

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era *modern* yang sangat bergantung pada teknologi, keandalan pasokan listrik menjadi sangat krusial bagi operasional berbagai sektor. Gangguan pada pasokan listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan, gangguan operasional, hingga masalah keamanan. Oleh karena itu, dibutuhkan sumber daya Cadangan energi listrik seperti *generator set* (genset). Ketika memakai sumber daya energi Listrik Cadangan, tantangan yang dihadapi adalah bagaimana mengelola kedua sumber ini secara efisien dan efektif agar dapat beroperasi secara sinkron.

Sinkronisasi generator set adalah proses penting yang harus dilakukan untuk memastikan transisi daya yang halus dan tanpa gangguan. Proses ini memerlukan koordinasi yang tepat agar tidak terjadi ketidaksesuaian fase, tegangan, atau frekuensi antara dua sumber daya tersebut, yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik dan sistem distribusi. Untuk memudahkan memonitoring dan mengontrol proses sinkronisasi dibutuhkan software yang mudah dioperasikan oleh seorang operator.

(Mulyana T. I., 2019) *Human Machine Interface* (HMI) berfungsi sebagai jembatan bagi operator untuk memahami proses-proses yang terjadi pada suatu sistem produksi. Tanpa adanya HMI, operator akan kesulitan dalam melakukan monitoring dan pengendalian sistem produksi. HMI berfungsi untuk memudahkan operator dalam melakukan monitoring *plant*, *plant control*, *plant handling*, dan mengakses data historis baik untuk keseluruhan proses maupun masing-masing peralatan yang ada dalam proses tersebut.

Proyek akhir ini berfokus pada perancangan dan pengaplikasian sistem monitoring dan pengontrolan sistem sinkronisasi antara dua buah genset yang disajikan dengan visualisasi HMI yang bersifat *real-time* mengenai status kedua sumber listrik. Sistem ini juga akan dilengkapi dengan fitur kontrol untuk *standby*-kan sumber genset 1 dan genset 2 yang dapat di akses melalui tampilan pada HMI, sistem ini juga memiliki proses penggabungan antara kedua sumber listrik secara otomatis ketika syarat-syarat sinkronisasi tercapai. Tujuan utama dari

proyek ini adalah untuk menciptakan sistem sinkronisasi antara dua buah genset yang lebih efisien, dan mampu dimonitoring secara mudah.

Dengan harapan sistem ini dapat meningkatkan keandalan pasokan listrik, mengurangi risiko kerusakan peralatan, serta meminimalisir *downtime* akibat gangguan listrik. Dalam konteks akademis, proyek ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan teknologi kelistrikan, khususnya dalam bidang monitoring dan pengontrolan dalam bentuk visual dan sistem sinkronisasi sumber daya Listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam pembuatan proyek akhir ini adalah:

- a. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan *system* monitoring dan pengontrolan berbasis HMI Schneider pada proses sinkronisasi generator set dalam bentuk visual.
- b. Bagaimana mengkoneksikan antara *hardware* dari HMI ke dalam rangkaian sinkronisasi genset dan genset.
- c. Apakah *Programmable Logic Controller* (PLC) dapat menjadi penghubung antara HMI dan rangkaian kontrol pada sistem sinkronisasi genset dan genset?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam perancangan proyek akhir ini adalah :

- a. HMI Schneider digunakan untuk menampilkan data dan proses sinkronisasi genset dan genset.
- b. PLC digunakan sebagai pengontrol sistem sinkronisasi yang dikoneksikan ke HMI Schneider.
- c. Pengoperasian *on* dan *off* genset dan men-*stanby*-kan genset dapat dioperasikan melalui HMI Schneider.
- d. Proses sinkronisasi hanya difokuskan antara 2 sumber genset.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari dibuatnya proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui Cara Kerja monitoring dan pengontrolan sistem Sinkronisasi Otomatis genset dengan genset pada HMI Schneider.

- b. Mempermudah dan mengurangi kesalahan manusia dalam proses sinkronisasi yang dapat menyebabkan kegagalan sinkronisasi dan merusak peralatan sensitif. Dengan deteksi otomatis sinkronisasi genset – genset dapat dengan cepat memproses sinkronisasi.
- c. Menciptakan suatu sistem sinkronisasi genset dan genset yang mudah dioperasikan.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan didapatkan dari proyek akhir yang dirancang ini adalah :

Penggunaan HMI Schneider dalam memonitoring dan mengontrol sistem sinkronisasi dapat meningkatkan kemampuan sistem secara keseluruhan, memiliki kemampuan untuk mendeteksi anomali sebelum terjadinya proses sinkronisasi.

1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam pembuatan proyek akhir Sistem otomatisasi sinkronisasi genset – genset ini adalah :

1. Studi Literatur

Dilakukan dengan cara membaca dan mempelajari buku – buku jurnal, dan penelitian terdahulu yang dapat dijadikan referensi dalam pembuatan proyek akhir ini.

2. Perancangan

Termasuk dalam proyek ini adalah perancangan desain visual sinkronisasi antara PLN dan genset pada HMI Schneider, perancangan wiring HMI Schneider yang dihubungkan ke rangkaian sinkronisasi antara genset dan genset, serta hasil pengujian yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek akhir ini.

3. Pengujian

Pengujian dalam proyek akhir ini adalah untuk memastikan bahwa alat yang dirancang dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Pengujian ini dilakukan untuk mendeteksi kemungkinan kegagalan atau kesalahan pada alat tersebut dan menemukan solusi yang tepat sebelum implementasi. Selain itu, data yang diperoleh selama pengujian akan dianalisis pada tahap berikutnya.

4. Analisa Hasil Pengujian

Analisis hasil pengujian bertujuan untuk mengevaluasi performa dan kinerja alat atau sistem yang diuji. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk mengidentifikasi kelemahan, kekuatan, dan potensi masalah yang mungkin ada, serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk menyampaikan informasi secara terstruktur, proyek akhir ini dibahas dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini memberikan gambaran umum tentang sistem yang akan dikembangkan. Pembahasan mencakup latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menyajikan penelitian terdahulu dan landasan teori yang mendukung pengembangan Otomatisasi Sinkronisasi genset dan genset.

BAB III: PERANCANGAN

Bab ini menguraikan desain dan perancangan sistem Otomatisasi Sinkronisasi genset dan genset.

BAB IV: PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini berisi informasi mengenai sistem pengujian yang dilakukan yang terdapat data serta analisa dari data yang telah diujikan atau dilakukan.

BAB V: PENUTUP

Bab ini berisi tentang Kesimpulan dari hasil pengujian dan saran untuk pengembangan berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

(Mada,R., 2023). Penulis membuat sebuah Sistem pembangkit Listrik yang terdiri dari peralatan untuk menghasilkan listrik, sistem kontrol, dan sistem pemantauan. Sistem pemantauan biasanya terletak di ruang kontrol, yang letaknya cukup jauh dari peralatan pembangkit, sehingga banyak yang menggunakan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sebagai solusinya. Desain prototipe sistem pemantauan untuk sinkronisasi generator ke saluran PLN dilakukan pada MHPP (Pembangkit Listrik Tenaga Air Mini) 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 pengujian yang telah dilakukan membuktikan bahwa sistem SCADA yang dibuat mampu memantau data RTU dari GPC-3 Hydro dan PLC secara real-time saat generator beroperasi. Indikatornya adalah kesesuaian nilai data antara SCADA dan Modbus yang terhubung ke GPC-3 Hydro dan PLC dan didukung oleh kesesuaian nilai waktu yang tercatat dalam data tabel alarm dan grafik..

(TRIA CAHAYANING, 2018) penulis membuat suatu monitoring simulator alat *industry* yang berjudul “*Human Machine Interface (HMI)* pada simulasi pemilahan barang berdasarkan sensor barang yang distempel dan jenis barang logam non logam berbasis *Programable Logic Controller (PLC)* Schneider Modicon TM221CE16R” dengan HMI operator lebih mudah dalam mengawasi sistem tanpa harus melihat langsung keadaan mesin secara langsung. Sehingga digunakannya HMI dalam proses produksi maka akan memudahkan dalam memonitoring perhitungan berbagai jenis barang yang telah tersortir secara otomatis dan tentunya akan menghindari terjadinya kesalahan perhitungan barang. Pada tampilannya, alat ini dapat memberikan informasi berupa jumlah barang yang telah terhitung, jenis barang yang telah terhitung dan letak keberadaan benda pada simulasi konveyor pemilah barang. Pada proses pengujian alat ini memiliki tingkat keberhasilan masing-masing barang 90%.

(Aditriawarman, 2018) Dalam penelitian ini di rancang *Human Machine Interface* yang fungsinya sebagai *controlling* dan monitoring pemanas air tersebut. *Software* Vijeo Designer digunakan untuk mendesain perangkat lunak aplikasi ini. Selanjutnya semua informasi mengenai level ketinggian air, kondisi suhu, grafik suhu, dan kondisi hidup/mati alat ini ditampilkan pada perangkat HMI untuk mempermudah proses *controlling* dan monitoring sistem pemanas air ini secara *real-time*. Sistem pengontrolan dan monitoring pemanas air ini akan dibuat menggunakan PLC, HMI, dan sensor suhu sebagai pendeteksi suhu yang diberikan. Untuk mengetahui suhu dan level ketinggian air, penulis memberikan tampilan atau *display* yang dapat dilihat oleh pengguna melalui HMI sebagai monitor.

(Sriwidodo, 2018) Pada penelitian ini penulis membuat suatu sistem kontrol suhu menggunakan Dimmer dan monitoring dengan HMI pada alat penetas telur otomatis berbasis PLC Schneider. PLC yang digunakan kali ini yaitu PLC Schneider Modicon M221CE16R. Dengan piranti tersebut dapat mengembangkan suatu alat penetas telur secara otomatis yang dapat mengontrol suhu yang diperlukan untuk menetas telur sesuai dengan suhu yang pada indukan ayam. Dan hasil dari alat tersebut dapat dikatakan akurasi karena suhu yang dihasilkan untuk keperluan penetasan telur adalah 37°C sampai 39°C, dan apabila suhu diatas 39°C maka lampu akan meredup, begitu juga ketika suhu dibawah 37°C maka lampu akan menyala secara maksimal.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Judul	Komponen	Hasil
1.	Mada, R. (2023).	<i>Rancang Bangun Prototipe Sistem Monitoring Sinkronisasi Generator ke Jaringan PLN pada PLTM Berbasis SCADA</i>	Busbar 380VAC, power meter, VT, CB, VT, CT, generator, GPC-3 hydro, synhronoscope, PLC, Hub Ethernet, Scada	Hasil Pengujian pembacaan data pada SCADA dan ModbusTCP/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.
2.	(TRIA CAHAYANI NG, 2018)	<i>HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI) PADA SIMULASI PEMILAHAN BARANG BERDASARKAN SENSOR BARANG YANG DISTEMPEL DAN JENIS BARANG LOGAM NON LOGAM BERBASIS</i>	HMI Schneider, PLC Schneider Modicon TM221CE16R, Senor Infrared (IR Sensor), IR Transmitter, IR Receiver, Photodiode, Relay, Transformator (Transformer / Trafo), Rectifier, Penyaring/Filter, Modbus Protokol, Sensor Proximity	Hasil uji menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keberhasilan rata-rata 90% dalam menyortir dan menghitung barang secara akurat. Ketidakakuratan sebesar 10% disebabkan oleh kendala seperti sensor yang tidak membaca barang dengan tepat atau penempatan barang yang tidak sesuai. Pada tampilan HMI, informasi yang ditampilkan mencakup Jumlah barang yang telah tersortir, Jenis

