

# Rancang Bangun Simulator Sinkronisasi Generator Sinkron 3 Fasa Semiotomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino

Dedi Nono Suharno<sup>1</sup> dan Iwan Setiawan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

<sup>1</sup>[dedi.ns@polban.ac.id](mailto:dedi.ns@polban.ac.id), <sup>2</sup>[iwan9h@gmail.com](mailto:iwan9h@gmail.com)

## Abstrak

Suplai daya listrik yang besar pada sebuah industri diperoleh dari pembangkit dan PLN yang dapat dioperasikan secara bergantian atau bersama-sama secara paralel untuk mensuplai daya ke beban baik manual maupun otomatis. Kondisi ini dilakukan atas pertimbangan ekonomi atau untuk *maintenance*. Dalam proses paralel generator dengan generator atau dengan sumber lain diperlukan persyaratan yaitu, frekuensi, tegangan dan urutan fasa harus sama. Untuk keperluan proses paralel diperlukan 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. Simulator sinkronoskop bekerja secara semiotomatis karena pengaturan tegangan dan frekuensi generator sinkron tidak secara manual. Untuk mendeteksi parameter-parameter sinkronisasi generator sinkron tiga fasa dibuatlah sensor dan kontroler yang kemudian dijadikan sebuah sistem yang dapat digunakan untuk sinkronisasi generator tiga fasa dengan sumber PLN. Komponen dari simulator sinkroskop terdiri dari sensor tegangan ZMPT101B, sensor frekuensi optocoupler PC817, sensor urutan fasa serta mikrokontroler Arduino Mega 2560. Tujuan penelitian ini merancang dan membuat simulator sinkronisasi generator tiga fasa berbasis mikrokontroler arduino yang proses sinkronisasi generator dapat dilakukan dengan waktu maksimal 15 detik, dengan *error* pengukuran dibawah 5%. Dari pengujian diperoleh hasil waktu proses sinkronisasi maksimum 11 detik dan *error* pengukuran 4,5%.

Kata kunci: energi, listrik, generator, mikrokontroler, arduino

## Abstract

A large supply of electrical power at industry is obtained from generators and PLN which can be operated alternately or together in parallel to supply power to loads either manually or automatically. This condition is for economic reasons and maintenance purposes. In parallel process of a generator, requirements are needed, the frequency, voltage and phase sequence must be the same. For parallel processing, a device called a synchronoscope is needed. In this research, a three-phase synchronous generator synchronoscope simulator that works in parallel with the PLN source semi-automatic using an Arduino microcontroller is made. The synchronoscope simulator works semi-automatically because the voltage and frequency settings of the synchronous generator are not manual. To detect the synchronization parameters of a three-phase synchronous generator, sensors and controllers are made. The components are ZMPT101B voltage sensor, PC817 optocoupler frequency sensor, phase sequence sensor and Arduino Mega 2560. The purpose of this research is to design and create a three-phase generator synchronization simulator based on the Arduino microcontroller which can be synchronized with a maximum of 15 seconds with a measurement error below 5%. The result is that the maximum synchronization process time is 11 seconds and the measurement error is 4.5%.

Keywords: energy, electricity, generators, microcontroller, arduino

## 1. Pendahuluan

Penyedia layanan energi listrik tiap tahun menaikkan pasokan energi listrik yang disebabkan karena meningkatnya kebutuhan konsumen akan energi listrik. Salah satu cara untuk meningkatkan jumlah pasokan energi listrik yang dilakukan oleh penyedia layanan energi listrik adalah dengan menambah jumlah generator listrik yang dioperasikan secara paralel (Firmansyah, Susanti, Rumiasih, & Carlos, 2018).

Dalam sebuah sistem tenaga listrik terdapat interkoneksi generator sinkron dalam jumlah yang banyak. Generator sinkron tersebut bekerja secara paralel, terinterkoneksi oleh jaringan transmisi dan mensuplai daya listrik ke beban. Saat generator sinkron terhubung dengan generator sinkron lainnya, maka tegangan dan frekuensi pada terminal generator sinkron akan diperbaiki oleh sistem (Fitzgerald A, 1992). Generator sinkron terhubung paralel dengan

### Info Makalah:

Dikirim : 07-21-20;

Revisi 1 : 08-27-20;

Revisi 2 : 09-12-20;

Diterima : 09-12-20.

