

JUS TEKNO

Jurnal Sains & Teknologi

Rancang Bangun Simulator Sinkronisasi Generator Semiotomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino

Sarinto¹, Bambang Mulyo R²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Duta Bangsa

Jl. Niaga Raya, Ruko CBD Blok A11, Cikarang, Bekasi, Jawa Barat

sarinto55@gmail.com¹, bambangm047@gmail.com²

Abstrak– Sinkronisasi antar generator atau generator dengan sumber listrik yang lain merupakan salah satu cara yang digunakan Untuk menghasilkan energi listrik yang lebih besar. Dalam proses sinkronisasi tersebut diperlukan persyaratan yaitu frekuensi, tegangan, urutan fasa dan sudut fasa harus sama. Untuk keperluan proses paralel dibutuhkan suatu alat yang disebut sinkronoskop. Pada penelitian ini dibuat sebuah simulator sinkronoskop generator sinkron tiga fasa yang bekerja paralel dengan sumber PLN secara semiotomatis dengan menggunakan mikrokontroler arduino. Komponen dari simulator sinkronisasi yaitu sensor tegangan, sensor frekuensi, sensor urutan fasa, sensor sudut fasa, Arduino Mega2560 dan relai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat simulator sinkronisasi generator tiga fasa semiotomatis berfungsi dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan hasil rata-rata kalibrasi untuk sensor tegangan sebesar 0,08% . sensor frekuensi 0,03%, dan sensor urutan fasa 0%. Sedangkan besarnya selisih tegangan antar generator dan PLN pada saat sinkron <5 % dari VL-L sedangkan untuk frekuensi diatur selisihnya dibawah 0,1% dari frekuensi nominal 50 Hz. Proses sinkronisasi memerlukan waktu kurang lebih 3 detik, hal ini sesuai waktu tunda pada program yang sengaja dibuat dengan tujuan agar pembacaan sensor normal sehingga tidak terjadi resiko saat proses sinkronisasi.

Kata kunci : Sinkronoskop, Mikrokontroler Arduino, sensor.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat dalam kehidupan masyarakat seiring dengan berkembangnya bidang teknologi dan industri. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik tersebut memerlukan pembangkit listrik yang banyak dan pembangkit listrik umumnya menggunakan generator sebagai sumber penghasil listrik [1] [2]. Generator dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik yang lebih besar, salah satunya dengan cara paralel atau sinkronisasi antar generator yang lain atau dengan sumber listrik yang lainnya [3]. Adapun syarat yang harus diperhatikan dalam sinkronisasi generator adalah kesamaan nilai tegangan, frekuensi, beda sudut fasa dan urutan fasa-fasanya [4]. Untuk keperluan sinkronisasi dibutuhkan suatu alat yang disebut sinkronoskop. Pada penelitian ini dibuat sebuah simulator sinkronoskop generator sinkron tiga fasa yang bekerja paralel dengan sumber PLN secara semiotomatis dengan menggunakan mikrokontroler arduino. Kerja dari Simulator sinkronoskop ini dikatakan semiotomatis karena untuk menutup kontaktor dilakukan secara otomatis oleh sistem, sedangkan untuk menyamakan syarat sinkronisasi tidak dilakukan secara otomatis oleh sistem. Untuk membaca tegangan dan urutan fasa digunakan sensor tegangan dan *phase detector* yang dipasang pada ketiga fasa dari generator dan PLN. Sedangkan untuk sensor frekuensi dan *phase angle detector* dipasang pada fasa R dari generator dan PLN. Simulator sinkronisasi ini dilengkapi LCD Untuk

menampilkan pembacaan parameter tegangan dan frekuensi kedua sumber listrik, sedangkan untuk menampilkan indikasi jika persyaratan sinkron sudah terpenuhi digunakan LED sebagai indikatornya.

II. DASAR TEORI

A. Sinkronisasi

Sinkronisasi berarti meminimalisasi perbedaan tegangan, frekuensi dan sudut fase antara output generator dan grid. Perlunya sinkronisasi dan paralel pembangkit listrik sering didasarkan pada alasan-alasan berikut:

1. Penambahan beban baru yang melebihi dari Kapasitas pembangkit dimiliki sistem.
2. Peningkatan keandalan (beberapa pembangkit vs unit tunggal pembangkit) harus dipertimbangkan.
3. Efisiensi operasi generator.

B. Komponen Sinkronisasi

Tegangan, frekuensi, urutan fasa dan sudut fasa adalah parameter dan *input* pada rangkaian sinkronisasi yang menjadi syarat dalam proses sinkronisasi generator.