		PROGRAMA BLE LOGIC CONTROLLE R (PLC) SCHNEIDER MODICON TM221CE16R		barang yang berhasil diidentifikasi, Posisi barang pada konveyor selama proses berjalan, Sistem ini terbukti mampu meminimalkan kesalahan manual dalam penyortiran dan perhitungan barang, serta meningkatkan efisiensi proses industri secara signifikan. Tingkat keberhasilan 90% menunjukkan potensi implementasi yang baik dengan kemungkinan perbaikan lebih lanjut untuk mencapai hasil yang optimal.
3.	(Aditriawarm an, 2018)	PERANCAN GAN PENGONTRO LAN DAN MONITORIN G PEMANAS AIR MENGGUNA KAN SENSOR SUHU DAN WATER LEVEL BERBASIS PROGRAMM	Transformator Stepdown, Rectifier Penyearah, Filter Penyaring, Stabilizer Penstabil, Regulator Pengatur, PLC SCHNEIDER TM221CE16R, HM I Schneider, relay	Hasil uji menunjukkan sistem mampu menjaga suhu air pada rentang yang telah ditentukan dengan tingkat akurasi $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Level air berhasil dipertahankan pada ketinggian optimal dengan tingkat kesalahan pengukuran $\pm 5\text{ mm}$. Monitoring real-time melalui HMI berjalan dengan baik, menampilkan data suhu, level air, status pemanas,

		ABLE LOGIC CONTROLLE R (PLC) SCHNEIDER TM221CE16R DAN HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)		dan alarm jika terjadi kondisi abnormal. Sistem bekerja stabil dalam simulasi berbagai skenario, seperti pengisian air otomatis, pemanasan berkelanjutan, dan penanganan kondisi darurat. Keunggulan Sistem ini yaitu otomatisasi penuh dengan pemantauan real-time yang meningkatkan efisiensi operasional. Mengurangi risiko kerusakan elemen pemanas akibat level air yang tidak aman. Antarmuka HMI memudahkan operator untuk mengelola dan mengawasi sistem tanpa intervensi manual.
4.	(Sriwidodo, 2018)	RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU MENGGUNA KAN DIMMER DAN MONITORIN G DENGAN HUMAN	Power Supply, Sensor DHT11 , Dimmer, Crossing Detector, Lampu Pijar, PLC TM221CE16R, HM I MOVICON, Arduino 2560	Hasil uji menunjukkan sistem berhasil menjaga suhu pada rentang yang diinginkan dengan tingkat keberhasilan mencapai 95%. Penyesuaian suhu berjalan stabil, dengan waktu respons rata-rata 5–7 detik setelah perubahan suhu terdeteksi. HMI

		MACHINE INTERFACE (HMI) PADA ALAT PENETAS TELUR OTOMATIS BERBASIS PLC SCHNEIDER		menampilkan data secara real-time, termasuk: Suhu aktual dalam inkubator, Status elemen pemanas (aktif/nonaktif), Alarm visual dan suara jika terjadi kondisi abnormal. Pada simulasi proses penetasan, tingkat keberhasilan menetas mencapai 85%, menunjukkan kinerja alat yang efektif dalam mendukung proses biologis. Keunggulan Sistem Otomatisasi penuh dengan antarmuka pengguna yang intuitif melalui HMI. Pengontrolan suhu yang presisi menggunakan dimmer, menghemat energi listrik. Sistem alarm membantu mencegah kegagalan penetasan akibat suhu yang tidak sesuai. Komunikasi antara PLC dan HMI menggunakan protokol Modbus TCP/IP yang stabil.
--	--	--	--	--

2.2. Landasan Teori

Landasan teori merupakan teori – teori yang berhubungan atau berfungsi sebagai pedoman atau acuan agar peneliti tidak menyimpang dari tujuan awal yang telah ditetapkan.

2.2.1 Sinkronisasi Genset dan Genset

(Graha, 2014) Semakin meningkatnya keperluan daya listrik baik di bidang industri maupun gedung perkantoran dan rumah tangga, sumber listrik di suplai oleh Perusahaan Listrik Negara yang dikenal dengan PLN maupun dari generator sendiri. Energi listrik yang diperlukan untuk penambahan beban yang besar di perlukan beberapa generator yang di paralel atau di sinkron dengan tujuan untuk memperbesar kapasitas daya suplai yang dihasilkan oleh generator, sehingga keperluan beban tercapai sesuai yang di inginkan. untuk menjaga suatu kualitas daya dari generator yang kondisi paralel diperlukan satu pembagian beban untuk mengatur keperluan beban yang di suplai oleh masing-masing generator

Sinkronisasi dalam konteks genset dan genset adalah proses mengkoordinasikan parameter *output* genset tegangan, frekuensi, dan sudut fasa dengan parameter serupa. Tujuan utamanya adalah untuk mengintegrasikan genset ke dalam sistem jaringan genset lainnya sehingga genset dapat mengambil alih secara mulus atau menambah kapasitas listrik tanpa mengganggu kinerja keseluruhan sistem.

Parameter penting dalam sinkronisasi antara genset dan genset meliputi:

1. Frekuensi:
 - a. Frekuensi genset harus disesuaikan untuk mencocokkan frekuensi jaringan genset lainnya. Ketidakcocokan frekuensi bisa mengakibatkan operasi yang tidak stabil dan bahkan merusak peralatan.
 - b. Di banyak negara, frekuensi jaringan adalah 50 Hz atau 60 Hz. Pengaturan frekuensi dilakukan melalui kontrol kecepatan mesin genset.
2. Tegangan:
 - a. Tegangan genset harus diatur untuk cocok dengan tegangan pada jaringan genset lain. Tegangan yang tidak sesuai dapat menyebabkan aliran arus yang tidak efisien atau berlebih, yang berpotensi merusak komponen jaringan dan peralatan.

- b. Penyesuaian tegangan biasanya dilakukan dengan mengubah pengaturan pada generator.

3. Sudut Fasa:

- a. Sudut fasa genset harus sejajar dengan sudut fasa di jaringan genset lain saat sinkronisasi. Kesesuaian sudut fasa penting untuk menghindari aliran daya listrik yang mendadak dan besar, yang bisa merusak peralatan.
- b. Sudut fasa dikontrol melalui penyesuaian waktu koneksi genset ke jaringan.

4. Urutan Fasa:

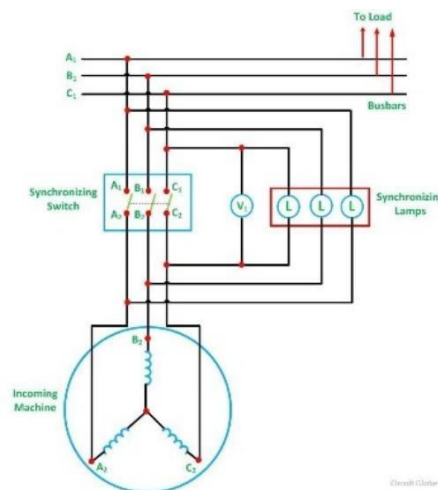
Urutan fasa (misalnya R-S-T) harus sesuai agar putaran dan pembagian beban tidak berlawanan arah.

2.2.2 Komponen sinkronisasi

Untuk melakukan proses sinkronisasi terdapat komponen utama untuk mendukung penyikronan dua genset yaitu:

2.2.2.1 Lampu terang-gelap

Terdapat beberapa komponen utama dalam sinkronisasi salah satunya yaitu lampu terang-gelap. Lampu terang-gelap merupakan alat visual untuk memantau kondisi sinkronisasi secara manual. Adapun metode sinkronisasi dengan lampu terang-gelap yang digunakan yaitu metode tiga lampu gelap.



Gambar 2. 1 Metode lampu terang-gelap

Gambar 2.1 merupakan wiring metode lampu terang gelap yang digunakan. Dalam metode ini, prinsipnya ialah menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu R dengan R, S dengan S, T dengan T seperti yang terlihat pada gambar diatas. Jika rangkaian paralel benar (urutan fasa nya sama) maka lampu L1 ,L2 dan L3 akan gelap secara bersamaan. Pada saat lampu nyala terang maka beda phasanya besar, dan jika lampunya redup maka beda phasanya kecil.

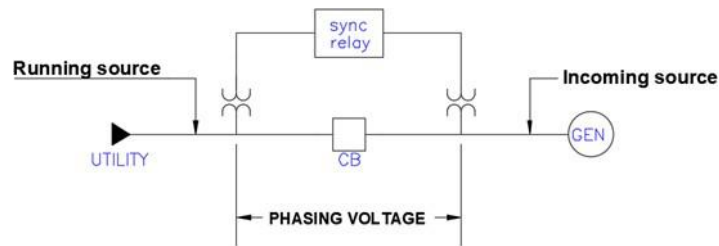
2.2.2.1 Syncro Check Relay



Gambar 2. 2 Syncro Check Relay

Gambar 2.2 merupakan relai pemeriksaan sinkronisasi atau digunakan untuk memverifikasi bahwa tegangan, sudut fasa, frekuensi dan rotasi fasa di kedua sisi pemutus adalah sama sebelum pemutus ditutup. Relai synchrocheck memastikan bahwa tegangan sisi bus dan saluran berada dalam perbedaan terprogram besaran tegangan, sudut fasa, frekuensi dan rotasi fasa adalah sama. Permisif dari relai ini kemudian dapat digunakan untuk paralelisasi sumber manual atau otomatis. Penutupan yang tidak 'sinkron' dapat menimbulkan dampak yang signifikan pada sistem tenaga listrik dan dalam kasus terburuk dapat merusak peralatan karena arus hubung singkat yang tinggi.

Metode dasar pemeriksaan sinkronisasi pada relai digital modern ditunjukkan pada gambar di bawah. Masukan tiga fasa (sumber berjalan) dari satu sisi pemutus diumpankan ke masukan tegangan tiga fasa pada relai. Input satu fasa terpisah dari sisi lain pemutus digunakan untuk menyediakan input tegangan 'sinkronisasi' (sumber masuk) ke relai.



Gambar 2. 3 fase sinkronisasi

Karakteristik penutupan relai pemeriksa sinkronisasi ditentukan oleh besarnya pengaturan tegangan perbedaan vektor, biasanya berkisar antara 0-80 volt pada relai. Pengaturan tegangan perbedaan yang lebih kecil memungkinkan kriteria sinkronisasi yang lebih ketat. Pengaturan penundaan waktu menentukan berapa lama kedua sumber harus disinkronkan sebelum kontak keluaran relai berpindah. Penundaan waktu dipengaruhi oleh pengaturan tegangan diferensial dan biasanya diatur dalam rentang antara 1-15 detik.

2.2.2.2 Reverse Power Relay



Gambar 2. 4 reverse power relay

Gambar 2.4 merupakan relay reverse power yaitu relay untuk mendeteksi arah aliran daya yang biasanya digunakan untuk memonitor daya dari sebuah generator yang beroperasi secara paralel dengan generator yang lain atau paralel dengan jaringan utama (grid). Fungsi dari relay ini adalah untuk mencegah kondisi berbaliknya arah aliran daya sehingga mengalir dari bus (saluran utama) menuju kegenerator tersebut.

Relai Crompton mendeteksi daya balik dengan memantau arah aliran daya aktif (P). Secara matematis, daya aktif dihitung berdasarkan rumus:

$$P = I \times \cos\phi \quad (2.1)$$

I = Arus beban

$\cos\phi$ = Power Factor (Faktor Daya)

Kondisi Normal (Positive Power), saat generator bekerja normal, ia menghasilkan daya dan mengirimkannya ke busbar (jaringan). Komponen arus aktif ($I \times \cos\phi$) bernilai positif (+). Relai membaca ini sebagai kondisi aman dan kontak internal relai tetap diam (normal). Kondisi Daya Balik (Negative Power), Jika terjadi kegagalan pada prime mover (misal: mesin diesel kehabisan bahan bakar, atau katup uap turbin menutup), generator akan kehilangan torsi mekanisnya. Karena masih terhubung ke jaringan paralel yang bertegangan, generator akan terseret dan berubah fungsi menjadi motor listrik (menyerap daya aktif dari jaringan untuk memutar turbin/mesin). Pada titik ini, arah arus berbalik arah sebesar 180° , sehingga nilai komponen aktif ($I \times \cos\phi$) berubah menjadi negatif (-).

2.2.3 Human Machine Interface (HMI)



Gambar 2. 5 HMI Schneider

Gambar 2.5 merupakan *Human Machine Interface* (HMI) adalah media komunikasi antara manusia dan teknologi mesin dari suatu sistem. HMI membantu operator secara lebih dekat untuk mengontrol suatu plan sistem dan operasi PLC pada setiap tahap pengoperasian plan sebagai basis proses visualisasi sistem yang menghubungkan semua komponen dalam sistem dengan baik. Sistem HMI

biasanya bekerja secara online dan *real-time* dengan membaca data yang dikirimkan melalui I/O yang digunakan oleh sistem kontrolnya. Dengan menggunakan HMI sebagai console operator, operator bisa menyajikan berbagai macam analisa grafis, *hystorical information*, *database*, data *login* untuk keamanan, dan animasi ke dalam bentuk *software*.