### Penulis Korespondensi:

Telp : +62-815-602-2301

e-mail : [dedi.ns@polban.ac.id](mailto:dedi.ns@polban.ac.id)

generator sinkron lainnya untuk mensuplai daya yang lebih besar pada beban, dan juga untuk meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik. Saat syarat paralel generator terpenuhi, generator dapat dihubungkan paralel dengan generator lainnya atau dengan jaringan transmisi. Syarat-syarat tersebut ialah :

1. Kedua frekuensi harus sama

Dengan adanya tegangan kerja yang sama diharapkan pada saat dipararel dengan beban kosong, faktor dayanya satu. Dengan faktor daya satu berarti tegangan antara

dua generator sama persis pada saat generator bekerja paralel perubahan arus eksitasi akan mengubah faktor daya, jika arus eksitasi diperkuat maka nilai faktor daya akan membesar mendekati satu.

2. Kedua tegangan harus sama

Didalam dunia industri dikenal dua buah sistem frekuensi yaitu 50 Hz. Dalam operasionalnya sebuah genset bisa saja mempunyai frekuensi yang berubah-ubah karena faktor tertentu. Pada jaringan distribusi dipasang alat pembatas frekuensi yang membatasi frekuensi minimal 48,5 Hz dan maksimal 51,5 Hz.

3. Urutan fasa (arah perputaran medan putar) harus sama
4. Kondisi paralel harus pada waktu sinkronnya (Bekiroglu E, 2009)

Dalam prakteknya persyaratan sinkronisasi memiliki toleransi antara lain:

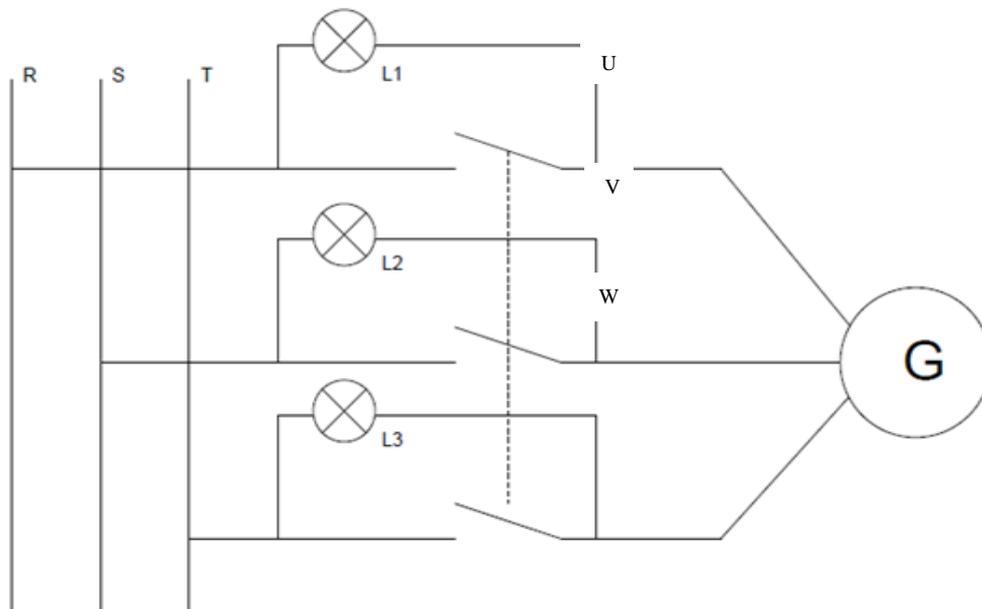
1. Beda tegangan generator dengan jala-jala PLN sebesar  $\pm 5\%$
2. Beda frekuensi generator dengan frekuensi jala-jala PLN sebesar  $\pm 0,2\%$
3. Beda sudut fasa generator dengan sudut fasa jala-jala PLN  $\pm 5^\circ$  (Thamrin, 2011)

Dalam dunia industri diperlukan sistem suplai daya listrik yang dapat :

1. Dioperasikan secara bergantian, kondisi ini dilakukan atas pertimbangan ekonomi atau perbaikan (*maintenance*)
2. Dioperasikan secara bersama-sama, namun mensuplai daya ke beban masing-masing.
3. Dioperasikan paralel (sinkron) baik secara manual, maupun otomatis (Setya, 2015)

Perangkat bantu dalam proses paralel generator adalah sinkronoskop yang berfungsi mendeteksi apakah generator sudah sinkron dan bila sudah sinkron baru proses paralel dilaksanakan.