1) Voltage detector

Pengukuran tegangan AC dapat dilakukan dengan menurunkan dan menyearahkan tegangan output dari sensor sebelum masuk ke Arduino, karena Arduino hanya mampu mengukur pada range tegangan 0 – 5 Volt DC. Tegangan sumber dapat diturunkan menggunakan transformator dan rangkaian pembagi tegangan seperti pada gambar berikut.

2) Frequency detector

Frekuensi pada tegangan AC dapat dihitung dengan mengukur periode waktu gelombang sinus tegangan AC. Periode waktu adalah waktu satu gelombang penuh, berarti setengah gelombang positif dan setengah gelombang negatif. Untuk memudahkan dalam mendeteksi dan mengukur frekuensi, digunakan penyearah setengah gelombang dengan menggunakan dioda.

3) Phase Angle Detector

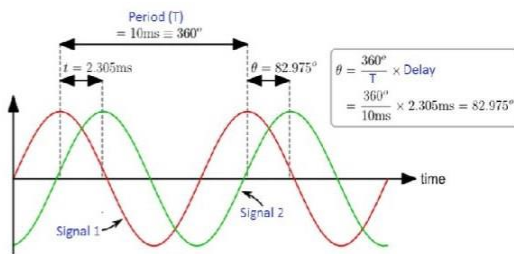
Pengukuran beda sudut fasa antara generator dan *grid* dilakukan dengan menghitung selisih waktu pada gelombang sinus kedua sumber. Untuk menghitung beda sudut fasa (θ) antara dua gelombang tegangan menggunakan rumus :

$$\theta = \frac{360^\circ}{T} \times \text{Delay} \quad (1)$$

Keterangan : T = periode (s)

Delay = selisih waktu antar dua gelombang tegangan (s)

Contoh dari perhitungan beda sudut fasa seperti pada gambar berikut.

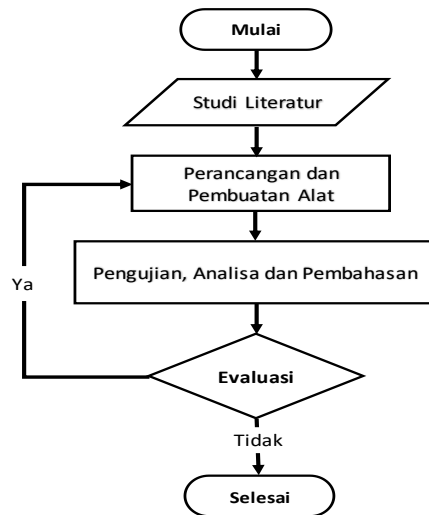


Gambar 2. Contoh perhitungan beda sudut fasa

III. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Pada umumnya tahapan penelitian dapat diperinci dalam empat tahapan, yaitu dimulai dengan melakukan studi literatur untuk mendapatkan referensi, kemudian perancangan dan pembuatan alat, dilanjutkan dengan pengujian dan analisa serta evaluasi terhadap hasil penelitian. Keempat tahapan tersebut saling mempengaruhi dan dipengaruhi oleh tahap-tahap yang lain.

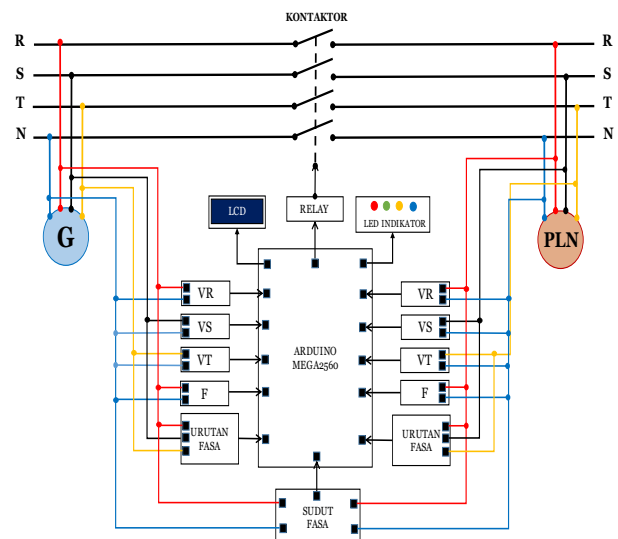


Gambar 1. Diagram Alir Tahap Penelitian

B. Perancangan Sistem

Meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak dari simulator sinkronisasi generator.