2.2.2.1 Vijeo Designer



Gambar 2. 6 Vijeo Designer

Dalam membuat tampilan pada sebuah HMI digunakan sebuah *software* yang bernama Vijeo Designer seperti gambar 2.6 yang telah dibuat dan dikembangkan oleh Schneider Electronic Industries (SAS). *Software* ini dapat dijalankan diberbagai macam komputer, *platform*, dan bermacam tempat kebutuhan. Semua fasilitas yang terdapat pada Vijeo Designer dapat kita ciptakan melalui tampilan layar dengan beberapa fungsi grafik dan animasi yang diperlukan. Bahkan dengan permintaan dari yang paling sederhana hingga paling rumit dapat dijalankan melalui *software*.

2.2.4 Programmable Logic Controller (PLC)



Gambar 2. 7 Programmable Logic Controller (PLC)

UTOMO, K. P. (2018) Data-data berupa sinyal dari peralatan input luar (external input device) diterima oleh sebuah PLC dari sistem yang dikontrol. Peralatan input luar tersebut antara lain berupa saklar, tombol, sensor, dan lain-lain. Data-data masukan yang masih berupa sinyal analog akan diubah oleh modul input A/D (analog to digital input module) menjadi sinyal digital. Selanjutnya oleh unit prosesor sentral atau CPU yang ada di dalam PLC sinyal digital dan disimpan di dalam ingatan (Memory). *Programmable Logic Controller* atau PLC merupakan suatu *controller* / pengatur / pengendali yang bekerja berdasarkan *logic* / logika tertentu (*if – then*) yang dapat diprogram & diprogram ulang (*programmable/reprogrammable*). Sama seperti *controller* lainnya, dalam sistem kendali, PLC berperan sebagai *controller* yang mengolah informasi-informasi masukan/*input* dalam rangka menentukan luaran/*output* yang akan dihasilkan. PLC merupakan perangkat cerdas yang dapat diprogram untuk sistem automasi pada industri. Pada umumnya PLC digunakan di pabrik-pabrik untuk mengendalikan mesin-mesin agar dapat bekerja secara otomatis. PLC merupakan salah satu komponen yang sangat berperan dalam meningkatkan efisiensi produksi. Efisiensi ini meliputi :

- a. peningkatan kecepatan produksi,
- b. meminimalkan *downtime* mesin,
- c. menurunkan biaya material & upah kerja,
- d. meningkatkan kualitas dan menurunkan tingkat kegagalan produksi.

PLC banyak digunakan untuk menggantikan sistem kontrol konvensional/ wired logic yang memiliki banyak kelemahan, seperti :

- a. ruang lingkup dan skala kontrol yang terbatas,
- b. modifikasi & maintenance yang lebih sulit, dll.

PLC akan bereaksi terhadap perubahan sinyal dari sumber seperti *pushbutton*, menjalankan program, dan menghasilkan sinyal output untuk beban eksternal seperti indikator. Pengoperasian beban dapat dengan mudah dilakukan dan diubah oleh program pengguna.

2.2.5 Kontaktor 3 Fasa



Gambar 2. 8 Kontaktor 3 fasa

Gambar 2.8 kontaktor merupakan suatu komponen listrik yang mampu digunakan untuk menyambungkan atau memutuskan arus listrik bolak-balik (AC). Prinsip kerja kontaktor mirip layaknya relay. Di dalamnya juga terdapat komponen berupa saklar yang dikendalikan secara elektromagnetik. Pada kontaktor terdapat komponen saklar NO dan NC dan juga tersedia suatu kumparan tembaga. Apabila kumparan tembaga (Coil) diberikan arus listrik bolak-balik maka saklar didalamnya akan membuka atau memengaruhi kondisinya secara otomatis. Misalkan perubahan kondisinya layaknya terhadap posisi awal saklar *off* jadi *on* dan begitu juga sebaliknya. Di dalam proses itu biasanya memerlukan waktu selama 4-9 ms (Untuk *on*) dan 12-22 ms (Untuk *off*). Tapi, ketika arus yang masuk kedalam contactor berhenti maka medan magnetnya akan hilang dan menyebabkannya lagi ke kondisi semula.

2.2.6 Relay



Gambar 2. 9 Relay

Relay adalah sebuah komponen elektronika yang berbentuk saklar yang dioperasikan dengan listrik, dilengkapi 2 bagian diantaranya elektromagnet (Coil) dan mekanikal (*switch*). Dimana komponen pada relay tersebut memanfaatkan prinsip elektromagnetik untuk dapat menggerakkan saklar sehingga dapat menghantarkan arus listrik. PLC (*programmable logic controller*) tidak dapat mengendalikan kontaktor secara langsung. Sehingga memerlukan fungsi relay sebagai perantaranya, hal itu karena PLC memiliki batasan kapasitas yang bisa dilalui.

2.2.7 Miniatur Circuit Breaker

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) adalah perangkat elektromekanis yang dirancang untuk melindungi sirkuit listrik dari kerusakan akibat arus berlebih, seperti arus pendek atau kelebihan beban. MCB digunakan secara luas dalam instalasi listrik rumah tangga, komersial, dan industri untuk memastikan keamanan dan keandalan sistem listrik. Fungsi utama MCB adalah perlindungan terhadap kelebihan beban. Jika arus yang mengalir melebihi kapasitas yang diizinkan (misalnya, akibat penggunaan perangkat listrik yang berlebihan), MCB akan memutuskan sirkuit untuk mencegah kerusakan pada kabel dan perangkat. Perlindungan terhadap hubung singkat. Ketika terjadi hubungan langsung antara fase dan netral (arus pendek), arus yang sangat besar mengalir. MCB akan segera memutus sirkuit untuk menghindari kerusakan serius. MCB diklasifikasikan berdasarkan jumlah kutubnya, terbagi menjadi 5 yaitu *single pole* (1P), *double pole* (2P), *triple pole* (3P), *triple pole with neutral* (3P+N), dan *four pole* (4P).



Gambar 2. 10 MCB Single Pole(kanan) dan MCB Tiriple Pole(kiri)

2.2.8 Power Supply



Gambar 2. 11 Power Supply

Yantoro, Y. (2014) *Power supply* adalah perangkat keras yang berfungsi untuk menyuplai tegangan langsung ke komponen *Electronic Data Processing* (EDP) dalam casing yang membutuhkan tegangan, misalnya receiver, transmitter, alarm dan lain-lain. Input power supply berupa arus AC 220 volt menjadi DC 24 volt kemudian melakukan pengubahan sinyal bolak balik menjadi sinyal listrik searah (DC). *Power Supply* adalah perangkat yang menyediakan daya listrik untuk mengoperasikan berbagai perangkat elektronik atau sistem. *Power supply* berfungsi mengubah energi listrik dari sumber tertentu (seperti jaringan listrik, baterai, atau *generator*) menjadi bentuk yang sesuai dengan kebutuhan perangkat, baik itu tegangan AC (*Alternating Current*) atau DC (*Direct Current*). Fungsi Utama *power supply* adalah mengubah tegangan dan arus listrik dari sumber utama menjadi tingkat yang sesuai dengan perangkat yang membutuhkan daya. Menstabilkan tegangan dengan cara menyediakan tegangan keluaran yang stabil meskipun terjadi fluktuasi pada sumber daya atau beban. Memberikan perlindungan terhadap lonjakan tegangan, arus berlebih, atau korsleting.

2.2.9 Generator Set

Generator adalah mesin penggerak yang dirancang sedemikian rupa agar dapat mengubah energi gerak menjadi sumber energi listrik. Untuk menghasilkan energi listrik, genset menggunakan energi mekanik dengan cara memutar kumparan di dalam medan magnet. Energi dari kumparan tersebut kemudian diubah menjadi gaya gerak listrik (GGL). Umumnya, genset memiliki mesin berbentuk rotor yang menggunakan pembakaran internal dan bahan bakar solar. Penggunaan genset sangat penting, terutama di tempat-tempat yang membutuhkan aliran listrik yang stabil. Dengan adanya pasokan listrik yang terjaga, layanan publik dapat berjalan seperti biasa, sedangkan pabrik dapat mempertahankan proses produksi sesuai target. Selain itu, mesin produksi juga tetap berfungsi dengan baik dan kualitasnya terjaga. Ada dua buah generator yang digunakan untuk sistem sinkronisasi ini yaitu:

1. Generator Hartech 25 F 25 KVA.



Gambar 2. 12 Nameplate Generator Set Hartech 25 F

Dengan rumus daya semu yaitu :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2.1)$$

Dimana:

- S = daya tampak (apparent power) dalam VA atau kVA
- V = tegangan antar fasa dalam Volt (V)
- I = arus per fasa dalam Ampere (A)

Untuk mencari nilai arus I, maka:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2.2)$$

Jika:

- $S = 25 \text{ kVA}$
- $V = 380 \text{ V}$

Maka :
$$I_{\frac{s}{\sqrt{3} \times 400}} = 37,98 \text{ A}$$

Jadi, nilai arus dari generator tersebut adalah **37,98 Ampere**.

Dari keterangan pada *nameplate* genset tersebut dapat ditentukan nilai impedansi dari genset tersebut jika nilai persen impedansinya sebesar 10% menggunakan rumus berikut:

$$Z = \frac{kV^2 \times \%Z}{MVA_{base} \times 100} \quad (2.3)$$

Dimana:

- kV = tegangan nominal antar fasa (V)
- MVA_{base} = kapasitas daya generator (kVA)
- $\%Z$ = nilai persen impedansi dari pabrikan

Jika:

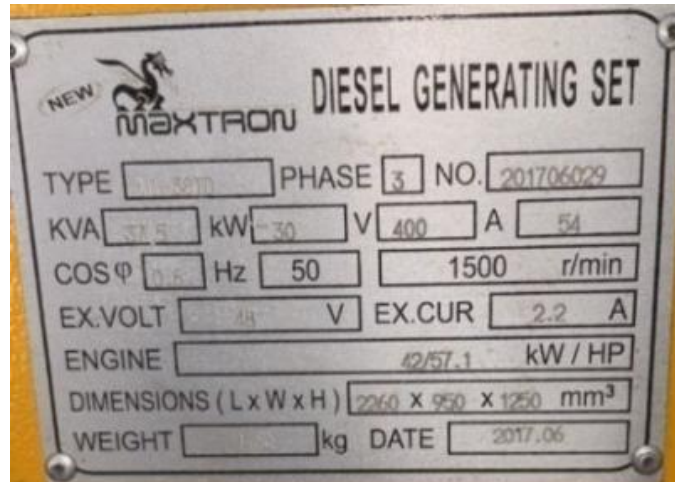
- $kV = 380 \text{ V}$
- $MVA_{base} = 25 \text{ kVA}$
- $\%Z = 10\%$

Maka :

$$Z = \frac{380^2 \times 10\%}{25000 \times 100}$$

Jadi, nilai impedansi dari generator tersebut adalah **0,5776 Ohm**.

2. Genset Maxtron MT-38 TD 35 KVA



Gambar 2. 13 Nameplate Generator Maxtron MT 38 TD

Untuk mencari nilai arus I , maka:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

Jika:

- $S = 37,5 \text{ kVA}$
- $V = 400 \text{ V}$

Maka:

$$I = \frac{37.500}{\sqrt{3} \times 400} = 54 \text{ A}$$

Jadi, nilai arus dari generator tersebut adalah **54 Ampere**.

Dari keterangan pada *nameplate* genset tersebut dapat ditentukan nilai impedansi dari genset tersebut jika nilai persen impedansinya sebesar 10% menggunakan rumus berikut:

$$Z = \frac{kV^2 \times \%Z}{MVA_{base} \times 100}$$

- kV = tegangan nominal antar fasa (V)
- MVA_{base} = kapasitas daya generator (kVA)
- %Z = nilai persen impedansi dari pabrikan

Jika:

- kV = 380V
- MVA_{base} = 35 kVA
- %Z = 10%

Maka :

$$Z = \frac{380^2 \times 10\%}{35000 \times 100}$$

Jadi Jadi, nilai impedansi dari generator tersebut adalah **0,4126 Ohm**.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini merupakan proses awal dalam pembuatan proyek akhir yang berguna untuk memudahkan dan melancarkan proses pengerjaan. Dalam proses perancangan ini terdapat beberapa bagian penting yang menjadi rujukan pembuatan alat nantinya, yaitu perancangan sistem, desain rangkaian dan perancangan mekanik/*hardware*.