Salah satu metoda untuk memparalel dua generator atau generator dengan jaringan, adalah dengan menggunakan sinkronoskop lampu gelap yang rangkaianannya ditunjukkan pada Gambar 1. Generator G akan dihubung paralel dengan PLN U=R, V=S, W=T. Pada setiap fasa akan dipasang sebuah lampu L antara titik satu dan titik dua. Jika antara kedua titik itu ada perbedaan tegangan maka lampu akan menyala, jika urutan fasa sudah sama maka tidak ada beda tegangan pada kedua titik itu, maka lampu akan mati, pada saat itulah saklar boleh ditutup. Ketiga lampu tadi boleh diganti dengan alat ukur voltmeter. Ketika voltmeter menunjukkan angka 0V maka saklar boleh ditutup (Dwi B, 2018).



Gambar 1. Rangkaian Sinkronoskop Lampu Gelap

Beberapa metode untuk mensinkronkan generator dengan generator lainnya atau generator dengan jaringan PLN memerlukan operator yang mempunyai kemampuan yang baik (terampil). Dengan menggunakan sistem otomatis akan lebih memastikan saklar menutup pada waktu yang tepat dengan cepat (Shawon S, 2014).

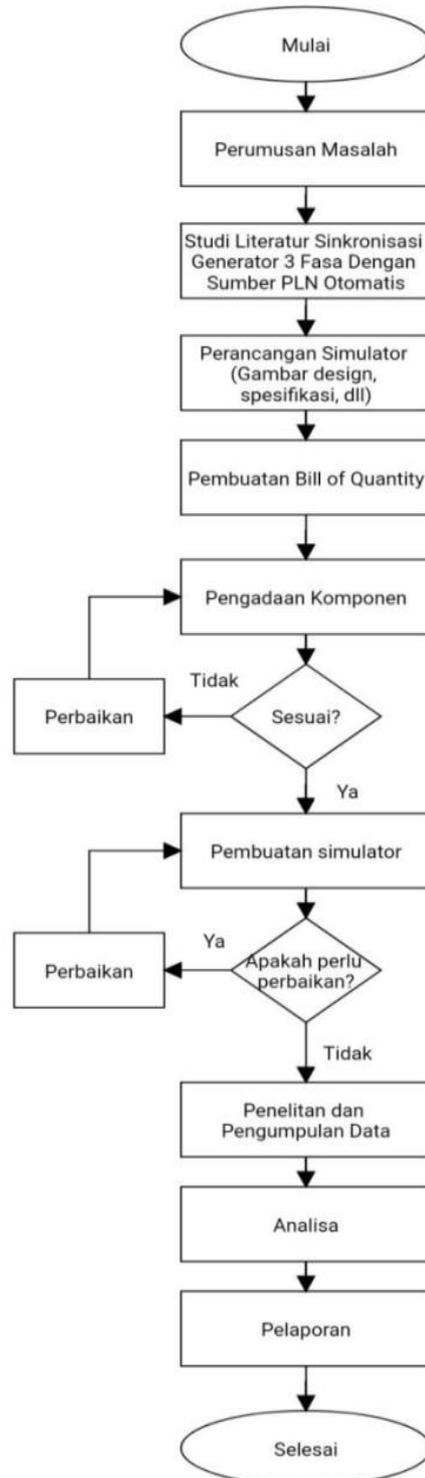
Sudah ada beberapa penelitian yang melakukan rancang bangun sinkronoskop. Salah satunya telah dilakukan rancang bangun alat sinkron untuk menggabungkan dua generator tiga fasa dengan menggunakan metoda sinkronoskop lampu gelap dan berbasis mikrokontroler ATMEGA32 (Dwi B, 2018).

Pada penelitian ini sinkronoskop yang dirancang terdiri dari sensor tegangan menggunakan modul sensor tegangan ZMPT101B, sensor frekuensi rangkaian *optocoupler* PC817 untuk membaca nilai tegangan saat *HIGH* dan saat *LOW*, sensor urutan fasa menggunakan rangkaian IC flip-flop 4013 serta mikrokontroler Arduino Mega 2560.

## 2. Metode

Rancang bangun simulator sinkronoskop generator 3 fasa semiotomatis berbasis mikrokontroler arduino ini dilakukan dalam beberapa tahapan meliputi tahapan perancangan, tahapan implentasi dan tahapan pengujian.