1) Perancangan Alat secara keseluruhan



Gambar 3. Perancangan Perangkat keras Simulator Sinkronisasi

Prinsip kerja dari Alat sinkronisasi ini adalah untuk paralel antara generator dengan jala-jala/grid PLN dengan menggunakan mikrokontroler Arduino sebagai pusat pengolahan data dan sebagai pusat instruksi atau perintah, kemudian LCD yang menampilkan parameter tegangan dan frekuensi. Lampu LED digunakan sebagai indikator bahwa keempat syarat sinkron yaitu tegangan, frekuensi, urutan fasa dan sudut fasa antara generator dan grid sudah sama, sedangkan relai sebagai output dari Arduino yang digunakan untuk menggerakkan kontaktor. Simulator sinkronisasi ini menggunakan empat buah sensor yaitu sensor tegangan, sensor frekuensi, sensor urutan fasa dan sensor sudut fasa.

2) Perancangan Sensor Tegangan

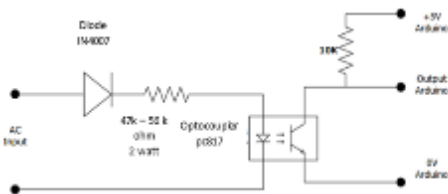
Untuk mengukur tegangan dari Generator dan jala-jala PLN diperlukan Sensor tegangan yang dapat mengukur tegangan dari 0 sampai 220 Volt. Untuk itu digunakan modul sensor tegangan ZMPT101B yang dapat mengukur tegangan dari 0-250 Volt AC dan tegangan keluarannya adalah 0-5 Volt DC.



Gambar 4. Sensor Tegangan ZMPT101B

3) Perancangan Sensor Frekuensi

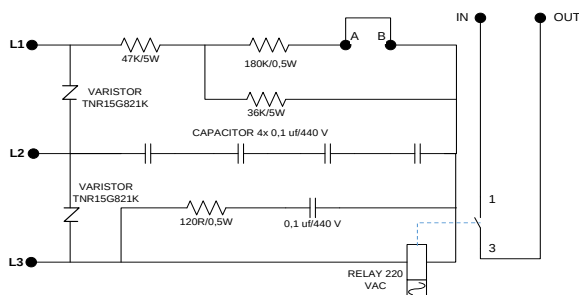
Pada perancangan *frequency detector* atau sensor frekuensi tidak menggunakan modul sensor frekuensi apapun, tetapi hanya menggunakan rangkaian dengan komponen *optocoupler* PC817B, dioda 1N4007, resistor 10 kΩ dan 47 kΩ pada tiap sensor frekuensi.



Gambar 5. Rangkaian Sensor Frekuensi

4) Perancangan Sensor Urutan Fasa

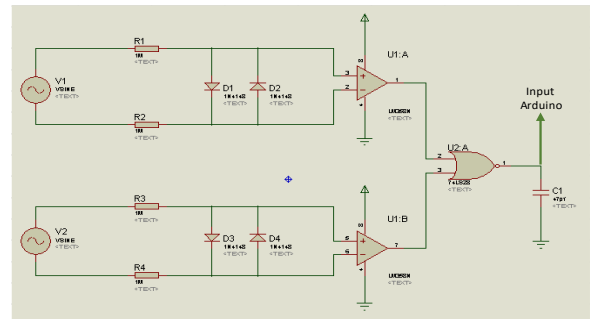
Untuk membaca urutan fasa dari Jala-jala PLN dan Generator digunakan modul *Phase Reversal Protection Relay*, yaitu modul yang biasa digunakan untuk mencegah terbaliknya putaran motor listrik 3 fasa yang diakibatkan terbaliknya urutan fasa.



Gambar 6. Rangkaian Sensor Urutan Fasa

5) Perancangan Sensor Sudut Fasa

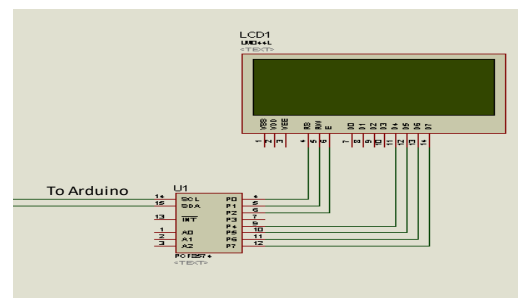
Pengukuran beda sudut fasa antara grid dan inverter sama halnya dengan pengukuran faktor daya (*power factor*), hanya implementasinya saja yang berbeda. Untuk pengukuran sudut fasa, tegangan dari kedua sumber diturunkan terlebih dahulu dengan resistor kemudian digunakan Op-Amp untuk mendeteksi titik nol dari gelombang tegangan grid dan Generator. Op-Amp mengkonversi sinyal gelombang sinusoidal menjadi gelombang kotak yang kemudian dihubungkan ke input gerbang XOR dan diproses oleh arduino.



