P3B). Jika terjadi peningkatan kebutuhan listrik dan kondisi harus aman [7], maka P3B akan menghubungi perusahaan pembangkit listrik untuk menaikkan daya unit pembangkit yang sudah *on line* atau bahkan meminta unit pembangkit yang *stand by* untuk dioperasikan [8]. Sinkronisasi dari sistem pembangkit ke jaringan PLN dapat dilakukan jika tegangan, frekuensi, sudut dan urutan fasa antara sistem pembangkit dan jaringan sudah sama [9]. Salah satu bendungan dengan pemantauan debit air secara otomatis [10], khusus bendungan air Cilaki 1B dimanfaatkan sebagai PLTM. GPC adalah suatu alat yang berfungsi sebagai pengontrol dan pengaman generator [7]. Proses sinkronisasi dilakukan secara otomatis, dengan bantuan alat berupa GPC (*Generator Paralleling Controller*) [11]. Selain itu, GPC juga membantu melakukan sinkronisasi generator pada busbar secara otomatis sehingga memudahkan operator dalam pekerjaannya [12].

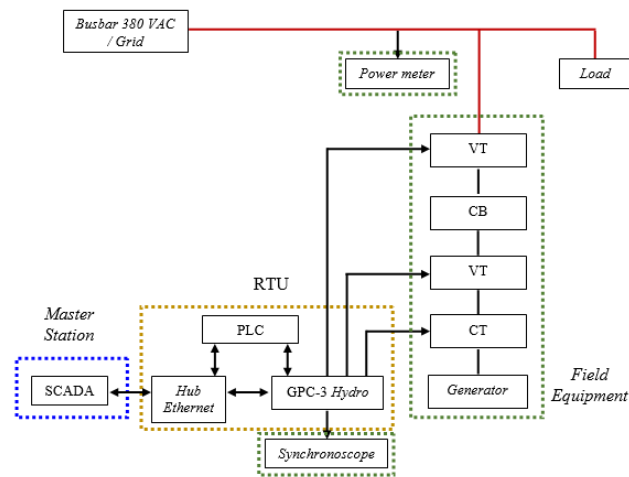
Proses sinkronisasi generator akan dilakukan dengan metode sinkronisasi otomatis menggunakan alat berupa GPC (*Generator Paralleling Controller*) yang terintegrasi dengan kontroler berupa PLC (*Programmable Logic Control*). Sistem pembangkitan listrik akan dioperasikan oleh operator melalui SCADA. Salah satu tekniknya dengan *transfer switch* [13]. SCADA digunakan untuk mengamati parameter dari prototipe sistem pembangkit ini secara *real time* dan tercatat, mulai dari pembangkitan listrik hingga sinkronisasi sehingga memudahkan operator dalam pengoperasian dan pelaporan data [14]. Data yang ditampilkan oleh SCADA berupa nilai parameter, status aktivitas dan alarm yang terjadi pada sistem pembangkit. Tujuan utama dari proses sinkronisasi adalah untuk menambah daya yang dibutuhkan saat terjadi beban puncak sehingga sistem tetap stabil dan mencegah terjadinya *blackout* jika terjadi gangguan pada sistem distribusi. Latar belakang di atas dibuatlah rancang bangun prototipe sistem *monitoring* sinkronisasi generator ke jaringan PLN pada PLTM berbasis SCADA.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan pada penelitian ini dimulai dengan melakukan pengumpulan data, perancangan sistem, pembuatan sistem, integrasi dan pengujian sistem, evaluasi sistem, terakhir laporan dan publikasi. Prototipe sistem *monitoring* ini akan diuji pada skala lab dengan menggunakan 2 (dua) set generator dimana salah satu generator akan disinkronkan dengan generator lain yang berperan sebagai jaringan PLN.

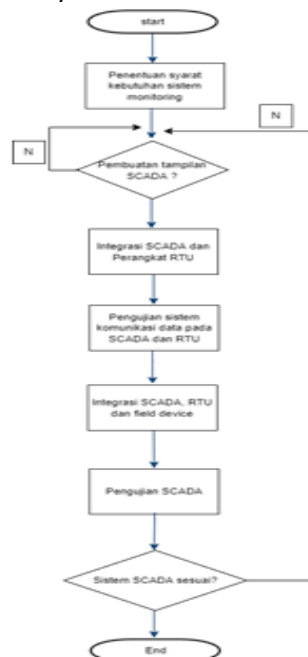
2.1 PERANCANGAN SISTEM

SCADA dirancang untuk menampilkan data yang akan disampaikan kepada pengguna sesuai dengan persyaratan yang sudah ditentukan. Diawali dengan pembuatan tampilan SCADA sesuai dengan kebutuhan dan dilanjutkan dengan proses pengambilan data dari RTU yaitu PLC dan GPC. SCADA berkomunikasi dengan RTU menggunakan protocol TCP/IP [15].



Gambar 1. Diagram blok sistem *monitoring* proses sinkronisasi generator berbasis SCADA

Pada diagram blok, SCADA sebagai master station, sedangkan PLC, GPC, dan *Hub Ethernet* sebagai RTU (*Remote Terminal Unit*). *Field equipment* terdiri dari generator yang terhubung dengan CT (*Current Transformer*), VT (*Voltage Transformer*), sedangkan CB (*Circuit Breaker*) terhubung ke *grid/busbar* serta dilengkapi *Synchronoscope* dan *Power meter*.



Gambar 2. Flowchart sistem *monitoring* proses sinkronisasi generator berbasis SCADA

Flowchart menjelaskan bahwa pembuatan prototipe sistem *monitoring* diawali dengan penjabaran syarat kebutuhan dari sistem *monitoring*. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan tampilan sesuai dengan syarat kebutuhan yang ditentukan. Jika tampilan sudah sesuai maka dilanjutkan ke proses integrasi SCADA dan perangkat RTU, namun jika belum sesuai maka tampilan SCADA akan diperbaiki. Setelah itu, dilakukan proses pengujian sistem komunikasi antara SCADA dengan RTU dan dilanjutkan dengan melakukan integrasi SCADA, RTU dan *field device*. Tahapan akhir adalah melakukan pengujian SCADA yang sudah terintegrasi dengan seluruh peralatan. Jika SCADA belum sesuai maka dilakukan kembali perbaikan.