Tahapan perancangan diawali mendiskripsikan simulator sinkronoskop, merumuskan masalah, studi literatur dan membuat rancangan (gambar dan spesifikasi komponen dll). Tahapan implementasi hasil rancangan menjadi simulator sinkronoskop baik *hardware* maupun *software*. Tahapan pengujian terdiri dari pengujian komponen dan pengujian simulator sinkronoskop. Tahapan–tahapan diatas diberikan dalam diagram alir pada Gambar 2.

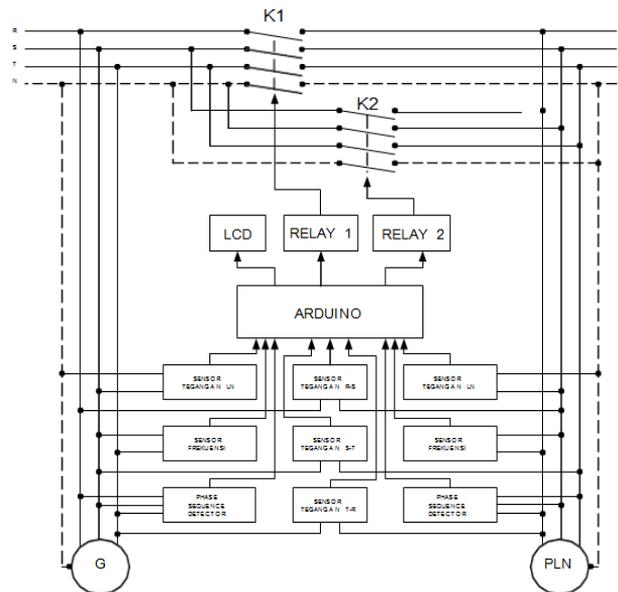


Gambar 2. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

**Simulator Sinkronisasi**

Simulator sinkronisasi ini digunakan untuk mensinkronisasikan generator dengan jala-jala PLN dengan menggunakan mikrokontroler Arduino dan dilengkapi LCD yang menampilkan parameter-parameter yang diukur dalam proses sinkronisasi yaitu tegangan, frekuensi, dan urutan fasa. Simulator sinkronisasi ini menggunakan tiga buah sensor yaitu, sensor tegangan, sensor frekuensi, dan sensor urutan fasa. Sensor tegangan yang digunakan menggunakan modul sensor tegangan ZMPT101B, sedangkan untuk sensor frekuensi menggunakan *optocoupler* PC817 dan resistor, terakhir sensor urutan fasa komponen yang digunakan: resistor, dioda zener, kapasitor, IC 4013, dan *optocoupler* PC817. Keluaran ketiga sensor tersebut menjadi masukan mikrokontroler arduino.

Jika nilai tegangan, frekuensi, dan urutan fasa sudah sama maka mikrokontroler Arduino akan memerintahkan relay untuk *ON*, relay tersebut akan menyalakan kontaktor (K1) untuk *ON*, maka proses sinkronisasi selesai. Jika nilai tegangan dan frekuensi sama, sedangkan urutan fasa tidak sama, maka mikrokontroler Arduino akan memerintahkan relay 2 untuk *ON*, relay tersebut akan mehidupkan kontaktor (K2). Kontaktor 2 mengubah urutan fasa sehingga urutan fasa generator dan PLN sama, dengan begitu proses sinkronisasi selesai. Proses sinkronisasi digambarkan dalam sebuah diagram blok yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Blok Simulator Sinkronoskop

**Perancangan dan Realisasi Perangkat Keras Simulator Sinkronisasi**

Untuk mengukur parameter- parameter simulator sinkronisasi diperlukan sensor-sensor, seperti sensor tegangan, sensor frekuensi, dan sensor urutan fasa.

Untuk mengukur tegangan pada generator dan jala-jala PLN diperlukan sebuah sensor tegangan yang dapat mengukur tegangan dari 0 sampai 220 VAC. Modul sensor tegangan ZMPT101B dipilih karena modul sensor tegangan ini dapat membaca tegangan dari 0 volt sampai dengan 250 Volt. Gambar 4 menunjukkan modul sensor tegangan ZMPT101B.