Gambar 7. Rangkaian Sensor Sudut Fasa

6) Perancangan rangkaian Monitor

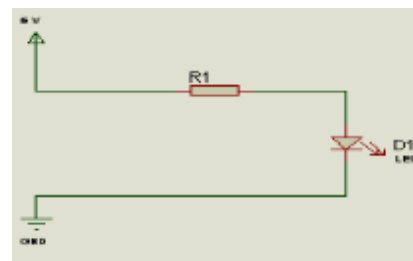
Untuk menampilkan data tegangan dan frekuensi dari grid dan generator digunakan LCD 20x4 yang dihubungkan ke Arduino melalui modul i2c. Penambahan modul ini bertujuan untuk menghemat pemakaian Pin digital Arduino. Jika LCD dihubungkan langsung ke Arduino maka membutuhkan 6 unit pin digital, pin SDA,SCL, Vcc dan Gnd. Tetapi apabila menggunakan modul i2c hanya membutuhkan pin SDA,SCL,Vcc dan Gnd saja, jadi tidak menggunakan pin digital Arduino.



Gambar 8. Rangkaian LCD 20x4 dan Modul I2C

7) Perancangan LED Indikator

Untuk rangkaian LED sebagai output dari Arduino harus ditambahkan dengan resistor karena tegangan output dari Arduino adalah 5 VDC, sedangkan tegangan kerja dari LED antar 1.6 VDC sampai 3.5 VDC tergantung warna dari LED dan arus yang diperbolehkan antara 10 mA sampai 20 mA.



Gambar 9. Rangkaian suplai Tegangan LED

Untuk menghitung besarnya hambatan yang dibutuhkan pada rangkaian LED, menggunakan rumus :

$$R_d = (V_s - V_d) / I_d \quad (2)$$

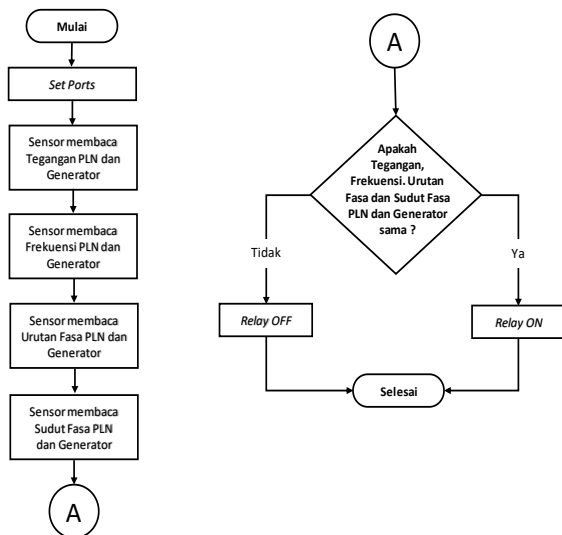
Keterangan :

R_d = Resistor LED
 V_s = Tegangan Sumber
 V_d = Tegangan Kerja LED

$$I_d = \text{Arus LED}$$

8) Perancangan Perangkat Lunak

Perencanaan perangkat lunak meliputi pembuatan program dengan menggunakan *software* Arduino IDE yang kemudian program tersebut akan di *upload* ke mikrokontroler Arduino. Rancangan program dituangkan dalam diagram alir utama sistem yang akan dibuat. Diagram alir ini menggambarkan alur kerja sistem secara keseluruhan.



Gambar 10. Diagram alir Perangkat Lunak secara Keseluruhan

Penjabaran diagram alir perangkat lunak adalah sebagai berikut: langkah pertama yaitu menentukan port atau pin Arduino yang akan digunakan, kemudian merancang program agar keluaran sensor tegangan, sensor frekuensi, sensor urutan fasa dan sensor sudut fasa dari Generator dan Grid dapat dikelola oleh mikrokontroler Arduino. Selanjutnya merancang program jika nilai dari parameter Grid dan Generator yang terbaca oleh sensor bernilai mendekati sama (dibawah batas toleransi nilai yang telah ditentukan) maka relai sebagai *output* dari mikrokontroler akan *on*. Begitu juga sebaliknya jika nilai parameter diatas batas toleransi, maka relai tetap *off*.