Persyaratan sistem

1. Perintah untuk menjalankan dan memberhentikan sistem pembangkit dapat dilakukan dari SCADA.
2. Button start pada SCADA untuk menjalankan proses pembangkitan listrik mulai dari penyalaan generator sampai terjadinya proses sinkronisasi dengan busbar dan sinkronisasi akan terus berlangsung sampai ada perintah untuk menghentikan proses sinkronisasi dari dispatcher gardu induk atau saat keadaan *emergency*.
3. Button stop pada SCADA untuk melepas sinkronisasi dan memberhentikan proses pembangkitan listrik.
4. Tombol *emergency stop* digunakan untuk menghentikan sistem ketika keadaan darurat terjadi, dan jika akan menghidupkan sistem pembangkit maka harus dilakukan reset *alarm emergency* melalui SCADA.
5. Ketentuan *alarm warning* dan trip sistem pembangkit adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Tabel ketentuan kondisi *alarm warning* dan trip

No	Keterangan data	Alarm
1	<i>Winding temperature</i> = 90 ⁰ C	Warning
2	<i>Winding temperature</i> = 95 ⁰ C	Trip (Emergency)
3	<i>Bearing temperature</i> = 60 ⁰ C	Warning
4	<i>Bearing temperature</i> = 65 ⁰ C	Trip (Emergency)
5	<i>Water level</i> = 3, 5 m	Warning
6	<i>Water level</i> = 3 m	Trip (Emergency)

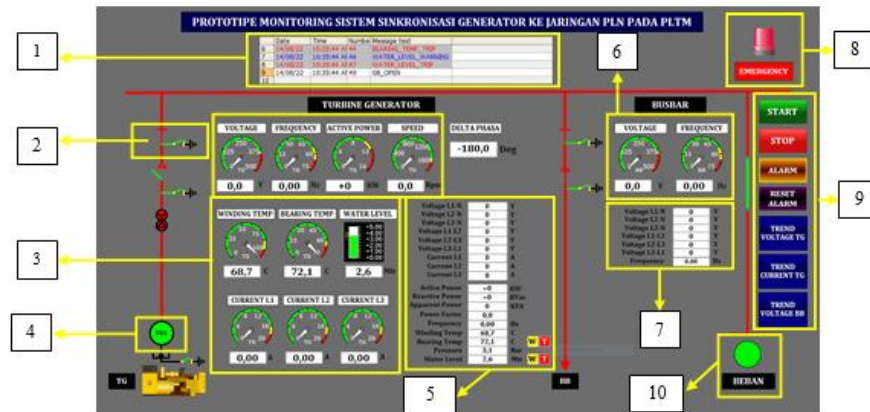
6. Syarat-Syarat Sinkronisasi generator ke jala-jala PLN [4].

Tabel 2. Tabel syarat sinkronisasi

No	Syarat Sinkronisasi	Nilai
1	Tegangan " <i>in coming</i> " generator harus sama dengan tegangan bus-bar/jala-jala.	380 V -10%
2	Frekuensi " <i>in coming</i> " generator harus sama dengan frekuensi bus-bar/jala-jala.	50 Hz +0.2
3	Fase (phase) tegangan " <i>in coming</i> " dari generator harus sama dengan fase tegangan bus-bar yang berhubungan.	± 10%
4	Urutan dan jumlah fase tegangan " <i>in coming</i> " dari generator harus sama dengan urutan dan jumlah fase tegangan bus-bar/jala-jala.	

Rancang Bangun Prototipe Sistem *Monitoring* Sinkronisasi Generator Ke Jaringan PLN Pada PLTM Berbasis SCADA

2.2 Perancangan Tampilan



Gambar 3. Tampilan utama SCADA.

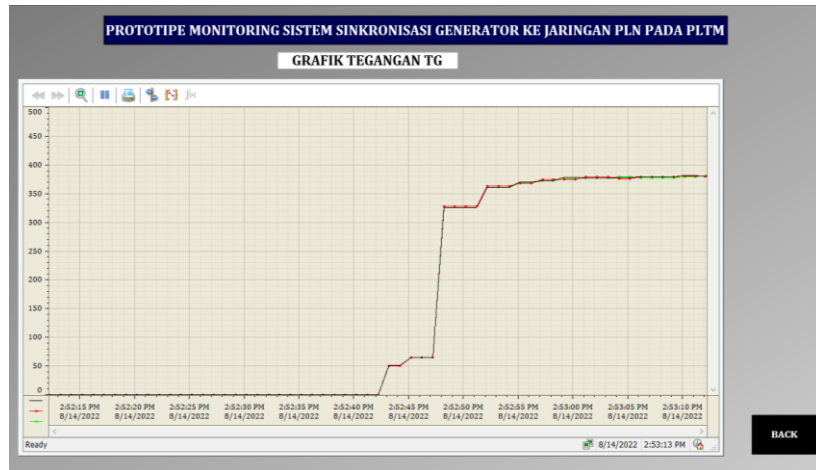
Tampilan layar utama SCADA terdiri dari:

1. Tabel status, berisi data berupa status dari aktivitas yang terjadi.
2. Kontaktor, sebagai indikator proses sinkron, jika sudah terjadi proses sinkron maka kontaktor akan terhubung.
3. *Display analog* data generator, menunjukkan nilai *voltage*, *current*, *frequency*, *active power*, *speed* dan *temperature* pada *bearing* dan *winding* dari generator.
4. Indikator generator aktif.
5. Data tabel, berisi nilai *voltage*, *current*, *frequency*, *active power*, *reactive power*, *apparent power*, *power factor*, *temperature* pada *bearing* dan *winding* dari generator, *pressure* dan *water level*.
6. *Display analog* data busbar, menunjukkan nilai *voltage* dan *frequency*.
7. Data tabel, berisi nilai *voltage* dan *frequency* dari busbar.
8. Indikator keadaan *emergency*.
9. *Button menu*, berisi pilihan *button start*, *stop*, *alarm*, *reset alarm*, dan *trend*.
10. Indikator beban.

No	Date	Time	Number	Message text	Duration	Status
337	25/07/22	10:38:22 AM	16	START_SYNC_CTR	00:00:08	+
338	25/07/22	10:38:22 AM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
339	25/07/22	10:38:32 AM	15	DELOAD	00:00:15	+
340	25/07/22	10:38:32 AM	15	DELOAD	00:00:00	+
341	25/07/22	10:38:35 AM	16	START_SYNC_CTR	00:00:12	+
342	25/07/22	10:38:50 AM	16	START_SYNC_CTR	00:00:27	+
343	25/07/22	10:38:50 AM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
344	25/07/22	10:38:51 AM	15	DELOAD	00:00:18	+
345	25/07/22	10:37:47 AM	15	DELOAD	00:01:14	+
346	25/07/22	10:37:47 AM	15	DELOAD	00:00:00	+
347	25/07/22	10:38:36 AM	40	EMERGENCY	00:00:00	+
348	25/07/22	10:42:26 AM	40	EMERGENCY	00:02:50	+
349	25/07/22	10:43:57 AM	16	START_SYNC_CTR	00:07:07	+
350	25/07/22	11:47:18 AM	16	START_SYNC_CTR	01:10:28	+
351	25/07/22	11:47:18 AM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
352	25/07/22	11:48:07 AM	15	DELOAD	01:10:20	+
353	25/07/22	11:49:14 AM	9	FIXED_PF	01:13:05	+
354	25/07/22	11:49:15 AM	8	FIXED_Q	00:00:00	+
355	25/07/22	11:50:19 AM	8	FIXED_Q	00:01:04	+
356	25/07/22	11:50:20 AM	9	FIXED_PF	01:14:11	+
357	25/07/22	11:50:20 AM	9	FIXED_PF	00:00:00	+
358	25/07/22	12:00:44 PM	15	DELOAD	01:22:57	+
359	25/07/22	12:00:44 PM	15	DELOAD	00:00:00	+
360	25/07/22	12:00:51 PM	16	START_SYNC_CTR	00:13:32	+
361	25/07/22	12:00:53 PM	15	DELOAD	00:00:08	+
362	25/07/22	12:02:59 PM	16	START_SYNC_CTR	00:13:40	+
363	25/07/22	12:02:59 PM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
364	25/07/22	12:39:15 PM	15	DELOAD	00:38:30	+
365	25/07/22	12:39:15 PM	15	DELOAD	00:00:00	+
366	25/07/22	12:39:16 PM	16	START_SYNC_CTR	00:36:16	+

Gambar 4. Tampilan *alarm* kontrol.