Gambar 4. Modul Sensor Tegangan ZMPT101B

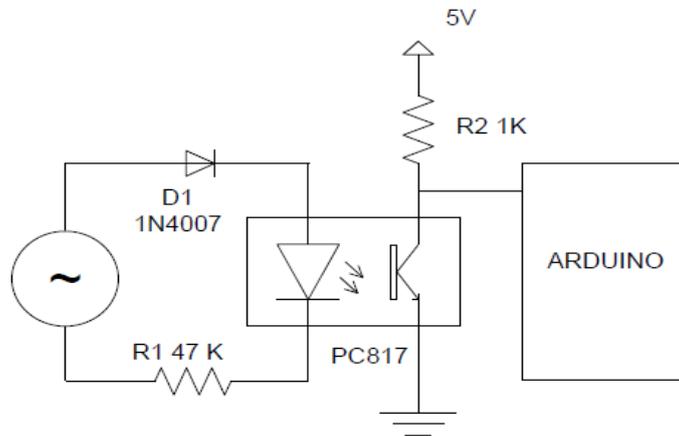
Spesifikasi modul sensor tegangan ZMPT101B diberikan dalam Tabel 1

Tabel 1. Spesifikasi Modul Sensor Tegangan ZMPT101B

Parameter	Nilai
Arus input maksimum, mA	2
Arus output maksimum, mA	2
Rasio lilitan	1000:1000
Error sudut fasa, °	<20
Isolasi tegangan maksimum, kV	4
Tegangan operasi, VAC	0-250
Temperatur kerja, °C	-40 – 60

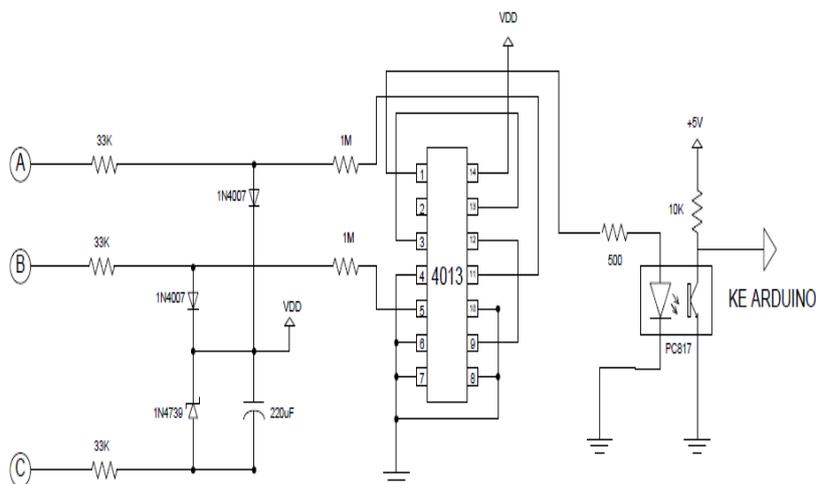
Sedangkan untuk mengukur frekuensi pada generator dan jala-jala PLN digunakan sensor frekuensi yang rangkaiannya diperlihatkan pada Gambar 5.

Tegangan AC dari generator akan disearahkan oleh dioda menjadi tegangan DC setengah gelombang sebagai tegangan input *optocoupler* yang kemudian mengubah menjadi tegangan dc sebagai tegangan keluaran sebagai fungsi frekuensi. Tegangan keluaran *optocoupler* digunakan sebagai input mikrokontroler Arduino.

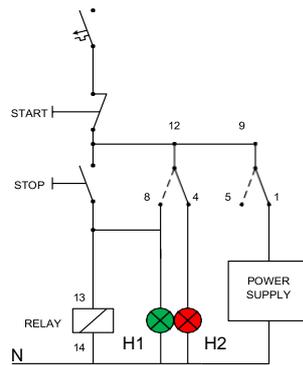


Gambar 5. Rangkaian Sensor Frekuensi

Untuk mengetahui urutan fasa generator dan jala-jala PLN digunakan sensor urutan fasa yang rangkaiannya diberikan dalam Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Rangkaian Sensor Urutan Fasa