C. Pengujian Komponen

Pada tahapan ini, dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk tiap komponen sebelum dilakukan uji coba sistem sinkronisasi secara keseluruhan.

1) Pengujian Mikrokontroler Arduino Mega2560

Pengujian pada pin arduino ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat kondisi pin analog dan digital pada Arduino Mega2560 yang akan dihubungkan dengan komponen kontrol yang lain berfungsi dengan baik atau tidak. Cara pengujiannya adalah dengan memberikan *input* tegangan ke Arduino dan upload program dengan logika 1 dan 0, kemudian kita ukur tegangan keluaran dari pin yang kita uji dengan Multimeter.

TABEL I

Hasil Pengujian pin mikrokontroler Arduino Mega2560

Pin	Tegangan Pada Logika 1 (V)	Tegangan Pada Logika 0 (V)
A0	5.08	0
A1	5.08	0
A2	5.08	0

2) Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan untuk melihat apakah rangkaian sensor tegangan yang dirancang telah benar dan sensor mampu membaca tegangan. Pengujian sensor tegangan yang dilakukan adalah mengukur beberapa nilai tegangan *grid* dan Generator untuk memastikan sensor dapat membaca nilai tegangan dengan tepat dan mendekati seperti pengukuran menggunakan voltmeter atau multimeter. Rumus untuk menghitung penyimpangan pembacaan sensor yaitu :

$$\%ErrorV = \frac{V_{Sensor} - V_{Multimeter}}{V_{Multimeter}} \times 100 \quad (3)$$

kemudian hasil perhitungan dimasukkan kedalam tabel untuk mencari penyimpangan rata-rata pembacaan sensor.

TABEL II
Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Nilai pada Multimeter (VAC)	Nilai Output Sensor pada LCD (VAC)	Error (%)
200,13	200,30	0,0850
210,33	210,49	0,0821
220,11	220,27	0,0828
Error rata-rata (%)		0,0833

3) Pengujian Sensor Frekuensi

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan nilai frekuensi yang tampil pada LCD dengan pembacaan yang tampil pada Multimeter digital. Pengambilan data pada setiap perubahan nilai frekuensi yang terbaca baik pada LCD maupun nilai pada Multimeter digital. Untuk menghitung *error* sensor terhadap multimeter, dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\%Errorf = \frac{f_{Sensor} - f_{Multimeter}}{f_{Multimeter}} \times 100 \quad (4)$$

kemudian hasil perhitungan dimasukkan kedalam tabel untuk mencari penyimpangan rata-rata pembacaan sensor.

TABEL III
Hasil Pengujian Sensor Frekuensi

Nilai pada Multi Meter (Hz)	Nilai pada LCD (Hz)	Error (%)
50,03	50,04	0,01999
50,05	50,07	0,03996
49,92	49,95	0,06010
50,01	50,02	0,02000
49,98	49,99	0,02001
Error rata-rata (%)		0,03335

4) Pengujian Sensor Urutan Fasa

Pengujian sensor urutan fasa bertujuan untuk mengetahui kinerja dari *relay* yang ada pada sensor tersebut. Jika urutan fasa sudah sesuai (RST atau TRS atau STR) maka kontak terminal 1 dan 3 pada *relay* akan terhubung, sehingga tegangan keluaran dari sensor yang melewati rangkaian *pull up* resistor bernilai 0 (*Low*) atau 0 Volt. Sedangkan jika urutan fasa tidak sesuai (TSR, RTS, SRT) maka kontak terminal 1 dan 3 pada *relay* tidak terhubung, sehingga tegangan keluaran dari sensor yang melewati rangkaian *pull up* resistor bernilai 1 (*High*) atau 5 Volt.

TABEL IV
Hasil Pengujian Sensor Urutan Fasa

PLN		Generator		Output Arduino (VDC)
Input Sensor	Output Sensor (VDC)	Input Sensor	Output Sensor (VDC)	
RST	0	RST	0	5
RST	0	TRS	0	5
RST	0	STR	0	5
RST	0	TSR	4,8	0
RST	0	RTS	4,9	0
RST	0	SRT	4,7	0

5) Pengujian Sensor Sudut Fasa

Pengujian sensor sudut fasa bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran dari sensor sudut fasa sumber PLN dengan Generator bernilai 0 (*Low*) atau tidak. Karena rangkaian sensor ini menggunakan metode *zero crossing detection* yaitu mendeteksi titik nol dari tegangan sesaat ketika tegangan berubah dari nilai negatif ke nilai positif ataupun sebaliknya. Kemudian *output* dari sensor dijadikan *input* dari gerbang logika XOR, dimana jika kedua masukannya sama maka keluaran gerbang XOR akan bernilai 0 atau *low* dan jika kedua masukannya berbeda nilainya, maka keluarannya akan 1 atau *high*.