Gambar 4 menampilkan data dalam bentuk tabel yang berisi *date/tanggal*, *time/waktu*, *number*, *message text*, *duration* dan status. Tabel tersebut sebagai data *logging* atau data *history* yang mencatat setiap aktivitas pada sistem pembangkit.



Gambar 5. Tampilan grafik tegangan dari generator.

Gambar 5 menampilkan grafik nilai tegangan dari generator saat generator mulai dinyalakan sampai keadaan *steady*. Pada SCADA terdapat 3 (tiga) grafik yang ditampilkan yaitu grafik nilai tegangan dan nilai arus dari generator serta nilai tegangan dari busbar.

Tag Management - WinCC Configuration Studio

File Edit View Tools Help

Tag Management

- Internal tags
- Modbus TCP/IP
- Modbus TCP/IP Unit #1
- GPC-3
- PLC
- Structure tags

Tags [GPC-3]

Name	Comment	Value	Data type	Length	Format adaptation	Connection	Group	Address	Linear scale
1 ANALOG_IN_ALARM		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	STAT1	2x57.0	
2 AVRSETP_50		0	Binary Tag	1		GPC-3	STAT1	1x50.0	
3 BAT_29		0	Binary Tag	1		GPC-3	STAT1	1x29.0	
4 BB_39L1L2		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x539	
5 BB_40L2L3		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x540	
6 BB_41L3L1		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x541	
7 BB_42L1N		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x542	
8 BB_43L2N		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x543	
9 BB_44L3N		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x544	
10 BB_45F1		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x545	
11 BB_46F2		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x546	
12 BB_47F3		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x547	
13 BB_48PH_L1L2		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x548	
14 BB_49PH_L2L3		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x549	
15 BB_50PH_L3L1		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x550	
16 BB_51L1_GL1		0	Signed 16-bit value	2	ShortToSignedWord	GPC-3	MEASI	2x551	
17 BB_52L2_GL2		0	Signed 16-bit value	2	ShortToSignedWord	GPC-3	MEASI	2x552	
18 BB_53L3_GL3		0	Signed 16-bit value	2	ShortToSignedWord	GPC-3	MEASI	2x553	
19 CTR6		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	STAT1	2x46	
20 DELOAD_51		0	Binary Tag	1		GPC-3	STAT1	1x51.0	
21 EMERGENCY		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	STAT1	2x1010	
22 FDXREQ_41		0	Binary Tag	1		GPC-3	STAT1	1x39.2	
23 FDXPW_16		0	Binary Tag	1		GPC-3	STAT1	1x16.0	
24 FDXVOLT_45		0	Binary Tag	1		GPC-3	STAT1	1x45.0	
25 G_01L1L2		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x501	
26 G_02L2L3		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x502	
27 G_03L3L1		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x503	
28 G_04L1N		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x504	
29 G_05L2N		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x505	
30 G_06L3N		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x506	
31 G_07FL1		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x507	
32 G_08FL2		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x508	
33 G_09FL3		0	Unsigned 16-bit value	2	WordToUnsignedWord	GPC-3	MEASI	2x509	

Properties - Connection

Object type: Connection
Object name: GPC-3

General

Name: GPC-3
ID: 2
Connection Parameters: IP-Address=192

Assignment

Communication driver: Modbus TCP/IP
Channel unit: Modbus TCP/IP

Various

Creator ID: 0
Last Change: 22/07/2022 13:

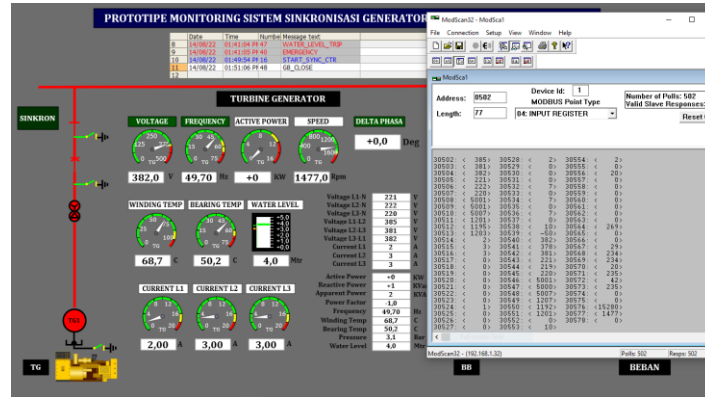
Gambar 6. Data *tag management*.

Data *tag management* ini berisikan data dari dua peralatan RTU utama yaitu GPC-3 Hydro dan PLC. SCADA dan RTU tersebut berkomunikasi menggunakan protokol Modbus TCP/IP. Masing-masing peralatan RTU tersebut akan terkoneksi dengan SCADA menggunakan IP yang berbeda. IP untuk GPC-3 adalah 192.168.1.32 dan IP untuk PLC adalah 192.168.1.30.

Rancang Bangun Prototipe Sistem *Monitoring* Sinkronisasi Generator Ke Jaringan PLN Pada PLTM Berbasis SCADA

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian kesesuaian nilai data pada SCADA dan Modbus TCP/IP dari GPC-3 hydro



Gambar 7. Pengujian data pada SCADA dan *Modbus TCP/IP* dari GPC-3

Tabel 3. Pengujian pembacaan data pada SCADA dan Modbus dari GPC-3 saat keadaan sinkron