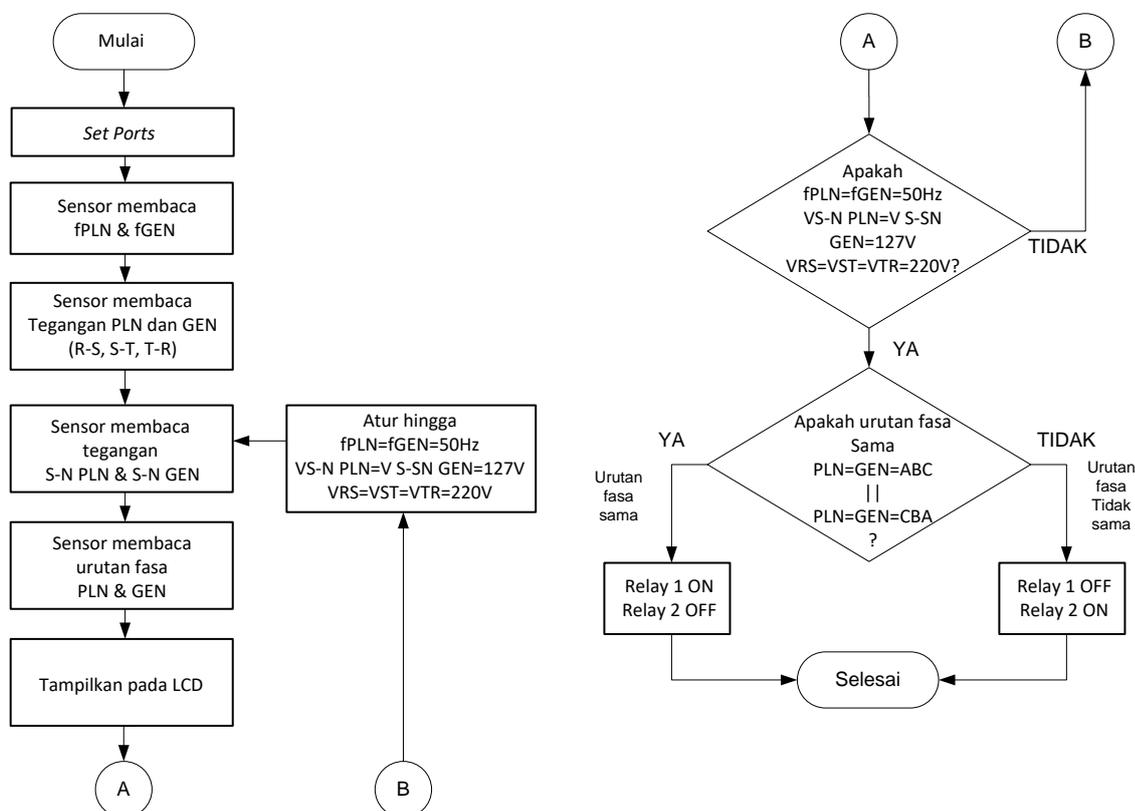
Gambar 7. Rangkaian Kontrol

### Perancangan dan Relalisasi Perangkat Lunak (Program) Simulator Sinkronisasi

Dalam membuat program untuk simulator sinkronisasi, dilakukan dengan menggunakan aplikasi Arduino IDE. Program dibuat sehingga dapat menjalankan Mikrokontroler Arduino untuk membaca nilai tegangan, nilai frekuensi, dan urutan fasa pada generator sinkron 3 fasa dan jala-jala PLN.

Jika nilai tegangan  $V_{SN}$  Generator sama dengan tegangan  $V_{SN}$  PLN yaitu 127 VAC, nilai frekuensi tegangan Generator sama dengan frekuensi tegangan PLN yaitu 50 Hz, tegangan R-S, S-T, T-R antara jala-jala PLN dan Generator sama dengan 220V dan urutan fasanya sama ABC atau CBA, maka arduino akan memerintahkan untuk menyalakan Relay 1 dan mematikan Relay 2 (*interlocking*). Pada LCD ditampilkan kontaktor 1 dalam keadaan ON (K1 ON). Namun jika nilai tegangan  $V_{SN}$  PLN sama dengan tegangan  $V_{SN}$  Generator yaitu 127 VAC, nilai frekuensi  $f_{PLN}$  sama dengan  $f_{Generator}$  yaitu 50 Hz, tegangan R-S, S-T, T-R antara jala-jala PLN dan Generator sama dengan 220V, tapi urutan fasanya berbeda yaitu ABC dan CBA, atau CBA dan ABC, maka arduino akan memerintahkan untuk menyalakan Relay 2 dan mematikan Relay 1 (*interlocking*). Pada LCD ditampilkan kontaktor 2 dalam keadaan ON (K2 ON).