TABEL V
Hasil Pengujian Sensor Sudut Fasa

Output Sensor Generator (VDC)	Output Sensor PLN (VDC)	Output gerbang XOR (VDC)	Keterangan
0,71	0,72	0	LOW
4,11	0,82	4,95	HIGH
0,82	4,11	4,99	HIGH
4,11	4,11	0	LOW

D. Implementasi Hardware

Semua komponen yang telah dirancang dan dilakukan pengujian akan diintegrasikan menjadi suatu sistem yang dapat melakukan sinkronisasi antara generator dan *grid*. Prototipe alat yang dibuat seperti tampak pada gambar 11, dimana pada prototipe alat terdiri dari tiga rangkaian utama yaitu rangkaian kontrol, rangkaian daya dan rangkaian *display* atau monitor. Untuk bagian dari masing-masing rangkaian bisa dilihat keterangan gambar.



Gambar 11. Prototipe Alat Keseluruhan

TABEL IV
Bagian-bagian Alat

No	Nama Bagian
1	Sensor urutan fasa Grid
2	Sensor urutan fasa Generator
3	<i>Pull up</i> resistor sensor urutan fasa Grid
4	<i>Pull up</i> resistor sensor urutan fasa Grenerator
5	Mikrokontroler Arduino Mega2560
6	Sensor Tegangan Generator Fasa R
7	Sensor Tegangan Generator Fasa S
8	Sensor Tegangan Generator Fasa T
9	Sensor Tegangan Grid Fasa R
10	Sensor Tegangan Grid Fasa S
11	Sensor Tegangan Grid Fasa T
12	Sensor sudut fasa Grid
13	Sensor sudut fasa Generator
14	Modul <i>Relay optocoupler 2 channel</i>
15	Sensor Frekuensi Grid
16	Sensor Frekuensi Generator
17	Blok Terminal kabel daya Grid
18	Blok Terminal kabel daya Generator
19	MCB 4 pole <i>power</i> Grid
20	Kontaktor Utama 4 <i>Pole</i>
21	MCB 4 <i>Pole power</i> Grid
22	<i>Power Supply</i> Adaptor 9 VDC
23	Stop Kontak
24	Blok Terminal Utama
25	LCD 20x4
26	Lampu Indikator Kontaktor Fasa R
27	Lampu Indikator Kontaktor Fasa S
28	Lampu Indikator Kontaktor Fasa T
29	LED Indikator Tegangan Grid dan Generator sama
30	LED Indikator Frekuensi Grid dan Generator sama
31	LED Indikator Urutan Fasa Grid dan Generator

sama

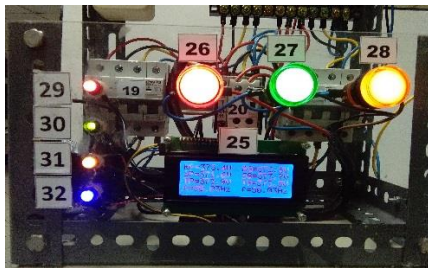
32 LED Indikator Sudut Fasa Grid dan Generator sama

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa dan pembahasan dari hasil pengujian sistem meliputi pelaksanaan pengujian dalam dua kondisi yaitu saat kondisi sinkron atau pada kondisi semua syarat sinkron terpenuhi dan kondisi tidak sinkron atau kondisi salah satu syarat sinkron tidak terpenuhi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan satu sumber listrik 3 fasa dari jala-jala PLN yang dibagi menjadi dua masukan melalui MCB untuk sisi generator dan untuk sisi PLN. Untuk pembacaan gelombang sinus menggunakan software EWB (Electronics Workbench).

A. Pengujian Kondisi Sinkron

Pengujian bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sistem jika semua persyaratan sinkron sudah terpenuhi maka relai akan *on* dan begitu juga dengan kontaktor akan tertutup. Pengaturan besarnya selisih tegangan antara generator dengan PLN saat kondisi sinkron adalah dibawah 15 Volt, sedangkan selisih nilai frekuensi adalah 0,05 Hertz, sedangkan besarnya sudut fasa adalah 2,76 derajat. Hasil besarnya sudut fasa saat sinkron didapatkan dari perhitungan yang mengacu pada selisih tegangan kedua sumber saat kondisi sinkron.