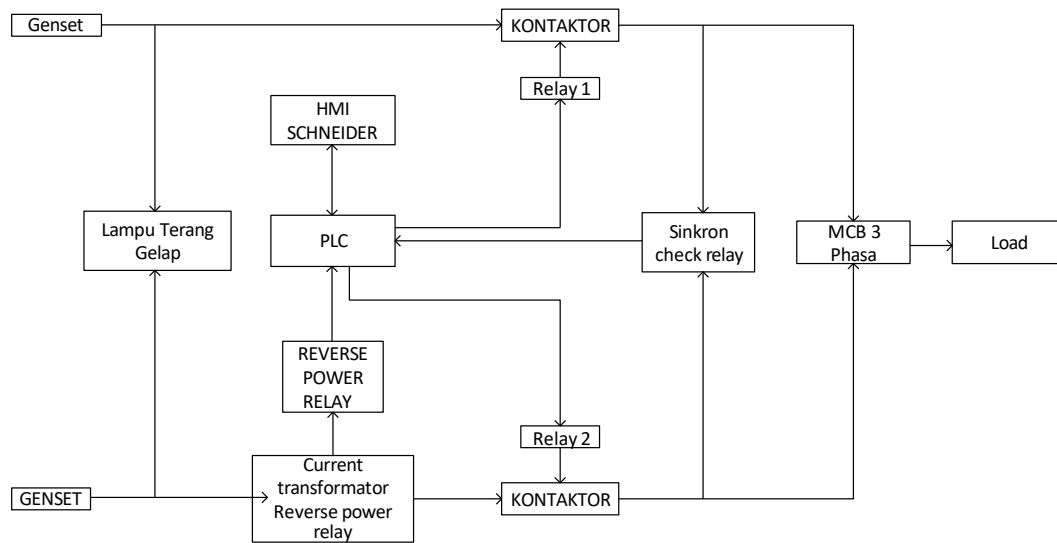
3.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem ialah untuk menjelaskan bagaimana suatu sistem yang akan dibuat secara keseluruhan dengan tujuan agar perancangan alat yang akan dibuat dapat berfungsi sesuai dengan harapan. Pada perancangan sistem ini meliputi diagram blok sistem dan flowchart sistem.

3.1.1 Diagram Blok Sistem

Adapun blok diagram dari Perancangan dari *system* monitoring dan pengontrolan berbasis *human machine interface* (HMI) pada sistem sinkronisasi genset dan genset sebagai yaitu system dimulai dengan mengaktifkan kontaktor dari genset 1 pada tampilan HMI Schneider, setelah genset1 hidup, selanjutnya melakukan proses sinkronisasi dengan memonitoring lampu terang gelap. Setelah lampu terang gelap menunjukkan tanda jika kedua genset telah sinkron, menghidupkan Genset 2 dari modul HMI Schneider yang sudah terkoneksi. Sumber listrik dari genset 1 dan genset 2 diambil masing-masing fasa R dan fasa S untuk dideteksi oleh *syncro check relay*, jika saat sumber main genset 1 dan genset 2 telah sinkron lalu terjadi kegagalan sinkron yang ditandai dengan aktifnya lampu indicator *failed* pada tampilan HMI dan matinya lampu indicator pada *syncro check relay*, maka kontak bantu *normally close* (NC) dari *syncro check relay* akan mengirimkan sinyal ke PLC dan PLC akan memutus relay genset 2. Jika terjadi arus balik pada genset 2, maka Reverse Power Relay akan mendeteksi dan mengaktifkan kontak bantu *normally open* untuk mengirim sinyal ke PLC dan PLC akan mematikan kontaktor genset 2 supaya terlepas dan tidak terjadi arus balik yang dapat merusak sisi genset ketika gagal sinkron. Proses ini dapat di monitoring dan di control pada tampilan HMI Schneider yang sudah terkoneksi ke PLC dengan

bantuan *switch hub* RJ45. Ketika terjadi kegagalan sinkron maka buzzer akan menyala dan PLC akan mematikan genset.

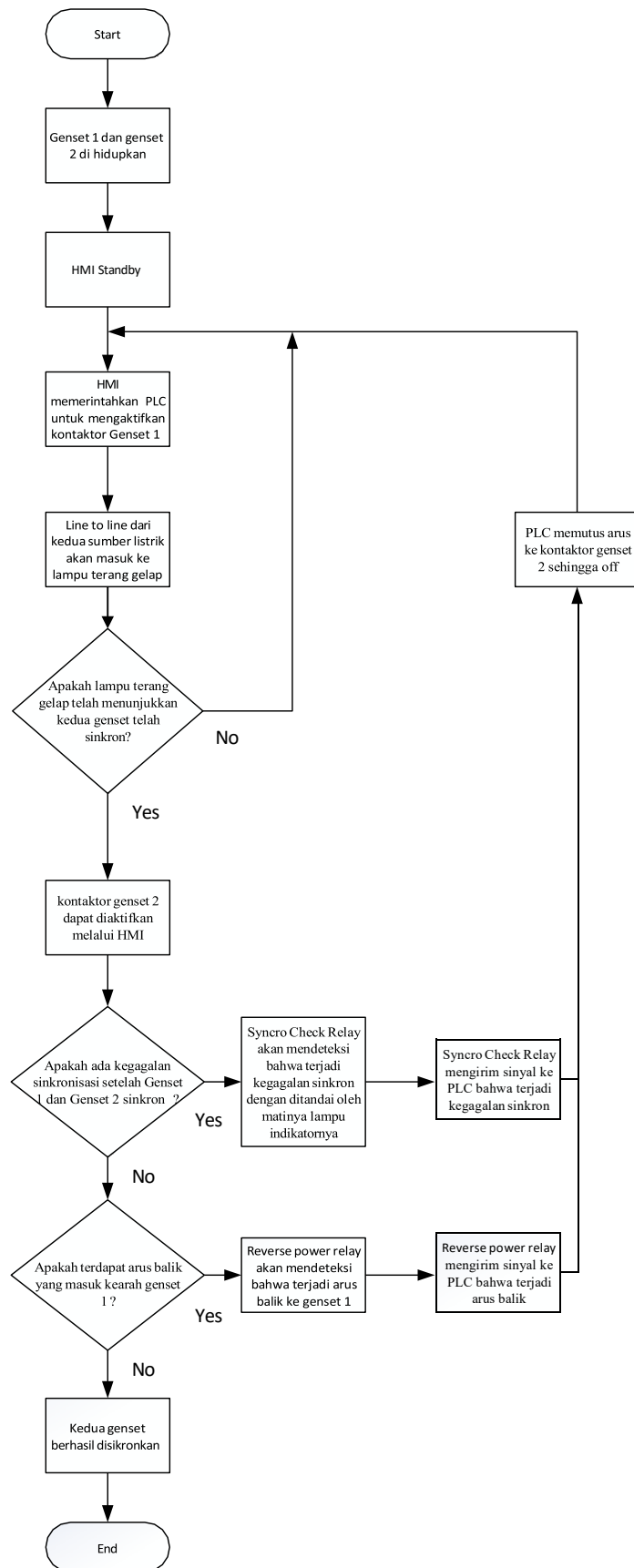


Gambar 3. 1 Diagram blok Sinkronisasi generator set berbasis HMI

3.1.2 Flowchart

Flowchart merupakan representasi *visual* dari diagram alir. Fungsi utamanya adalah untuk menjelaskan urutan pelaksanaan proses kerja dari proposal proyek akhir yang akan dibuat ini. Flowchart untuk proposal proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

Pada Flowchart dimulai dari HMI Schneider *standby*, selanjutnya HMI mengaktifkan kontaktor genset 1. Selanjutnya *line to line* dari kedua masuk ke lampu terang gelap tetapi belum terhubung dengan *main grid* beban, apakah lampu terang gelap telah menunjukkan bahwa kedua genset telah sinkron?. Jika telah sinkron maka kontaktor genset 2 dapat diaktifkan melalui HMI. Jika pada saat kondisi sinkron terjadi gagal sinkron atau terjadi arus balik ke genset 2 maka *syncro check relay* akan mengirim sinyal ke PLC dan PLC mengirim sinyal ke HMI bahwa terjadi kegagalan sinkron. Lalu PLC akan mengirim sinyal untuk mematikan kontaktor genset 2, lalu proses akan Kembali looping ke posisi HMI *standby*.



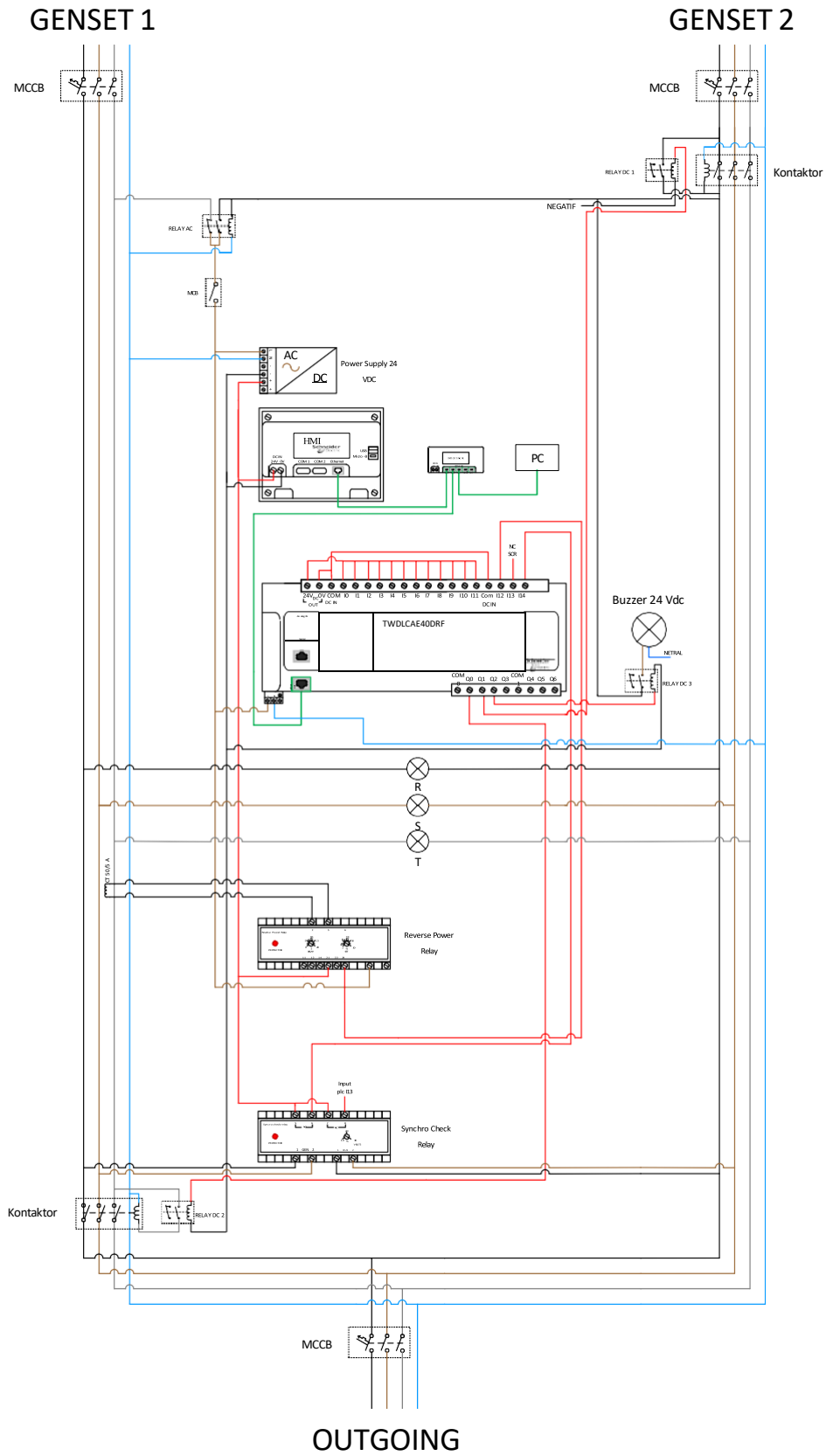
Gambar 3. 2 Flowchart Sinkronisasi generator set berbasis HMI

3.2 Perancangan Desain Rangkaian

Perancangan desain rangkaian merupakan desain awal pengkabelan (*wiring*) untuk tugas akhir ini. Proses wiring tersebut mencakup pengkabelan *system scadatel* dimana *wiring* tersebut dari proses pengkoneksian HMI ke PLC atau ke komputer untuk memasukkan program. Untuk pengkoneksian antara HMI-PLC-komputer harus menggunakan *switch Hub TP-Link* menggunakan kabel RJ-45. Pada system kontrol terdapat ATS mini untuk mensuplay tegangan DC ke *system control*. Terdapat *power supply* 24 Vdc untuk PLC dan relay DC.