Berdasarkan deskripsi diatas, maka dibuatlah algoritma pemrograman sebagai acuan dalam membuat program sebagai berikut :



Gambar 8. Algoritma Pemrograman Simulator Sinkronisasi

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Pengujian Sensor dan Tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan AC variabel (0-220 Volt). Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai *input* dan *output* sensor tegangan. Jika nilai *input* tegangan ( $V_{in}$ ) naik, maka seharusnya nilai tegangan *output* ( $V_{out}$ ) juga naik. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran sensor tegangan ketika mengatur tegangan suplai AC dari 0 sampai dengan 240 volt untuk sensor tegangan satu dan sensor tegangan 2. Mengulangi pengujian untuk sensor tegangan 2. Hasil pengujian sensor tegangan diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Tegangan <i>Input</i> $V_{in}$ (V)	Sensor tegangan 1	Sensor tegangan 2	Sensor tegangan 1	Sensor tegangan 2
	Tegangan <i>Output</i> $V_{out}$ (V)	Tegangan <i>Output</i> $V_{out}$ (V)	<i>Error</i> sensor tegangan 1 (%)	<i>Error</i> sensor tegangan 2 (%)
19,97	19,84	20,01	-0,66	0,20
40,40	40,18	40,17	-0,55	-0,57
60,2	60,73	60,65	0,87	0,74
80,4	80,43	80,24	0,04	-0,20
101,0	100,45	100,49	-0,55	-0,51
120,4	119,97	120,9	-0,36	0,41
140,5	140,24	141,20	-0,19	0,50
160,8	160,27	160,3	-0,33	-0,31
180,7	180,53	180,67	-0,09	-0,02
200,5	200,86	200,98	0,18	0,24
221,5	220,15	220,13	-0,61	-0,62
239,9	239,80	240,30	-0,04	0,17
Error tegangan rata-rata			0,3725	0,374

Dari Tabel 2 diatas dapat dilihat ketika tegangan input sensor ( $V_{in}$ ) semakin naik maka tegangan output ( $V_{out}$ ) pada sensor semakin naik pula. Menandakan modul sensor tegangan dalam keadaan baik.

$$\%ErrorV = \frac{V_{sensor} - V_{multimeter}}{V_{multimeter}} \times 100 \quad (1)$$

Untuk tegangan 239,9 V pada multimeter terbaca nilai sebesar 239,8 V pada sensor tegangan 1, nilai *error* pembacaan sebesar,

$$\%ErrorV = \frac{239,8 - 239,9}{239,9} \times 100 \quad (2)$$

$$\%ErrorV = -0,04\% \quad (3)$$

Hasil perhitungan *error* tegangan dari sensor 1 dan sensor 2 dimasukan kedalam Tabel 2.

#### Pengujian Sensor Frekuensi

Pengujian sensor frekuensi dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan sensor frekuensi dengan cara membandingkan nilai yang terbaca oleh sensor frekuensi dengan frekuensi meter pada multimeter digital FLUKE 179. Sensor frekuensi meter dipasang pada terminal tegangan antar fasa generator sinkron, begitu pula dengan frekuensi meter pada multimeter digital FLUKE 179. Arus eksitasi pada generator sinkron diatur sedemikian rupa sehingga tegangan pada terminal antar fasanya terbaca 220Volt. Untuk mengeluarkan nilai frekuensi yang bervariasi pada generator sinkron, maka diatur putaran pada *prime mover* dari 300 rpm sampai 1650 rpm, sehingga keluar nilai frekuensi yang berubah-ubah pada tegangan 220 Volt.

Hasil pengujian sensor frekuensi diberikan dalam Tabel 3.

Untuk menghitung *error* sensor terhadap multimeter, dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\%Errorf = \frac{fsensor - fmultimeter}{fmultimeter} \times 100 \tag{4}$$

Untuk frekuensi 50,51 Hz pada multimeter, terbaca nilai sebesar 50,76 Hz pada sensor frekuensi 1 (PLN) nilai error pembacaan sebesar:

$$\%Error.f = \frac{50,76 - 50,51}{50,51} \times 100 \tag{5}$$

$$\%Error.f = -0,495\% \tag{6}$$

Hasil perhitungan error sensor frekuensi 1 diberikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Frekuensi dan Hasil Perhitungan Error