NAMA PADA TAMPILAN SCADA	ADDRESS		DATA KE-1		DATA KE-2		DATA KE-3		DATA KE-4		DATA KE-5	
	ADDRESS SCADA	ADDRESS MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS
Voltage L1L2 (TG)	2x539	540	383	383	382	382	382	382	383	383	383	383
Voltage L2L3 (TG)	2x540	541	380	380	379	379	379	379	379	379	380	380
Voltage L3L1 (TG)	2x541	542	381	381	379	379	380	380	379	379	381	381
Voltage L1N (TG)	2x542	543	221	221	220	220	220	220	220	220	221	221
Voltage L2N (TG)	2x543	544	220	220	219	219	219	219	220	220	220	220
Voltage L3N (TG)	2x544	545	220	220	219	219	219	219	219	219	220	220
Frequency (TG)	2x545	546	50,12	50,15	50,05	50,05	50,12	50,12	50,12	50,01	50,12	50,15
Delta phasa	2x551	552	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Voltage L1L2 (TG)	2x501	502	384	384	385	385	385	385	382	382	384	384
Voltage L2L3 (TG)	2x502	503	381	381	382	382	381	381	379	379	381	381
Voltage L3L1 (TG)	2x503	504	382	382	381	381	382	382	379	379	382	382
Voltage L1N (TG)	2x504	505	221	221	221	221	222	222	220	220	221	221
Voltage L2N (TG)	2x505	506	220	220	222	222	221	221	220	220	221	221
Voltage L3N (TG)	2x506	507	220	220	220	220	220	220	219	219	220	220
Frequency (TG)	2x507	508	50,15	50,15	50,14	50,11	50,14	50,11	50,08	50,01	50,15	50,15
Current L1	2x513	514	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3
Current L2	2x514	515	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3
Current L3	2x515	516	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2
NAMA PADA TAMPILAN SCADA	ADDRESS		DATA KE-1		DATA KE-2		DATA KE-3		DATA KE-4		DATA KE-5	
	ADDRESS SCADA	ADDRESS MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS
Active Power	2x519	520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reactive Power	2x523	524	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Apparent Power	2x527	528	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1
G_38PF	2x538	539	0	1	0	0	+0	0	0	-1	+0	1

Pengujian pembacaan data pada SCADA dan *Modbus* TCP/IP dari GPC-3 saat keadaan sinkron dilakukan sebanyak 10 (sepuluh) kali. Proses terjadinya sinkron sudah memenuhi persyaratan sinkron yaitu nilai tegangan dan frekuensi pada busbar dan *turbine* generator adalah sama, serta nilai delta *phase* sama dengan 0 (nol). Nilai data dari hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3.1 nilai data dari SCADA dan *Modbus* adalah hampir keseluruhan bernilai sama. Pengisian data pada tabel dilakukan dengan cara *screenshot* sehingga saat terjadi perbedaan nilai adalah dikarenakan adanya *delay* perubahan nilai data pada SCADA yaitu 2 detik. Sehingga saat data pada *modbus* dan sebagian *I/O field* pada SCADA sudah berubah, akan ada data yang berubahnya lebih lambat diantara data lainnya.

Pengujian kesesuaian nilai data kesamaan waktu antara data status/*alarm* control dan grafik pada SCADA saat keadaan sinkron.

PROTOTYPE MONITORING SISTEM SINKRONISASI GENERATOR KE JARINGAN PLN PADA PLTM

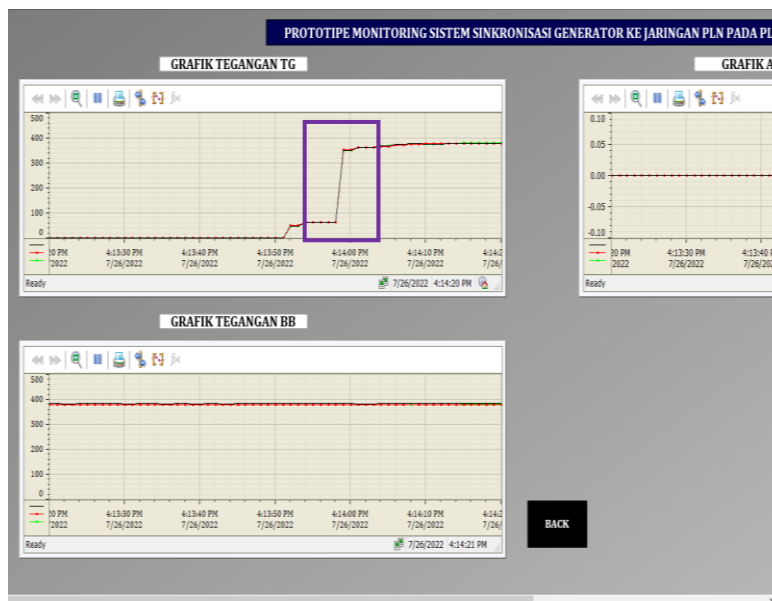
WinCC AlarmControl

Date	Time	Numbel	Message text	Duration	Status
29/07/22	07:14:41 PM	40	EMERGENCY	00:02:05	+
29/07/22	07:16:32 PM	16	START_SYNC_CTR	00:06:19	Acknowledgment - System
29/07/22	07:16:32 PM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
29/07/22	07:17:04 PM	48	GB_CLOSE	00:06:22	Acknowledgment - System
29/07/22	07:17:04 PM	48	GB_CLOSE	00:00:00	+
29/07/22	07:17:04 PM	49	GB_OPEN	00:04:32	+
29/07/22	07:18:28 PM	49	GB_OPEN	00:05:55	Acknowledgment - System
29/07/22	07:18:28 PM	16	START_SYNC_CTR	00:01:55	+
29/07/22	07:18:28 PM	48	GB_CLOSE	00:01:23	+
29/07/22	07:18:28 PM	49	GB_OPEN	00:00:00	+
29/07/22	07:18:32 PM	40	EMERGENCY	00:05:56	Acknowledgment - System
29/07/22	07:18:32 PM	40	EMERGENCY	00:00:00	+
29/07/22	07:19:36 PM	40	EMERGENCY	00:01:04	+
29/07/22	07:20:07 PM	16	START_SYNC_CTR	00:03:34	Acknowledgment - System
29/07/22	07:20:07 PM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
29/07/22	07:20:38 PM	48	GB_CLOSE	00:03:34	Acknowledgment - System
29/07/22	07:20:38 PM	48	GB_CLOSE	00:00:00	+
29/07/22	07:20:38 PM	49	GB_OPEN	00:02:10	+
29/07/22	07:22:01 PM	16	START_SYNC_CTR	00:01:53	+
29/07/22	07:22:01 PM	49	GB_OPEN	00:03:33	Acknowledgment - System
29/07/22	07:22:01 PM	48	GB_CLOSE	00:01:22	+
29/07/22	07:22:01 PM	49	GB_OPEN	00:00:00	+
29/07/22	07:22:04 PM	40	EMERGENCY	00:03:33	Acknowledgment - System
29/07/22	07:22:04 PM	40	EMERGENCY	00:00:00	+
29/07/22	07:23:31 PM	16	START_SYNC_CTR	00:03:24	Acknowledgment - System
29/07/22	07:23:31 PM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
29/07/22	07:24:05 PM	48	GB_CLOSE	00:03:26	Acknowledgment - System
29/07/22	07:24:05 PM	48	GB_CLOSE	00:00:00	+
29/07/22	07:24:05 PM	49	GB_OPEN	00:02:03	+