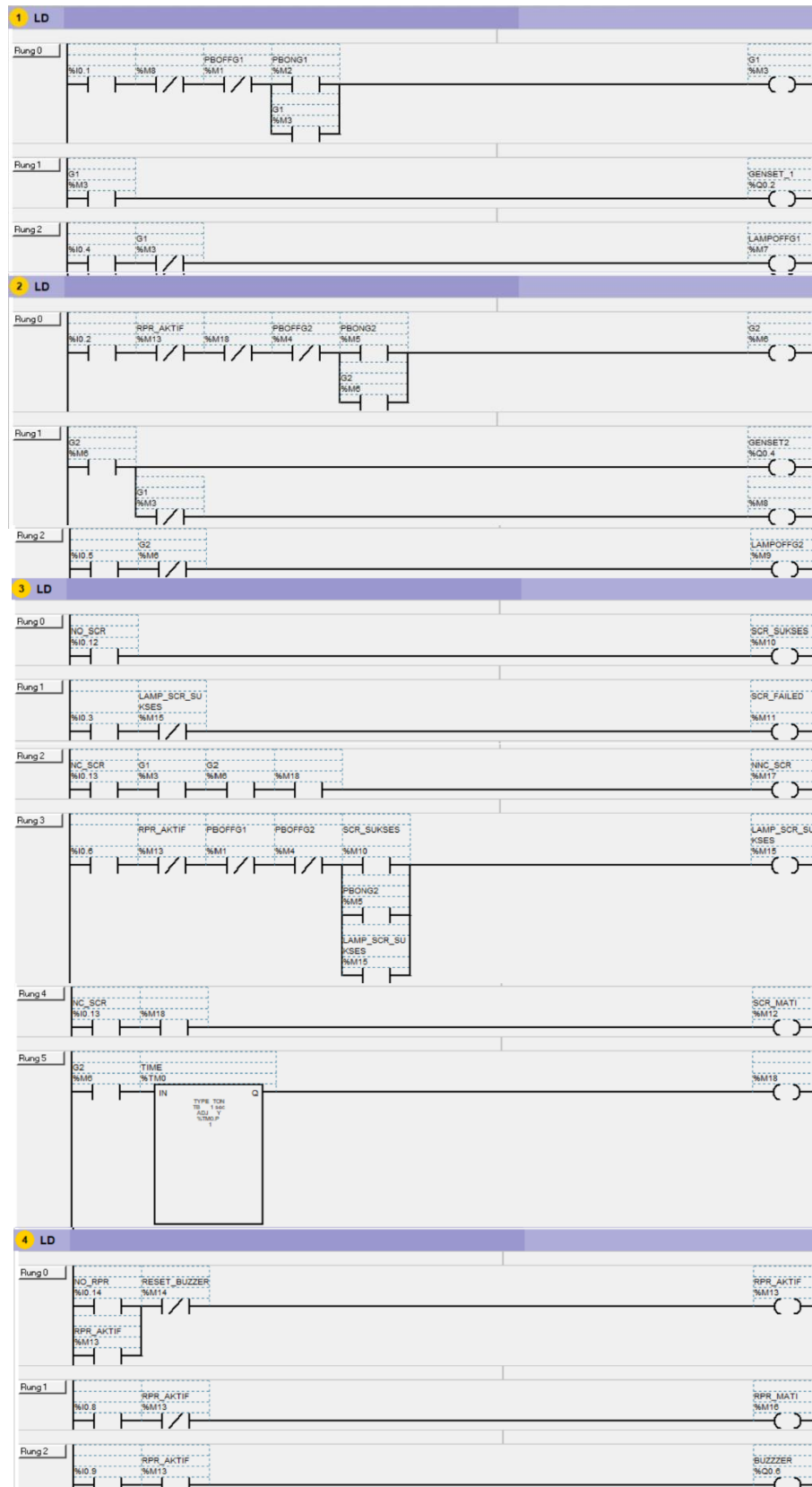
Pada sistem sinkronisasi terdapat 3 buah lampu sinkron dengan metode gelap-gelap, dimana ketiga fasa dari masing-masing genset dihubungkan *parallel* ke masing-masing generator. Untuk system proteksi terdapat proteksi untuk sinkronisasi *Synchro Check Relay Merk Crompton type 256 PLLW* jika terjadi kegagalan sinkron. Lalu terdapat proteksi *reverse power relay* sebagai proteksi jika terjadi arus balik ke genset 1. Lalu terdapat *buzzer* sebagai monitoring Ketika terjadi kegagalan sinkron.

Untuk rangkaian daya terdapat 2 genset yang Dimana genset 1 berperan sebagai genset *master* (genset utama), dan genset *slave* (genset Cadangan). Kedua genset dapat berfungsi secara bergantian jika tidak diperlukan sinkronisasi. Pada kedua genset terdapat MCCB 3 fasa sebagai proteksi awal jika terjadi kelebihan beban. Lalu terdapat kontaktor 3 fasa sebagai komponen pengaman dan sebagai pemutus yang dikendalikan oleh PLC. Keluaran dari kedua kontaktor tersebut dihubungkan menjadi 1 sebagai jalur sinkronisasi. Pada sisi output (keluaran dari kedua kontaktor genset) terdapat MCCB outgoing.



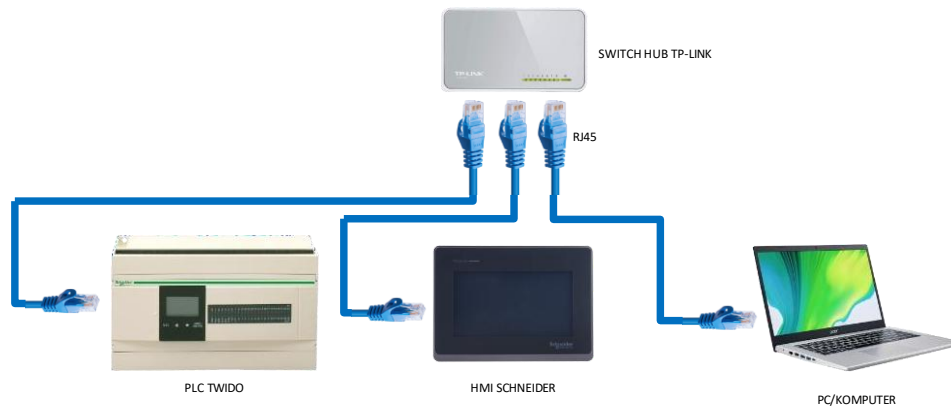
Gambar 3. 3 Rangkaian Sinkronisasi generator set berbasis HMI

3.3 Perancangan *Ladder Diagram* programmable logic controller



Gambar 3. 4 Ladder Diagram

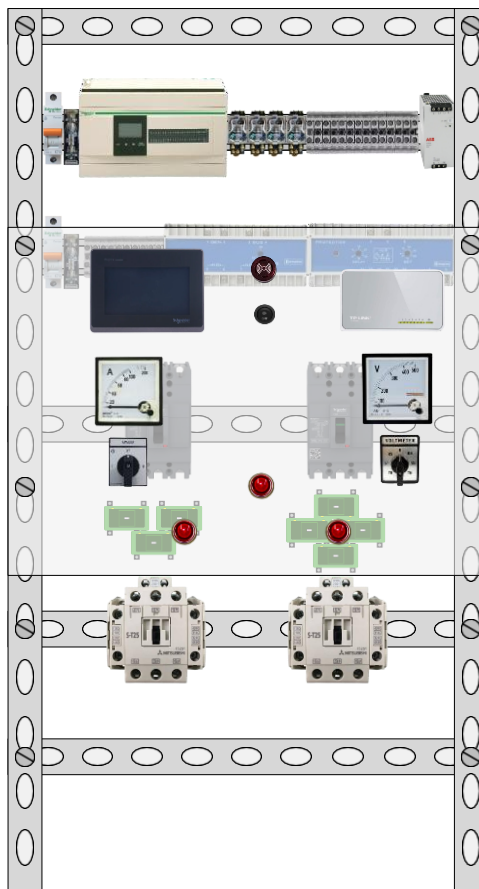
3.4 Konfigurasi HMI - PLC



Gambar 3. 5 Konfigurasi HMI-PLC

Konfigurasi HMI-PLC-komputer (Gambar 3.5) harus menggunakan *switch Hub TP-LINK* yang berfungsi sebagai terminal komunikasi antar perangkat yang didukung oleh kabel RJ-45.

3.5 Perancangan Mekanik/Hardware



Gambar 3. 6 Perancangan Mekanik

3.6 Desain tampilan HMI Schneider



Gambar 3. 7 Desain tampilan HMI Schneider

3.7 Rencana Pengujian

Rencana pengujian dari sistem ini adalah sebagai berikut:

- Fungsi HMI sebagai monitoring proses sinkronisasi
- HMI sebagai perantara untuk men-standby-kan generator set
- Fungsi HMI sebagai indikator untuk proteksi *reverse power relay*
- Fungsi HMI sebagai indikator untuk *synchro check relay*
- Fungsi HMI sebagai indikator genset
- Fungsi PLC sebagai pengontrol penggabungan kedua sumber listrik

Ketika syarat sinkron terpenuhi

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

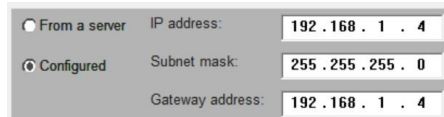
Pada bab 4 ini akan membahas tentang hasil analisa yang didapatkan dari rancang bangun monitoring *synchro check relay* menggunakan *human machine interface* (HMI) dan *programmable logic controller* (PLC) pada sistem sinkronisasi genset dan genset.

4.1 Realisasi Perancangan

Pada realisasi perancangan dari rancang bangun monitoring *synchro check relay* menggunakan *human machine interface* (HMI) dan *programmable logic controller* (PLC) pada sistem sinkronisasi genset dan genset ini terdapat dua bagian, yaitu:

4.1.1 Realisasi pada *software*

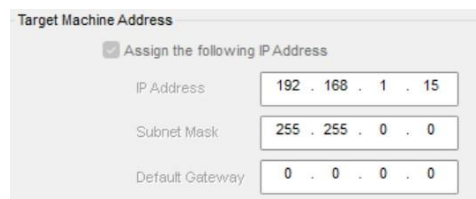
Pada software dapat dimulai dari konfigurasi komunikasi dari HMI dan PLC melalui media ethernet. Untuk menghubungkan HMI ke PLC harus menggunakan media komunikasi seperti RJ45 yang dapat menghubungkan perangkat via *ethernet* dengan bantuan switch sebagai titik koneksi dalam jaringan RJ45. Pada HMI dan PLC dapat di *setting* ip *address* yang berbeda. Setingan IP *address* pada kedua perangkat sebagai berikut:



The image shows a configuration window for a PLC. It has two radio buttons: 'From a server' (unselected) and 'Configured' (selected). To the right of these are three input fields for IP address, subnet mask, and gateway address. The IP address is '192 . 168 . 1 . 4', the subnet mask is '255 . 255 . 255 . 0', and the gateway address is '192 . 168 . 1 . 4'.