Gambar 12. Hasil Pengujian Sistem saat Kondisi Sinkron

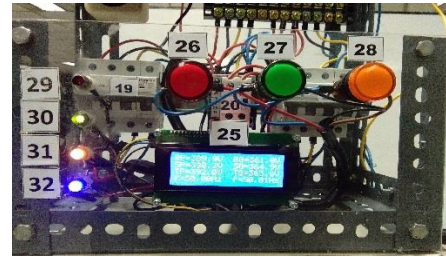
Gambar 12 menunjukkan bahwa saat semua persyaratan untuk sinkron sudah terpenuhi yaitu tegangan, frekuensi, urutan fasa dan sudut fasa sudah sama (LED indikator nomor 29,30,31 dan 32 menyala) maka kontaktor akan tertutup, bisa dilihat pada lampu indikator nomor 26, 27, 28 (RST) kontaktor menyala.

B. Pengujian Kondisi Tidak sinkron

Pengujian bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sistem jika salah satu syarat sinkron tidak terpenuhi maka proses sinkron tidak akan terjadi atau sinkron tidak berhasil. Pengujian dilakukan dengan tiga tahapan, yaitu :

1) Tegangan Generator dan PLN tidak Sinkron

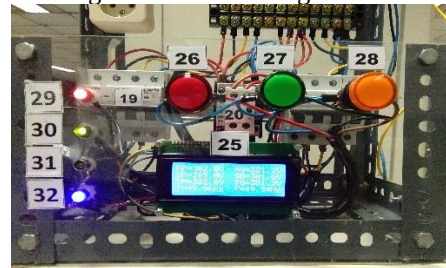
Pengujian dilakukan dengan cara mengatur tegangan disisi generator menggunakan Trafo *Slide Regulator* agar besarnya nilai selisih tegangan dengan PLN diatas 15 Volt.



Gambar 13. Hasil Pengujian Kondisi Tegangan Tidak Sinkron

2) Urutan Fasa Generator dan PLN tidak Sinkron

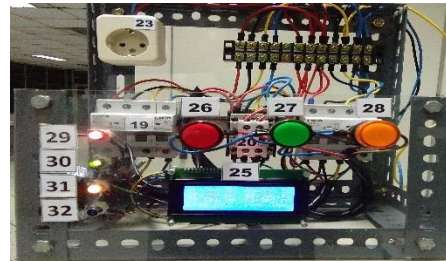
Pengujian dilakukan dengan cara merubah urutan fasa disisi generator agar berlawanan dengan urutan fasa PLN.



Gambar 14. Hasil Pengujian Kondisi Urutan Fasa Tidak Sinkron

3) Sudut Fasa Generator dan PLN tidak Sinkron

Pengujian dilakukan dengan cara menggeser sudut fasa disisi generator menggunakan rangkaian elektronika kapasitif agar besarnya selisih sudut fasa dengan PLN diatas 2,76 derajat.

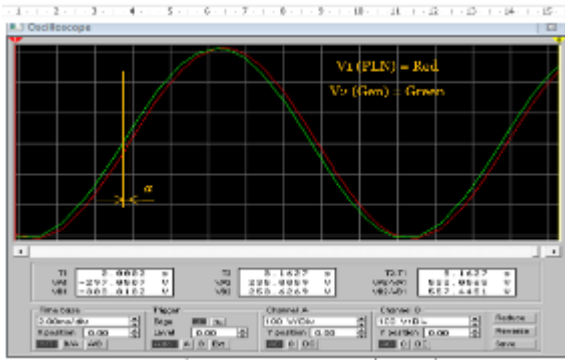


Gambar 15. Hasil Pengujian Kondisi Sudut Fasa Tidak Sinkron

Dari gambar 13,14 dan 15 yang masing-masing menunjukkan jika salah satu persyaratan sinkron tidak terpenuhi yaitu tegangan atau urutan fasa atau sudut fasa tidak sama maka relai tidak akan *on* begitu juga dengan kontaktor, tidak akan tertutup. Untuk pengujian besarnya selisih nilai frekuensi tidak sinkron, tidak dilakukan karena terkendala oleh keterbatasan peralatan pengujian yang harus menggunakan generator sesungguhnya jika ingin mengatur nilai frekuensi.