Ready Pending: 14 To acknowledge: 14 Hidden: 0 List: 1000 7:25:07 PM

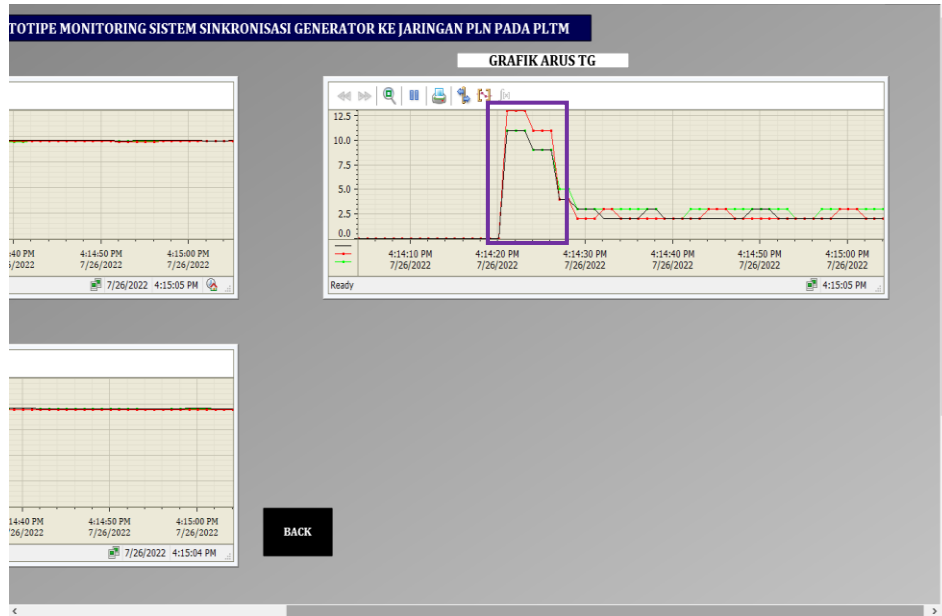
BACK

Gambar 8. Data tabel status/*alarm* control pada SCADA



Gambar 9. Data grafik tegangan *turbine* generator pada SCADA saat keadaan sinkron

Rancang Bangun Prototipe Sistem *Monitoring* Sinkronisasi Generator Ke Jaringan PLN Pada PLTM Berbasis SCADA



Gambar 10. Data grafik arus pada SCADA saat keadaan sinkron

Tabel 4. Pengujian kesamaan nilai waktu saat terjadinya sinkron dilihat dari data status/*alarm control* dan nilai waktu pada grafik tegangan dan arus.

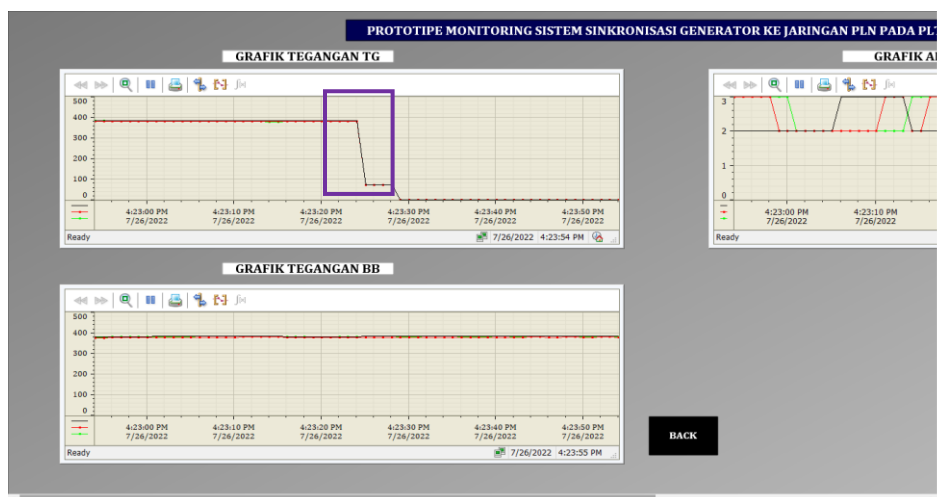
Sinkron ke-	Tanggal	Waktu pada tabel status/ <i>alarm</i>	Waktu pada grafik tegangan	Waktu pada grafik arus
1	26/07/22	4.13.46	14.14.00	4.14.20
2	26/07/22	4.20.43	4.20.56	4.21.22
3	26/07/22	4.30.56	4.31.06	4.31.30
4	26/07/22	4.39.45	4.39.54	4.40.20
5	26/07/22	4.46.36	4.46.46	4.47.14
6	26/07/22	4.51.28	4.51.50	4.52.02
7	26/07/22	5.19.35	5.19.46	4.20.32
8	26/07/22	5.25.04	5.25.16	5.25.30
9	26/07/22	5.30.44	5.30.56	5.31.20
10	27/07/22	6.46.21	6.46.34	6.46.58

Pada tabel 4 terdapat data berupa nilai waktu terjadinya proses sinkron yang tercatat pada tabel status/*alarm control* saat status GB *close* dan nilai waktu pada saat grafik tegangan keadaan *steady* dan nilai waktu pada grafik arus saat nilai arus mulai terdeteksi. Data tersebut diperoleh dari pengujian proses sinkron sebanyak 10 (sepuluh) kali. Hasil dari pengujian ini terlihat pada tabel bahwa nilai waktu pada tabel status/*alarm* saat keadaan sinkron dan nilai waktu pada grafik tegangan adalah mendekati sama dan selisih perbedaannya kecil. Namun, nilai waktu pada grafik arus terlihat mulai tercatat dengan rata-rata 1 detik setelah proses sinkron terjadi. Hal tersebut dikarenakan arus akan ada setelah beban mulai tersambung saat sinkronisasi terjadi.