☐ From a server	IP address:	192 . 168 . 1 . 4
☒ Configured	Subnet mask:	255 . 255 . 255 . 0
	Gateway address:	192 . 168 . 1 . 4

Gambar 4. 1 IP Address PLC



The image shows a configuration window for an HMI titled 'Target Machine Address'. It has a checked checkbox 'Assign the following IP Address'. Below this are three input fields for IP address, subnet mask, and default gateway. The IP address is '192 . 168 . 1 . 15', the subnet mask is '255 . 255 . 0 . 0', and the default gateway is '0 . 0 . 0 . 0'.

Target Machine Address	
☒ Assign the following IP Address	
IP Address	192 . 168 . 1 . 15
Subnet Mask	255 . 255 . 0 . 0
Default Gateway	0 . 0 . 0 . 0

Gambar 4. 2 IP Address HMI

IP *address* pada PLC (gambar 4.1) berguna sebagai alamat untuk PLC agar dapat berkomunikasi dengan perangkat lain via *ethernet*. IP *address* pada HMI (gambar 4.2) berfungsi sebagai media komunikasi dan target untuk HMI agar dapat berkomunikasi dan mengirim data dari perangkat lain (Komputer) atau ke perangkat lain (PLC). Agar HMI dapat mengolah data dari PLC maka pada HMI

dapat ditambahkan protocol komunikasi antar perangkat seperti modbus TCP/IP. Pada modbus TCP/IP terdapat struktur pengolahan data yang terdiri dari *master* (mengirim permintaan) dan *slave* (memberikan respon). Pada komunikasi HMI sebagai *master* dan PLC sebagai *slave*. Agar HMI dapat menerima sinyal komunikasi dari PLC, maka pada konfigurasi equipment modbus TCP/IP dapat diisi IP address dari PLC seperti gambar 4.3.

Equipment Address

IP Address: 192 . 168 . 1 . 4

Unit ID: 255 / 255

☐ Secondary Connection

Backup IP: 0 . 0 . 0 . 0

Gambar 4. 3 konfigurasi pada modbus TCP/IP

Agar mempermudah komunikasi ke HMI pada setiap input, output, dan memory yang akan ditampilkan pada PLC diberi penamaan.

Used	%M	Symbol
☒	%M1	PBOFFG1
☒	%M2	PBONG1
☒	%M3	G1
☒	%M4	PBOFFG2
☒	%M5	PBONG2
☒	%M6	G2
☒	%M7	LAMPOFF
☒	%M8	
☒	%M9	LAMPOFF
☒	%M10	SCR_SUK
☒	%M11	SCR_FAIL
☒	%M12	SCR_MATI
☒	%M13	RPR_AKTI
☒	%M14	RESET_B
☒	%M15	LAMP_SC
☒	%M16	RPR_MATI
☒	%M17	NNC_SCR
☒	%M18	

Table of inputs		
Used	Address	Symbol
☐	%I0.0	
☒	%I0.1	
☒	%I0.2	
☒	%I0.3	
☒	%I0.4	
☒	%I0.5	
☒	%I0.6	
☐	%I0.7	
☒	%I0.8	
☒	%I0.9	
☐	%I0.10	
☐	%I0.11	
☒	%I0.12	NO_SCR
☒	%I0.13	NC_SCR
☒	%I0.14	NO_RPR

Table of outputs		
Used	Address	Symbol
☐	%Q0.0	
☐	%Q0.1	
☒	%Q0.2	GENSET_1
☐	%Q0.3	
☒	%Q0.4	GENSET2
☐	%Q0.5	
☒	%Q0.6	BUZZZER

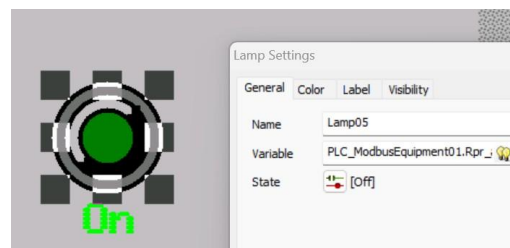
Gambar 4. 4 simbol used pada PLC

Untuk program dan tampilan pada HMI dapat dirancang pada aplikasi vijeo designer dengan menambahkan variable data dari PLC pada variable link.

PLC_ModbusEquipment0*						
Buzzer	BOOL	External	ModbusEquip...	%Q0.0.6	Disabled	None
G1	BOOL	External	ModbusEquip...	%M3	Disabled	None
G2	BOOL	External	ModbusEquip...	%M6	Disabled	None
Genset2	BOOL	External	ModbusEquip...	%Q0.0.4	Disabled	None
Genset_1	BOOL	External	ModbusEquip...	%Q0.0.2	Disabled	None
Lampoffg1	BOOL	External	ModbusEquip...	%M7	Disabled	None
Lampoffg2	BOOL	External	ModbusEquip...	%M9	Disabled	None
Nc_scr	BOOL	External	ModbusEquip...	%I0.0.13	Disabled	None
No_rpr	BOOL	External	ModbusEquip...	%I0.0.14	Disabled	None
No_scr	BOOL	External	ModbusEquip...	%I0.0.12	Disabled	None
Pboffg1	BOOL	External	ModbusEquip...	%M1	Disabled	None
Pboffg2	BOOL	External	ModbusEquip...	%M4	Disabled	None
Pbong1	BOOL	External	ModbusEquip...	%M2	Disabled	None
Pbong2	BOOL	External	ModbusEquip...	%M5	Disabled	None
Reset_buzzer	BOOL	External	ModbusEquip...	%M14	Disabled	None
Rpr_aktif	BOOL	External	ModbusEquip...	%M13	Disabled	None
Rpr_mati	BOOL	External	ModbusEquip...	%M16	Disabled	None
Scr_failed	BOOL	External	ModbusEquip...	%M11	Disabled	None
Scr_mati	BOOL	External	ModbusEquip...	%M12	Disabled	None
Scr_sukses	BOOL	External	ModbusEquip...	%M10	Disabled	None

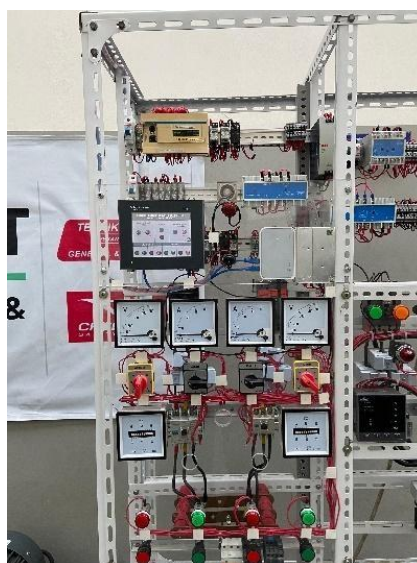
Gambar 4. 5 Variable Link PLC pada HMI

Pada program HMI untuk komunikasi dimasukkan alamat variable dari PLC pada setiap tool yang digunakan.



Gambar 4. 6 komunikasi variable pada komponen di HMI

4.1.2 Realisasi pada hardware



Gambar 4. 7 Realisasi Alat

Pada perancangan *hardware* terdapat bagian sisi depan dan belakang panel. Pada sisi belakang terdapat bagian kontrol, daya, dan monitoring. Pada bagian kontrol terdiri dari MCB 1 *phasa*, PLC, relay DC, relay AC, terminal *din rail*, *Power supply 24 Vdc*, *fuse*, *synchro check relay*, *reverse power relay*, dan *current transformer*. Pada bagian daya terdiri dari MCCB, kontaktor, *busbar*, dan MCB 3 *phasa*. Pada bagian depan panel terdapat HMI, *buzzer*, *switch Hub TP-Link*, *Power Supply 5 Vdc*, *Voltmeter*, *selector voltmeter*, *Ampere meter*, *selector ampere meter*, dan lampu terang gelap.



Gambar 4. 8 Realisasi koneksi HMI - switch Hub - PLC

4.2 Hasil pengujian

4.2.1 Pengujian pada saat *standby*



Gambar 4. 9 Tampilan HMI Standby

Hasil pengujian pada saat posisi *standby*, HMI menunjukkan tampilan monitoring posisi kedua genset dalam keadaan *off* dengan menampilkan *pilot lamp off* pada masing-masing genset. Pada monitoring *synchro check relay* dan *reverse power relay* akan menampilkan *pilot lamp off* untuk menandakan bahwa

sinkronisasi belum terjadi atau *failed* dan *reverse power relay* belum bekerja. HMI akan membaca Alamat PLC dengan keterangan sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Alamat PLC posisi Standby

No.	Alamat	Keterangan
1.	%M7	Lampu Off Genset 1
2.	%M9	Lampu Off Genset 2
3.	%M11	Sinkronisasi Failed
4.	%M16	reverse power relay off

Alamat tersebut merupakan Alamat yang tertera pada setiap *ladder diagram* PLC, dapat dilihat di sisi *animated the program* kondisi PLC pada saat standby sebagai berikut:



Gambar 4. 10 Ladder diagram PLC pada saat standby

Dari kondisi ladder diagram *standby* tersebut dapat dilihat pada *rung 2 ladder 1 input %I0.4* mengirim tegangan untuk mengaktifkan *output %M7* sebagai *memory* untuk lampu *off* genset 1 pada tampilan HMI. Pada *rung 2 ladder 2 input %I0.5* mengirim tegangan untuk mengaktifkan *output %M9* sebagai *memory* untuk lampu *off* genset 2 pada tampilan HMI. Pada *rung 1 ladder 3 input %I0.3* mengirim tegangan untuk mengaktifkan *output %M11* sebagai *memory* untuk lampu *synchro check relay* kondisi *failed* pada tampilan HMI. Pada *rung 1 ladder 4 input %I0.8* mengirim tegangan untuk mengaktifkan *output %M16* sebagai *memory* untuk lampu *off reverse power relay* pada tampilan HMI.

Untuk kondisi *standby* hasil pengukuran dari kedua genset sebagai berikut:

Keterangan genset :

Genset 1 : Maxtron MT-38 TD 35 KVA

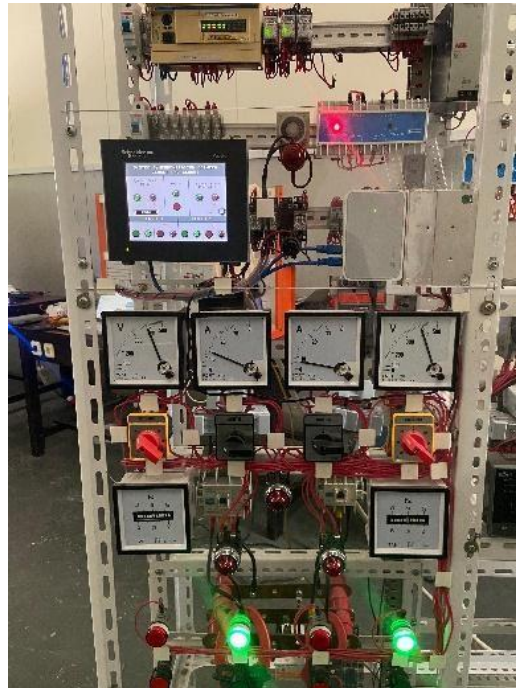
Genset 2 : Hartech 25 F 25 KVA

Tabel 4. 2 Data pengukuran kedua genset saat *standby*

No.	Waktu	GENSET 1						Frekuensi (Hz)	GENSET 2						Frekuensi (Hz)
		Tegangan (Volts)			Arus (Ampere)				Tegangan (Volts)			Arus (Ampere)			
		R - S	S - T	T - R	R - S	S - T	T - R		R - S	S - T	T - R	R - S	S - T	T - R	
1.	01.00	400	400	400	0	0	0	50,3	400	400	400	0	0	0	50,1
2.	02.00	400	400	400	0	0	0	50,3	400	400	400	0	0	0	50,1
3.	03.00	400	400	400	0	0	0	50,3	400	400	400	0	0	0	50,1
4.	04.00	400	400	400	0	0	0	50,3	400	400	400	0	0	0	50,1
5.	05.00	400	400	400	0	0	0	50,3	400	400	400	0	0	0	50,1

Pada hasil pengukuran yang didapatkan dari kedua genset memiliki tegangan antar phasa yang sama. Untuk frekuensi terdapat perbedaan frekuensi dari kedua genset, dimana genset 1 50,3 Hz dan genset 2 50,1 Hz. Untuk perbedaan tersebut dapat menyebabkan kegagalan sinkron, tetapi proses sinkronisasi masih memiliki nilai tolerir terhadap perbedaan frekuensi. Batas toleransi perbedaan frekuensi (slip) untuk sync check relay Crompton umumnya ditetapkan pada angka maksimal (0,1 Hz). Namun, beberapa model digital atau seri spesifik memungkinkan penyesuaian (adjustment) parameter batas frekuensi secara presisi antara 0,05 Hz hingga 0,5 Hz, bergantung pada kebutuhan sistem dan waktu tunda (time delay).