C. Perhitungan Gelombang Sinus Hasil Pengujian saat Kondisi Tidak Sinkron

Pembahasan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai sudut fasa saat pengujian kondisi tidak sinkron



Gambar 16. Hasil Pengujian Kondisi sudut Fasa Tidak Sinkron

Dari gambar 16 didapatkan hasil sebagai berikut :

$$V_{p1} = 3,10 \text{ div} \times 100 \text{ V/div} = 310 \text{ V} \quad (5)$$

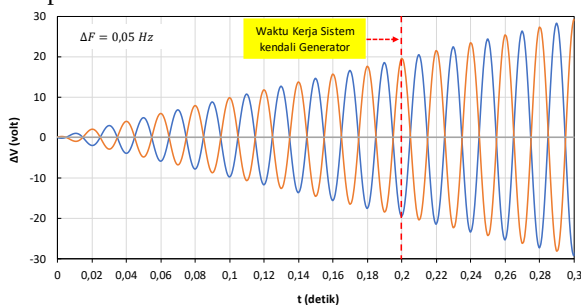
$$V_{p2} = 3,10 \text{ div} \times 100 \text{ V/div} = 310 \text{ V} \quad (6)$$

$$T = 10 \text{ div} \times 2 \text{ ms/div} = 20 \text{ ms} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Beda sudut fasa } (\alpha) &= \frac{0,13 \text{ div} \times 1 \text{ div/ms}}{1,0 \text{ ms}} \times 360^\circ \quad (8) \\ &= 4,68^\circ \quad (9) \end{aligned}$$

D. Perhitungan Waktu Kerja Sistem Kendali Generator

Perhitungan bertujuan sebagai pedoman untuk menentukan besarnya selisih nilai frekuensi antara generator dan PLN saat sinkron, dimana beda frekuensi ini mempengaruhi waktu kerja dari sistem kendali generator setelah proses sinkron berhasil.



Gambar 17. Grafik Waktu Kerja Sistem Kendali Generator

Dari gambar 17 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar beda frekuensi antara generator dengan PLN saat sinkron, maka akan semakin cepet waktu yang dibutuhkan oleh sistem kendali generator untuk bekerja. Hal ini bertujuan agar generator dapat menyamakan tegangan dengan tegangan PLN, sehingga tidak terjadi *reverse power* pada generator.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini adalah perangkat simulator sinkronisasi generator berfungsi dengan baik karena dari pengujian sistem secara keseluruhan yang dilakukan berulang sebanyak lima kali, baik pengujian saat kondisi sinkron maupun saat pengujian kondisi tidak sinkron menunjukkan keberhasilan 100%. Hasil kalibrasi pembacaan sensor tegangan dan sensor frekuensi memiliki

penyimpangan yang sangat kecil yaitu 0,08% untuk sensor tegangan dan 0,03% untuk sensor frekuensi. Kinerja dari sensor urutan fasa dan sensor sudut fasa juga sesuai dengan harapan, hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian masing-masing komponennya.

REFERENSI

- [1] Atika Endefi, Sukardi (2020). Rancangbangun Alat Sinkronisasi Generator Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol.1, no.2, pp. 110-115.
- [2] S. Ardhi, “Pengendalian Sinkronisasi Generator dengan Sumber Pembangkit Listrik Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler,” vol. 7, no. 1, pp. 36–42, 2015.
- [3] M. T. Agiantoro, Gellen Twin., Prasetyo, “Sinkronisasi Generator 3 Phase dengan Kapasitas Daya 511 KVA dan 820 KVA yang Berbeban di PT Ungaran Sari Garments,” pp. 37–41, 2018.
- [4] S. J. Chapman, *Electric Machinery and Power System Fundamentals*. Australia: MC GrawHill Book Company, 2004.
- [5] Setya, A. (2015). Pengendalian Sinkronisasi Generator Dengan Sumber Pembangkit Listrik Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, vol.7, no.1, pp. 36-42.
- [6] Thamrin, N. (2011). Alat Sinkronisasi Otomatis pltmh Dengan Jaringan Distribusi Pln Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 16. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, vol.11, no.3, pp. 50-54.
- [7] Bekiroglu E, B. A. (2009). *Automatic Synchronization Unit for the Parallel Operation of Synchronous Generators*. *Proc. IEEE EUROCON*, pp.766-771.
- [8] Petruzella D. Frank, *Elektronik Industri*. ANDI Yogyakarta, 2001.
- [9] Woodward, 2004. “*Governing Fundamental and Power Management*”.
- [10] Zuhail, 1988. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Jakarta, PT Gramedia Pustaka Utama.