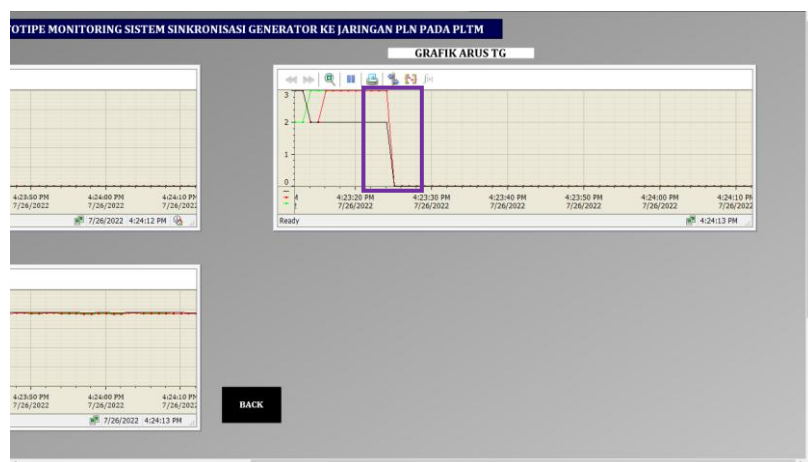
PROTOTYPE MONITORING SISTEM SINKRONISASI GENERATOR KE JARINGAN PLN PADA PLTM

Date	Time	Number	Message text	Duration	Status
26/07/22	03:56:32 PM	16	START_SYNC_CTR	00:00:57	+
26/07/22	03:57:01 PM	16	START_SYNC_CTR	00:01:26	Acknowledgment - System
26/07/22	03:57:01 PM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
26/07/22	03:57:47 PM	16	START_SYNC_CTR	00:00:46	+
26/07/22	03:57:51 PM	40	EMERGENCY	00:04:55	Acknowledgment - System
26/07/22	03:57:51 PM	40	EMERGENCY	00:00:00	+
26/07/22	03:58:15 PM	40	EMERGENCY	00:00:23	+
26/07/22	03:58:53 PM	16	START_SYNC_CTR	00:01:52	Acknowledgment - System
26/07/22	03:58:53 PM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
26/07/22	03:59:54 PM	15	DELOAD	00:03:23	Acknowledgment - System
26/07/22	03:59:54 PM	15	DELOAD	00:00:00	+
26/07/22	03:59:55 PM	15	DELOAD	00:00:00	-
26/07/22	03:59:55 PM	16	START_SYNC_CTR	00:01:01	+
26/07/22	04:03:04 PM	16	START_SYNC_CTR	00:04:10	Acknowledgment - System
26/07/22	04:03:04 PM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
26/07/22	04:12:32 PM	15	DELOAD	00:12:37	Acknowledgment - System
26/07/22	04:12:32 PM	15	DELOAD	00:00:00	+
26/07/22	04:12:33 PM	15	DELOAD	00:00:01	-
26/07/22	04:12:33 PM	16	START_SYNC_CTR	00:09:29	+
26/07/22	04:13:46 PM	16	START_SYNC_CTR	00:10:42	Acknowledgment - System
26/07/22	04:13:46 PM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
26/07/22	04:17:00 PM	15	DELOAD	00:04:28	Acknowledgment - System
26/07/22	04:17:00 PM	15	DELOAD	00:00:00	+
26/07/22	04:17:01 PM	15	DELOAD	00:00:00	-
26/07/22	04:17:01 PM	16	START_SYNC_CTR	00:03:15	+
26/07/22	04:20:43 PM	16	START_SYNC_CTR	00:06:56	Acknowledgment - System
26/07/22	04:20:43 PM	16	START_SYNC_CTR	00:00:00	+
26/07/22	04:23:24 PM	40	EMERGENCY	00:25:52	Acknowledgment - System
26/07/22	04:23:24 PM	40	EMERGENCY	00:00:00	+

Gambar 11. Data tabel status/*alarm control*/pada SCADA



Gambar 12. Data grafik tegangan *turbine* generator pada SCADA saat keadaan *emergency*



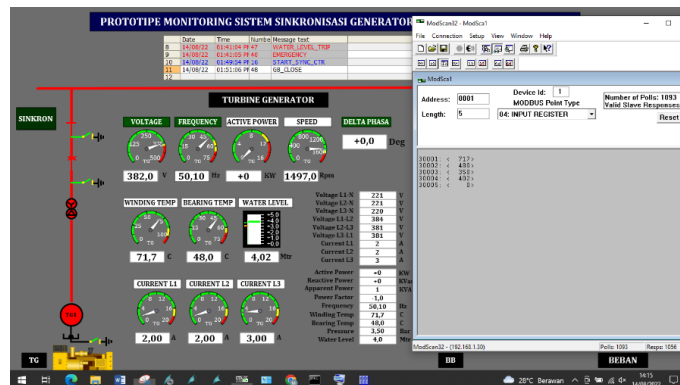
Gambar 13. Data grafik arus pada SCADA saat keadaan *emergency*

Rancang Bangun Prototipe Sistem *Monitoring* Sinkronisasi Generator Ke Jaringan PLN Pada PLTM Berbasis SCADA

Tabel 5. Pengujian kesamaan nilai waktu saat terjadinya *emergency* dilihat dari data status/*alarm control* dan nilai waktu pada grafik tegangan dan arus

NAMA PADA TAMPILAN SCADA	ADDRESS		DATA KE-1		DATA KE-2		DATA KE-3		DATA KE-4		DATA KE-5	
	ADDRES SCADA	ADDRESS MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS	DATA SCADA	DATA MODBUS
<i>Winding Temperature</i>	2x0	1	68,7	687	71,7	717	71,7	717	71,7	717	71,7	717
<i>Bearing Temperature</i>	2x1	2	50,2	502	50,2	502	48,0	480	48,0	480	48,0	480
<i>Pressure</i>	2x2	3	31,3	313	31,3	313	31,3	313	31,3	313	35,0	350
<i>Water Level</i>	2x3	4	41,2	412	41,2	412	41,2	412	40,2	402	40,2	402

Pada table 5 terdapat data berupa nilai waktu saat terjadi *emergency* yang tercatat pada tabel status/*alarm control* saat status *emergency* dan nilai waktu pada saat grafik tegangan dan arus mulai *drop*. Data tersebut diperoleh dari pengujian proses sinkron sebanyak 10 (sepuluh) kali. Ketika tombol *emergency* ditekan maka saat itu juga PLC akan memerintahkan sistem untuk melepas proses sinkron dan sistem *trip/shutdown*. Saat perintah *emergency* aktif maka akan tercatat pada tabel status/*alarm control* diikuti dengan penurunan nilai tegangan dan arus pada generator sampai *turbine generator* tersebut berhenti. Pada hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai waktu tercatatnya perintah *emergency* pada tabel status/*alarm control*, grafik tegangan dan arus adalah sama. Hal tersebut sudah sesuai dengan persyaratan sistem yang dirancang dimana saat keadaan *emergency* maka sistem harus secepat mungkin berhenti.