4.1.3 Pengujian pada saat sesudah sinkron



Gambar 4. 11 Tampilan ketika posisi sinkron

Pada saat posisi sinkron, HMI akan menampilkan monitoring posisi kedua genset dalam keadaan *on* dengan menampilkan *pilot lamp on* pada masing-masing genset. Pada monitoring *synchro check relay* pilot lamp *success* akan aktif. *Reverse power relay* akan menampilkan *pilot lamp off* untuk menandakan bahwa sinkronisasi berhasil dan tidak ada arus balik. HMI akan membaca Alamat PLC dengan keterangan sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Alamat PLC posisi sinkron

No.	Alamat	Keterangan
1.	%M3	Lampu On Genset 1
2.	%Q0.2	Output Genset 1
3.	%M6	Lampu On Genset 2
4.	%Q0.4	Output Genset 2
5.	%M10	Sinkronisasi Sukses
6.	%M15	Timer
7.	%M16	reverse power relay off

Alamat tersebut merupakan Alamat yang tertera pada setiap Pada *ladder diagram* PLC, dapat dilihat di sisi *animated the program* kondisi PLC pada saat sinkron sebagai berikut:

untuk mengaktifkan %M7 karena terdapat kontak normally close dari %M3 pada line menuju %M7. Pada *rung 0 ladder 2 input* %I0.2 mengirim tegangan untuk mengaktifkan *output* %M6 dengan mengaktifkan % M2 yang merupakan memory untuk Push button on genset 2 pada tampilan HMI. %M6 berfungsi sebagai *memory* untuk mengaktifkan %Q0.4 yang merupakan output untuk genset 1 dan sebagai *memory* untuk lampu *on* genset 2 pada tampilan HMI. Pada *rung 2 ladder 2* %I0.4 tidak dapat mengirimkan tegangan untuk mengaktifkan %M9 karena terdapat kontak normally close dari %M6 pada line menuju %M7. sebagai *memory* untuk lampu *off* genset 2 pada tampilan HMI. Pada *rung 0 ladder 3 input* %I0.12 yang merupakan input dari kontak Normally open *synchro check relay* akan mengaktifkan %M10 dan %M15 yang merupakan memory untuk pilot lamp success dan memory untuk mangaktifkan timer pada tampilan HMI. %M11 tidak dapat aktif karena terdapat kontak normally close dari %M15. Pada *rung 1 ladder 4 input* %I0.8 mengirim tegangan untuk mengaktifkan *output* %M16 sebagai *memory* untuk lampu *off reverse power relay* pada tampilan HMI.

Untuk kondisi sinkron hasil pengukuran dari kedua genset sebagai berikut:

Keterangan genset :

Genset 1 : Maxtron MT-38 TD 35 KVA

Genset 2 : Hartech 25 F 25 KVA

Beban : -

Tabel 4. 4 Data pengukuran genset saat sinkron tanpa beban

No.	Waktu	GENSET 1						Frekuensi (Hz)	GENSET 2						Frekuensi (Hz)
		Tegangan (Volts)			Arus (Ampere)				Tegangan (Volts)			Arus (Ampere)			
		R - S	S - T	T - R	R - S	S - T	T - R		R - S	S - T	T - R	R - S	S - T	T - R	
1.	00:01:00	400	400	400	02.2	02.2	02.2	50,3	400	400	400	01.4	01.4	01.4	50,1
2.	00:02:00	400	400	400	02.7	02.7	02.7	50,3	400	400	400	02.5	02.5	02.5	50,1
3.	00:03:00	400	400	400	03.9	03.9	03.9	50,3	400	400	400	03.2	03.2	03.2	50,1
4.	00:04:00	400	400	400	03.1	03.1	03.1	50,3	400	400	400	03.6	03.6	03.6	50,1
5.	00:05:00	400	400	400	04.4	04.4	04.4	50,3	400	400	400	04.8	04.8	04.8	50,1

Untuk kondisi sinkron hasil pengukuran dari kedua genset pada saat berbeban sebagai berikut:

Keterangan genset :

Genset 1 : Maxtron MT-38 TD 35 KVA

Genset 2 : Hartech 25 F 25 KVA

Beban : motor 3 phasa konfigurasi bintang 2HP

Tabel 4. 5 Data pengukuran kedua genset saat sinkron berbeban

No.	Waktu	GENSET 1						Frekuensi (Hz)	GENSET 2						Frekuensi (Hz)
		Tegangan (Volts)			Arus (Ampere)				Tegangan (Volts)			Arus (Ampere)			
		R - S	S - T	T - R	R	S	T		R - S	S - T	T - R	R	S	T	
1.	00:01:00	400	400	400	12.2	12.2	12.2	50,3	400	400	400	13.8	13.8	13.8	50,1
2.	00:02:00	400	400	400	14.5	14.5	14.5	50,3	400	400	400	15.5	15.5	15.5	50,1
3.	00:03:00	400	400	400	15.3	15.3	15.3	50,3	400	400	400	18.8	18.8	18.8	50,1
4.	00:04:00	400	400	400	18.0	18.0	18.0	50,3	400	400	400	20.6	20.6	20.6	50,1
5.	00:05:00	400	400	400	17.4	17.4	17.4	50,3	400	400	400	19.4	19.4	19.4	50,1

Pada kondisi setelah sinkron hasil pengukuran yang didapat terlihat tegangan antar phasa setelah sinkron berada pada nilai yang sama yaitu di angka 400 V. Pada sisi frekuensi terdapat perbedaan sekitar 0,2 Hz pada kedua genset yang masih bisa di minimalisir untuk syarat sinkron. Pada pengukuran arus dari kedua genset dapat terlihat Ketika genset belum dibebani terdapat arus pada kedua genset yang terus meningkat seiring waktu sinkronisasi berjalan. Pada saat genset dibebani dengan beban motor 2 HP yang memiliki nilai arus sebesar 3 Ampere dapat terlihat nilai arus dari kedua line genset melonjak naik dengan perbedaan nilai arus genset 1 dan 2 sekitar 2-3 ampere setiap menitnya, tetapi Ketika line menuju motor diukur arusnya bernilai 3 ampere.

Arus tersebut dapat terjadi Karena proses sinkronisasi yang kurang baik karena masih terdapat perbedaan dari kedua genset yang mengakibatkan kedua sumber genset tidak menyatu secara sempurna. Perbedaan tersebut dapat terjadi karena perbedaan nilai frekuensi sebesar 0,2 Hz, atau kegagalan operator dalam mensinkronkan kedua genset. (Ihsan, M. ,2021) Jika generator mempunyai frekuensi yang sama persis maka generator tidak akan bisa parallel karena sudut phasanya belum sesuai, salah satu harus dikurangi sedikit atau dilebihi sedikit untuk mendapatkan sudut phasa yang tepat. Setelah dapat disinkronkan dan berhasil sinkron baru kedua generator mempunyai frekuensi yang sama-sama persis.

(Caterpillar, 1993) Ketika dua atau lebih genset dioperasikan secara paralel, arus dapat mengalir di antara genset-genset tersebut. Arus ini akan ada ketika tegangan internal yang dihasilkan oleh setiap genset sedikit berbeda, tetapi tegangan terminal atau bus sama. Dalam bentuk yang paling dasar, arus akan mengalir keluar dari saluran satu genset, melalui bus paralel dan masuk ke genset

kedua. Arus ini tidak mengalir ke beban. Arus ini, yang disebut "arus sirkulasi," merupakan tambahan dari arus saluran normal yang disuplai ke beban yang terhubung. Ketika lebih dari dua genset diparalelkan, arus dapat mengalir keluar dari genset mana pun dan masuk ke satu atau lebih genset lainnya.

(Ihsan M.,2021) selisih tegangan yang kecil cukup mengakibatkan timbulnya arus sirkulasi antara 2 buah generator tersebut dan sifatnya tarik menarik. Jika terjadi power factor yang berbeda akibatnya salah satu generator yang mempunyai nilai power factor rendah akan mempunyai nilai arus yang lebih tinggi. Arus sirkulasi dapat disebabkan oleh perbedaan impedansi internal dari kedua genset.

Pada saat proses penghubungan awal (sinkronisasi), fokus utamanya bukanlah pada impedansi, melainkan pencocokan 4 parameter yaitu tegangan, frekuensi, urutan fasa, dan sudut fasa. Setelah generator terhubung dan beroperasi secara paralel, impedansi internal masing-masing generator akan berperan dan menghasilkan arus sirkulasi jika impedansi generator tersebut berbeda. Impedansi genset sangat mempengaruhi proses dan stabilitas sinkronisasi genset. (Kusuma, 2024) Impedansi internal menentukan seberapa besar arus sirkulasi (circulating current) yang mengalir akibat ketidaksesuaian fasa atau tegangan selama proses memparalelkan dua sumber listrik.

Kegagalan operator dalam proses sinkron dapat terjadi karena metode sinkronisasi yang dipakai Adalah lampu terang-gelap, dimana operator tidak dapat melihat secara pasti jika ketiga lampu tersebut telah redup secara sempurna karena bias Cahaya lampu Ketika redup tidak terlihat sempurna sehingga operator menganggap bahwa kedua genset sudah dapat di sikronkan. Relay sinkron memiliki waktu delay dalam pembacaan Ketika terjadi kegagalan sinkron. Arus yang terdapat pada kedua genset dapat terjadi karena kedua genset saling tarik menarik daya dalam waktu yang sangat singkat. Sehingga relay proteksi tidak membaca bahwa terjadi kegagalan sinkron, ini dapat disebabkan oleh perbedaan spesifikasi dari kedua genset.

(BACH. , n.d.). Pada studi kasus kegagalan sinkronisasi, ditemukan bahwa meskipun frekuensi dan tegangan kedua genset sudah berada dalam batas toleransi,

proses penutupan circuit breaker tetap menghasilkan hentakan arus yang signifikan. Analisa menunjukkan bahwa perbedaan phase angle menjadi faktor utama penyebab kegagalan tersebut. Selisih sudut fasa yang terlalu besar menyebabkan kedua sumber tegangan tidak berada pada titik gelombang yang sama saat dihubungkan, sehingga terjadi konflik energi listrik yang langsung berujung pada lonjakan arus.

Penyebab perbedaan phase angle ini dapat berasal dari beberapa faktor teknis. Salah satunya adalah ketidaktepatan pengaturan governor pada masing-masing genset. Governor yang mengatur kecepatan putaran mesin diesel sangat berpengaruh terhadap frekuensi output. Meskipun frekuensi terlihat sama secara nominal, sedikit perbedaan respons dinamis dapat menyebabkan pergeseran fase secara terus-menerus. Selain itu, sistem Automatic Voltage Regulator (AVR) juga memiliki kontribusi tidak langsung terhadap stabilitas phase angle. Meskipun AVR lebih berfokus pada tegangan, ketidakseimbangan eksitasi dapat memengaruhi respons beban yang pada akhirnya berdampak pada kestabilan sinkronisasi. Dalam sistem paralel, semua parameter ini saling terkait dan tidak bisa dipisahkan secara independen. Faktor lain yang sering ditemukan adalah ketidakakuratan pada synchronizing panel atau relay sinkronisasi. Perangkat ini bertugas mendeteksi kesesuaian parameter sebelum breaker ditutup. Jika setting toleransi phase angle terlalu longgar atau sensor tidak akurat, maka sistem dapat mengizinkan penutupan pada kondisi yang sebenarnya belum sinkron sempurna. Sebaliknya, jika terlalu ketat, sinkronisasi menjadi sulit dicapai meskipun kondisi sebenarnya sudah mendekati ideal.

4.1.4 Pengujian saat terjadi kegagalan sinkron



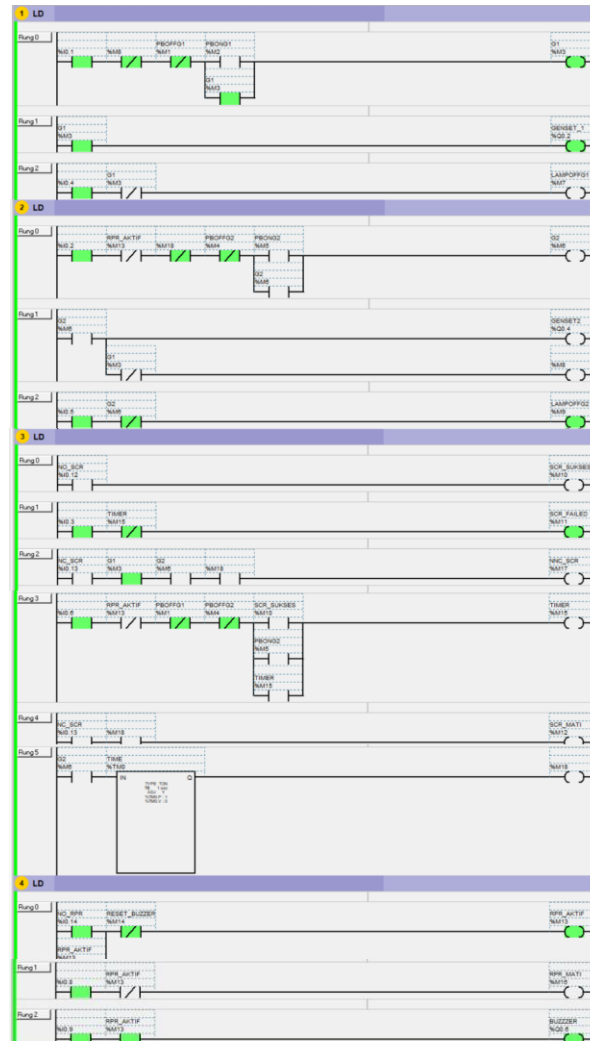
Gambar 4. 13 Tampilan HMI saat gagal sinkron

Pada saat posisi gagal sinkron, HMI akan menampilkan monitoring posisi genset 1 dalam keadaan *on* , genset 2 keadaan *off*, indicator *synchro check relay failed*, *Reverse power relay* dalam keadaan *on*, dan *buzzer* keadaan *on*. HMI akan membaca Alamat PLC dengan keterangan sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Alamat PLC saat gagal sinkron

No.	Alamat	Keterangan
1.	%M3	Lampu On Genset 1
2.	%Q0.2	Output Genset 1
3.	%M9	Lampu Off Genset 2
4.	%M11	Sinkronisasi Failed
5.	%M13	reverse power relay on
6.	%Q0.6	Buzzer

Alamat tersebut merupakan Alamat yang tertera pada setiap Pada *ladder diagram* PLC, dapat dilihat di sisi *animated the program* kondisi PLC pada saat gagal sinkron sebagai berikut:



Gambar 4. 14 Ladder diagram PLC pada saat gagal sinkron

Dari kondisi ladder diagram gagal sinkron tersebut dapat dilihat pada *rung 0 ladder 1* input %I0.1 mengirim tegangan untuk mengaktifkan output %M3 dengan mengaktifkan % M2 yang merupakan memory untuk Push button on genset 1 pada tampilan HMI. %M3 berfungsi sebagai *memory* untuk mengaktifkan %Q0.2 yang merupakan output untuk genset 1 dan sebagai *memory* untuk lampu on genset 1 pada tampilan HMI. Pada rung 1 ladder 3 %I0.3 mengirim sinyal untuk mengaktifkan %M11 sebagai memory untuk pilot lamp *synchro check relay failed*. Pada rung 0 ladder 4 input %I0.14 yang merupakan input dari kontak normally open reverse power relay mengirim tegangan untuk mengaktifkan %M13 yang merupakan memory untuk pilot lamp reverse power relay aktif pada tampilan HMI. Kontak normally close %M13 pada rung 0 ladder 2 akan memutus tegangan ke %M6 dan mematikan output %Q0.4 yang merupakan output untuk kontaktor genset

2. Pada rung 2 %I0.9 akan mengirimkan tegangan melewati kontak normally open dari %M13 untuk mengaktifkan output %Q0.6 yang merupakan output untuk buzzer dan pilot lamp buzzer on pada tampilan HMI. Karena %M6 telah mati, maka kontak normally close dari %M6 pada rung 2 ladder 2 akan Kembali mengirimkan sinyal untuk mengaktifkan %M9 yang merupakan pilot lamp off genset 2 pada tampilan HMI.

Kegagalan sinkron dapat dideteksi oleh *synchro check relay* dengan memanfaatkan kontak *normally close*-nya untuk mematikan kontaktor genset 2. *Synchro check relay* akan mendeteksi sudut phasa urutan phasa.

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan data dan analisa yang telah dilakukan pada rancang bangun monitoring *synchro check relay* menggunakan *human machine interface* (HMI) dan *programable logic controller* (PLC) pada sistem sinkronisasi genset dan genset, maka dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan monitoring *synchro check relay* menggunakan *human machine interface* (HMI) dan *programable logic controller* (PLC) pada sistem sinkronisasi genset dan genset dapat disimpulkan bahwa :

1. sistem monitoring menggunakan *human machine interface* (HMI) dan *programable logic controller* (PLC) berhasil diimplementasikan pada sistem sinkronisasi genset dan genset.
2. Penggunaan HMI pada sistem monitoring *synchro check relay* dapat mempermudah proses pemantauan pada saat sinkronisasi genset secara real-time dengan teknologi yang lebih efektif.
3. Penggunaan PLC memungkinkan proses kontrol sinkronisasi berjalan secara otomatis dan terprogram seacara terstruktur dan mudah pada saat *maintenance*.
4. Penggunaan *synchro check relay* dan *reverse power relay* efektif sebagai relay proteksi Ketika terjadi kegagalan sinkron dan dapat dimonitoring malalui HMI.
5. Pada proses sinkronisasi genset hanya membutuhkan 4 parameter utama yang harus terpenuhi yaitu tegangan, frekuensi, urutan fasa, sudut fasa dari kedua genset. Ketika proses sinkronisasi berjalan impedansi dari kedua genset berperan penting dalam hasil penyinkronan.
6. Untuk menyinkronkan 2 genset harus memperhatikan nilai impedansi dari kedua genset tersebut, karena nilai impedansi dari genset yang berbeda dapat mempengaruhi Ketika proses sinkronisasi berhasil dengan timbulnya arus sirkulasi pada kedua genset.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengujian jangka panjang untuk memastikan kestabilan dan keandalan system monitoring menggunakan human machine interface (HMI) dan programable logic controller (PLC) pada proses sinkronisasi dalam kondisi beban nyata yang lebih bervariasi dan dinamis.
2. monitoring menggunakan human machine interface (HMI) dan programable logic controller (PLC) pada proses sinkronisasi dapat dikembangkan dengan menambahkan monitoring daya pada kedua genset dengan memanfaatkan analg input/output module atau modul power meter atau dapat memanfaatkan mikrokontroler seperti Arduino.
3. Pada perancangan yang telah dilakukan dapat ditambahkan proteksi lebih lanjut, misalnya proteksi terhadap overcurrent, underfrequency, dan gangguan harmonisa, dapat meningkatkan keamanan sistem secara menyeluruh yang dapat dimonitoring melalui HMI.
4. Sinkronisasi 2 buah Generator harus dengan spesifikasi yang sama baik kapasitas dan setidaknya satu pabrikasi, supaya nilai impedansi internal genset sama, jika generator yang ingin disinkronkan tidak memiliki spesifikasi yang sama dapat berakibat kegagalan sinkronisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Mulyana, T., Ibrahim, R., & Abd Rahim, E. (2019). *Human machine interface design analysis of defect detection prototype by wonderware InTouch software*. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1150, No. 1, p. 012034). IOP Publishing.
- Mada, R. (2023). *Rancang bangun prototipe sistem monitoring sinkronisasi generator ke jaringan PLN pada PLTM berbasis SCADA*. *JTRM (Jurnal Teknologi dan Rekayasa Manufaktur)*, 5(1), 35-50.
- TRIA CAHAYANING, A. C. I. (2018). *Human Machine Interface (HMI) Pada Simulasi Pemilahan Barang Berdasarkan Sensor Barang yang Distempel dan Jenis Barang Logam Non Logam Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) schneider modicon TM221CE16R* (Doctoral dissertation, undip).
- Aditriawarman, M. (2018). *Perancangan Pengontrolan dan Monitoring Pemanas Air Menggunakan Sensor Suhu dan Water Level Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Schneider TM221CE16R dan Human Machine Interface (HMI)* (Doctoral dissertation, undip).
- Sriwidodo, S. (2018). *Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu Menggunakan Dimmer Dan Monitoring Dengan Human Machine Interface (HMI) Pada Alat Penetas Telur Otomatis Berbasis PLC Schneider* (Doctoral dissertation, undip).
- Graha, S. (2014). *Power Management PLN-Genset Pada Bank Indonesia Cabang Banjarmasin*. *POROS TEKNIK*, 6(2), 62-72.
- UTOMO, K. P. (2018). *Rancang Bangun Sistem Kontrol Kelembaban Dan Ketinggian Air Dengan Monitoring Menggunakan Human Machine Interface (Hmi) Pada Alat Penetas Telur Otomatis Berbasis Plc Schneider* (Doctoral dissertation, undip).
- Parmar, S. J., Zala, M. S., Thaker, I. S., & Solanki, K. M. (2017). *Design and Development of Stepper Motor Position Control using Arduino Mega*

2560. International Journal of Science Technology and Engineering, 3(09).

Haryudo, S. I., Alfian, R. D., & Kholis, N. (2021). *Rancang Bangun Alat Monitoring Pemakaian Tarif Listrik Dan Kontrol Daya Listrik Pada Rumah Kos Berbasis Internet Of Things*. Jurnal Teknik Elektro, 10(3), 661-670.

Yantoro, Y. (2014). *Fungsi power supply pada simulator sistem peringatan dini pengendalian banjir dengan menggunakan electronic data proces*. Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro, 3(2).

Ihsan, M. (2021). *LKP Sinkronisasi Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap di PT. Indomas Mitra Teknik*.

Caterpillar. (1993). *Circulating currents in paralleled generator systems* (Dokumen teknis LEHX1423). Caterpillar Inc.

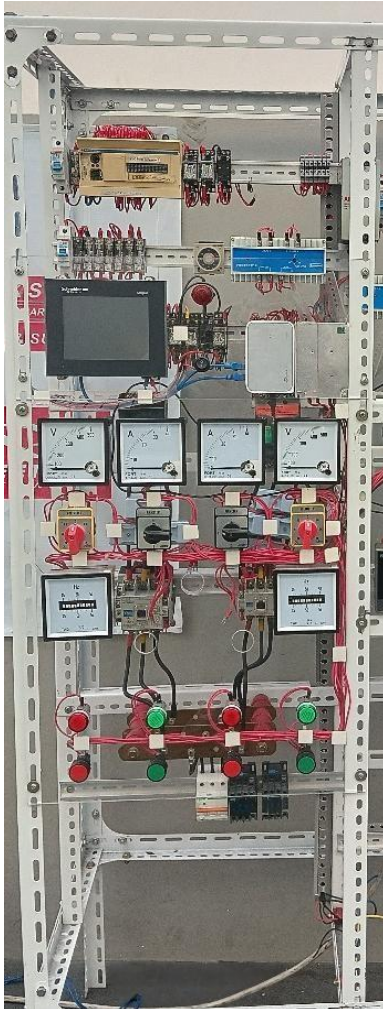
<https://www.scribd.com/doc/131781563/Circulating-Currents-in-Paralleled-Generator-Systems>

BACH. (n.d.). **Analisa sinkronisasi genset paralel yang gagal akibat perbedaan phase angle**. BACH Indonesia. <https://www.bach.co.id/analisa-sinkronisasi-genset-paralel-yang-gagal-akibat-perbedaan-phase-angle/>

Kusuma, A. (2024). *Analisa dampak terjadinya kegagalan proses sinkronisasi terhadap pembangkit turbin dan genset* [Skripsi sarjana, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara].

LAMPIRAN

Dokumentasi proses perancangan tugas akhir dan simulasi pungujian:



Hasil Perancangan



Tampilan HMI



Proses Pengambilan Data