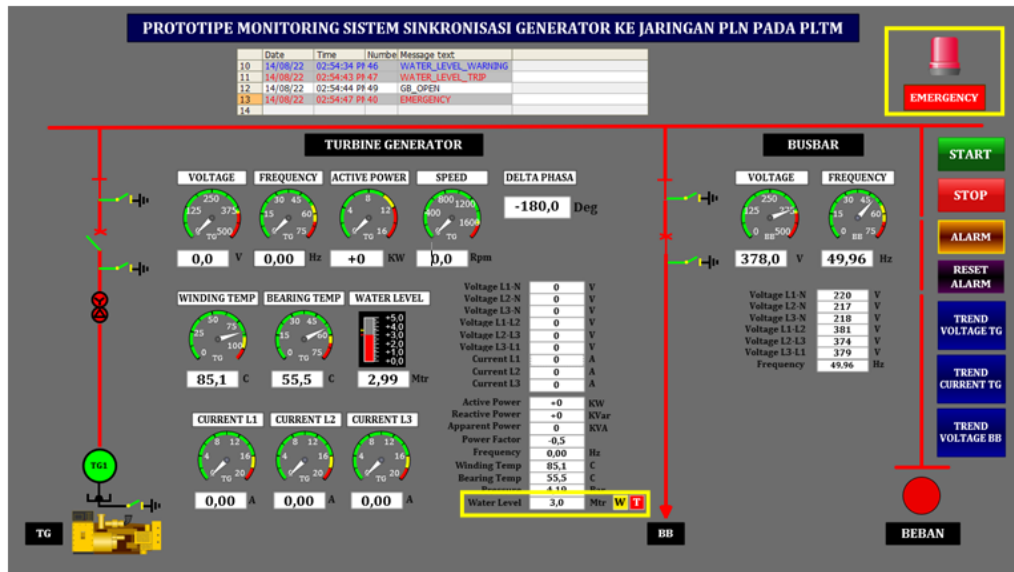


Gambar 14. Pengujian data pada SCADA dan *Modbus TCP/IP* dari PLC

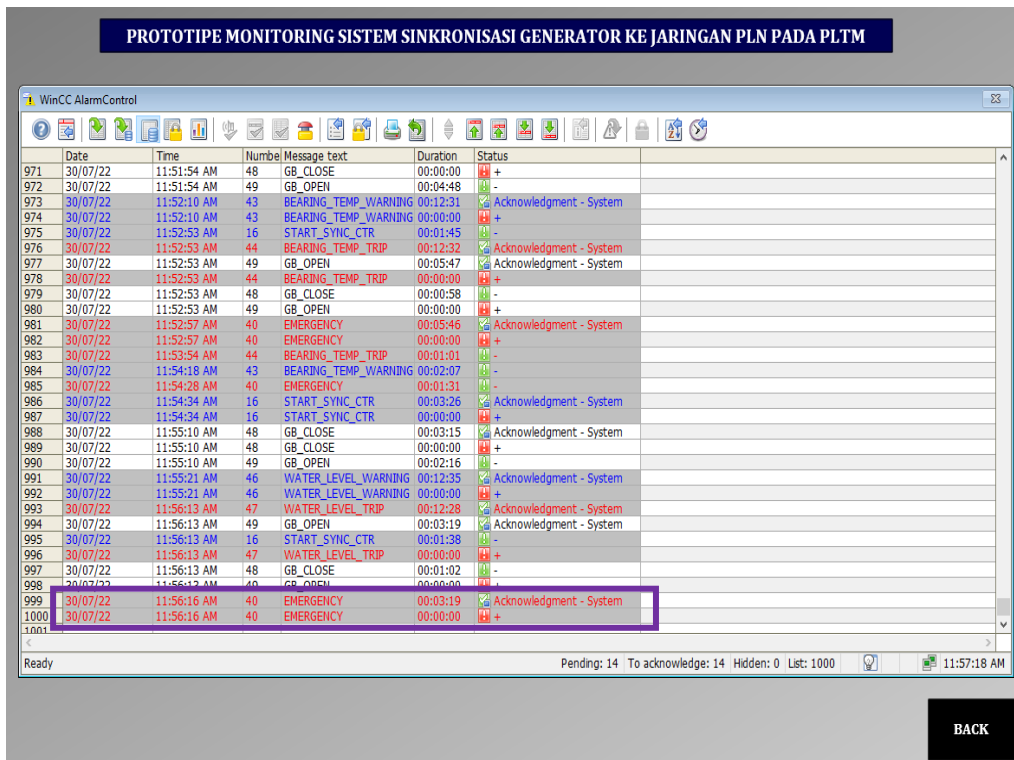
Tabel 6. Pengujian pembacaan data pada SCADA dan *Modbus* dari PLC

Sinkron ke-	Tanggal	Waktu pada tabel status/alarm	Waktu pada grafik tegangan	Waktu pada grafik arus
1	26/07/22	4.23.24	4.23.24	4.23.24
2	26/07/22	4.42.25	4.42.26	4.42.26
3	26/07/22	4.54.16	4.54.16	4.54.16
4	26/07/22	5.27.30	5.27.30	5.27.30
5	26/07/22	5.37.34	5.37.34	5.37.34
6	30/07/22	11.16.22	11.16.22	11.16.22
7	30/07/22	12.19.57	12.19.57	12.19.57
8	30/07/22	12.00.28	12.00.28	12.00.28
9	30/07/22	17.37.17	17.37.17	17.37.17
10	30/07/22	17.47.10	17.47.10	17.47.10

Pengujian pembacaan data pada SCADA dan *Modbus TCP/IP* dari PLC untuk nilai yang dimasukan melalui potensiometer pada input plc yaitu berupa data nilai dari sensor *temperature*, *pressure* dan *level* saat keadaan sinkron dilakukan sebanyak 10 (sepuluh) kali. Hasilnya adalah nilai data pada SCADA dan *Modbus TCP/IP* dari PLC adalah sama.



Gambar 15. Data tabel status/ alarm control pada SCADA



Gambar 16. Data tabel status/ alarm control/ pada SCADA

Rancang Bangun Prototipe Sistem *Monitoring* Sinkronisasi Generator Ke Jaringan PLN Pada PLTM Berbasis SCADA

Tabel 7. Pengujian *alarm warning* dan *trip* dari nilai *winding temperature*

No	Temperature (°C)	Indikator pada SCADA	Temperature (°C)	Alarm	Indikator pada SCADA	Tanggal	Waktu pada table alarm	Waktu pada grafik tegangan	Waktu pada grafik arus
1	90.3	W	101.5	Trip	T	30/07/22	11.13.47	11.13.47	11.13.47
2	90.3	W	101.5	Trip	T	30/07/22	11.26.22	11.26.22	11.26.22
3	90.3	W	100.8	Trip	T	30/07/22	11.37.17	11.37.17	11.37.17
4	90.3	W	101.5	Trip	T	30/07/22	11.47.10	11.47.10	11.47.10
5	91.1	W	101.5	Trip	T	30/07/22	12.00.28	12.00.28	12.00.28
6	90.3	W	100.8	Trip	T	30/07/22	12.12.51	12.12.51	12.12.51
7	90.3	W	102.3	Trip	T	30/07/22	01.49.46	01.49.46	01.49.46
8	94.8	W	104.5	Trip	T	30/07/22	02.02.30	02.02.30	02.02.30
9	92.6	W	103.1	Trip	T	30/07/22	02.25.37	02.25.37	02.25.37
10	94.0	W	100.8	Trip	T	30/07/22	02.39.31	02.39.31	02.39.31

Tabel 8. Pengujian *alarm warning* dan *trip* dari nilai *bearing temperature*

No	Temperature (°C)	Indikator pada SCADA	Temperature (°C)	Alarm	Indikator pada SCADA	Tanggal	Waktu pada table alarm	Waktu pada grafik tegangan	Waktu pada grafik arus
1	60.8	W	65.2	Trip	T	30/07/22	11.16.22	11.16.22	11.16.22
2	60.8	W	65.2	Trip	T	30/07/22	11.29.53	11.29.53	11.29.53
3	60.8	W	65.2	Trip	T	30/07/22	11.47.10	11.47.10	11.47.10
4	60.8	W	65.2	Trip	T	30/07/22	11.52.57	11.52.57	11.52.57
5	64.5	W	65.2	Trip	T	30/07/22	12.00.28	12.00.28	12.00.28
6	62.2	W	66.7	Trip	T	30/07/22	12.16.34	12.16.34	12.16.34
7	62.2	W	67.5	Trip	T	30/07/22	01.54.26	01.54.26	01.54.26
8	63.7	W	69.0	Trip	T	30/07/22	02.07.11	02.07.11	02.07.11
9	60.8	W	66.0	Trip	T	30/07/22	02.18.15	02.18.15	02.18.15
10	61.5	W	66.0	Trip	T	30/07/22	02.30.17	02.30.17	02.30.17

Tabel 9. Pengujian *alarm warning* dan *trip* dari nilai *water level*

No	Water Level (m)	Indikator pada SCADA	Water Level (m)	Alarm	Indikator pada SCADA	Tanggal	Waktu pada table alarm	Waktu pada grafik tegangan	Waktu pada grafik arus
1	3.5	W	3.0	Trip	T	30/07/22	11.33.12	11.33.12	11.33.12
2	3.5	W	3.0	Trip	T	30/07/22	11.43.45	11.43.45	11.43.45
3	3.5	W	3.0	Trip	T	30/07/22	11.56.13	11.56.13	11.56.13
4	3.5	W	3.0	Trip	T	30/07/22	12.08.01	12.08.01	12.08.01
5	3.5	W	3.0	Trip	T	30/07/22	12.19.53	12.19.53	12.19.53
6	3.3	W	2.9	Trip	T	30/07/22	01.58.43	01.58.43	01.58.43
7	3.5	W	2.9	Trip	T	30/07/22	02.10.36	02.10.36	02.10.36
8	3.2	W	2.8	Trip	T	30/07/22	02.21.48	02.21.48	02.21.48
9	3.5	W	3.0	Trip	T	30/07/22	02.34.07	02.34.07	02.34.07
10	3.4	W	3.0	Trip	T	30/07/22	02.46.39	02.46.39	02.46.39

4. KESIMPULAN

1. Sistem SCADA yang dibuat telah melalui beberapa pengujian pada skala lab. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian sistem komunikasi data antara SCADA dan *modbus* TCP/IP, pengujian fungsi *button* pada SCADA, pengujian fungsi *emergency* baik saat tombol *emergency* ditekan secara manual maupun saat sistem menerima inputan dari sensor dan pengujian kesesuaian data yang ditampilkan oleh SCADA dan yang terbaca dari *modbus* yang terhubung dengan RTU berupa PLC dan GPC-3. Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 (sepuluh) kali pada dua keadaan yaitu saat keadaan generator sinkron ke *grid* dan saat keadaan *emergency*.
2. Hasil dari pengujian tersebut membuktikan bahwa sistem SCADA yang dibuat sudah mampu melakukan *monitoring* data RTU baik dari GPC-3 maupun PLC secara *real time* dimana nilai data yang ditampilkan pada SCADA dan yang terbaca dari *modbus* adalah 95% sama. Indikatornya berupa kesesuaian nilai data antara SCADA dan *modbus* yang terhubung dengan GPC-3 dan PLC serta didukung dengan kesesuaian nilai waktu yang tercatat pada data tabel *alarm* dan grafik.

5. REFERENSI

- [1] S. Subianto, R. A. Yani, and A. H. Marbun, "Pemanfaatan Potensi Aliran Air Sungai Sebagai Pembangkit Listrik Mikro Hidro," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 34–41, 2021, doi: 10.36546/jte.v10i2.420.
- [2] I. Nawawi and A. Trihasto, "Pemanfaatan Aliran Sungai Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Portabel," *Jurnal.Untidar.Ac.Id*, pp. 1–4, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.untidar.ac.id/index.php/lppmpmp/article/view/1890>
- [3] R. A. Subekti, "Studi Kelayakan Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Di Desa Sukamaju Kabupaten Garut Jawa Barat," *J. Tek. Hidraul.*, pp. 105–116, 2015, [Online]. Available: <https://jurnal.th.pusair-pu.go.id/index.php/JTH/article/view/515>
- [4] R. T. Jurnal, "Pengendalian Jaringan Distribusi 20 Kv Dengan Menggunakan Sistem Scada," *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 1, pp. 41–50, 2018, doi: 10.33322/energi.v9i1.56.
- [5] Rimbawati, P. Harahap, and K. Putra, "Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator," *J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, 2019.
- [6] S. Ardhi, "Pengendalian Sinkronisasi Generator Dengan Sumber Pembangkit Listrik Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler," *Din. Teknol.*, vol. 7, no. 1, pp. 36–42, 2015.
- [7] A. B. Setiawan, "Peningkatan Keamanan Supervisory Control and Data Acquisition (Scada) Pada Smart Grid Sebagai Infrastruktur Kritis Improved Security Supervisory Control and Data Acquisition (Scada) the Smart Grid As Critical Infrastructure," *Peningkatan Keamanan Superv. Control Data Acquis. Pada Smart Grid...*, vol. 6, no. 1, 2016, doi: 10.17933/jppi.
- [8] Yusniati and Matondang NNS, "Analisis sistem pembebanan pada generator di PT.PLN (persero) pembangkit listrik tenaga diesel titi kuning," *Semnastek Uisu*, pp. 59–64, 2020.
- [9] T. Satu, F. Menggunakan, T. Parameter, and A. Bolak, "1) 2) 3)," pp. 1–12.
- [10] R. Ridwan, M. H. Swistiawan, and S. Bagas Bhaskoro, "Otomatisasi Sistem Bendung menggunakan Metode Backpropagation untuk Mengatur Debit Air berbasis Internet of Thing," *J. Teknol. dan Rekayasa Manufaktur*, vol. 3, no. 2, pp. 73–86, 2021, doi: 10.48182/jtrm.v3i2.67.
- [11] S. D. Wirayanto, A. Arlenny, and E. Zondra, "Sistem SCADA Pada Jaringan Distribusi PT.PLN (Persero) UP2D Pekanbaru," *J. Tek.*, vol. 16, no. 2, pp. 123–129, 2022, doi: 10.31849/teknik.v16i2.11094.
- [12] D. & M. K. Antono, "Penerapan sinkronisasi jaringan tiga fasa PLN dengan generator menggunakan trainner power sistem simulation," *Penerapan Sink. Jar. tiga fasa PLN dengan Gener. Sink. mneggunkan trainner power Sist. Simul.*, vol. 2, no. 3, pp. 151–158, 2013, [Online]. Available: Sinkronisasi generator, tegangan, frekuensi, arus
- [13] M. Ananto, ... K. W.-... R. W. and, and undefined 2021, "Rancang Bangun Sistem SCADA Panel Automatic Transfer Switch (ATS) Berbasis PLC dan Interface WinCC," *Jurnal.Polban.Ac.Id*, pp.

- 4–5, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/2672/2065>
- [14] B. Sakti, Y. Yulianto, and S. Adhisuwignjo, "Rancang Bangun Sistem SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) dan Display Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis IoT (Internet of Things)," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 8, no. 2, p. 156, 2021, doi: 10.33795/elk.v8i2.286.
- [15] B. Yoma and E. Anisa, "Analisis Implementasi Komunikasi Modbus TCP / IP dalam Penerapan Visualisasi Data Hasil Produksi pada Sistem Andon Line Production Analysis of the Implementation of Modbus TCP / IP Communication in the Application of Production Data Visualization in the Andon Line Production System," vol. 5, pp. 43–52, 2023.