Frekuensi terbaca pada Multimeter Fluke 179 (Hz)	Kecepatan putar rotor (Rpm)	Sensor Frekuensi 1 (Hz)	Error sensor frekuensi 1 (%)
10	300	-	-
20	600	-	-
30,54	900	30,82	0.91
35,29	1050	35,43	0.40
40,58	1200	40,75	0.42
45,30	1350	45,61	0.68
50,51	1500	50,76	0.49
55,11	1650	55,40	0.52

### Pengujian Sensor Urutan Fasa

Pengujian sensor urutan fasa dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan AC 3 fasa. Sensor urutan fasa dihubungkan pada sumber tegangan kemudian diukur nilai tegangan DC pada output sensor urutan fasa. Jika tegangan terbaca mendekati 0V (LOW) maka urutan fasanya searah jarum jam CW (ABC, BCA, atau CAB). Jika tegangan DC yang terbaca pada output adalah 5V (HIGH) urutan fasanya berlawanan arah jarum jam (CBA, BAC, atau ACB).

Hasil pengujian sensor urutan fasa diberikan dalam Tabel 4

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Urutan Fasa

Sensor Urutan Fasa 1 (PLN)			Sensor Urutan Fasa 2 (GENERATOR)		
Urutan Fasa	Tegangan Terbaca	Ket.	Urutan Fasa	Tegangan Terbaca	Ket.
ABC	0,111 mV	LOW	ABC	0,120 mV	LOW
BCA	0,101 mV	LOW	BCA	0,103 mV	LOW
CAB	0,121 mV	LOW	CAB	0,123 mV	LOW
CBA	5,03 V	HIGH	CBA	5,02V	HIGH
BAC	5,02 V	HIGH	BAC	5,02V	HIGH
ACB	5,01 V	HIGH	ACB	5,04V	HIGH

Dari Tabel 4 dapat dilihat ketika urutan fasa searah jarum jam maka tegangan terbaca 0V (LOW) dan pada saat urutan fasanya berlawanan arah jarum jam, maka tegangan terbaca 5V (HIGH). Dari hasil pengujian ini tidak terdapat kesalahan sehingga error 0%.

### Pengujian Simulator Sinkronisasi

Pengujian simulator sinkronisasi dilakukan untuk mensinkronkan jala-jala PLN yang sudah diturunkan tegangan VLL nya menjadi 220 Volt dengan generator sinkron AC Tiga Fasa dengan spesifikasi teknisnya diberikan dalam Tabel 5.

Tabel 5 .Spesifikasi Generator Sinkron Tiga Fasa

Spesifikasi Generator Sinkron Tiga Fasa	
Daya, KVA	1,2 KVA
Cos phi	0,8
Kecepatan, rpm	1500
Frekuensi, Hz	50
Tegangan dan arus hubungan bintang, V/A	220 / 3,5
Tegangan dan arus hubungan delta, V/A	127 / 6,1
Magnetisasi maksimal, V/A	220 / 1,4

- Prosedur Pengujian Simulator Sinkronisasi.

Setelah rangkaian lengkap, generator sinkron dioperasikan dengan mengatur putaran dan arus penguat untuk memperoleh frekuensi dan tegangan yang sama dengan dengan frekuensi dan tegangan jala-jala PLN . Bila tegangan dan frekuensi generator sudah sama dengan tegangan dan frekuensi jala-jala PLN ditandai dengan tegangan pada voltmeter sama dengan nol, simulator sinkronoskop diaktifkan untuk memparalel generator dengan jala-jala secara otomatis dan waktu yang diperlukan sinkronoskop pada proses paralel diukur.

Proses pengujian dilakukan berulang hingga 10 kali yang terdiri dari 5kali untuk urutan fasa ABC dan 5 kali untuk urutan fasa ACB.

Hasil pengujian simulator sinkronoskop dimasukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Simulator Sinkronisasi

Percobaan Ke-	Kontaktor yang menyala	Waktu sinkron (detik)	Ket.
1	K1	2	Sinkron
2	K1	1	Sinkron
3	-	-	Gagal
4	-	-	Gagal
5	K1	2	Sinkron
6	K2	11	Sinkron
7	K2	4	Sinkron
8	K2	9	Sinkron
9	K2	7	Sinkron
10	K2	6	Sinkron

Dari sepuluh kali percobaan itu mengalami kegagalan sebanyak 2 kali sehingga persentase *error* sistem/gagal sinkron sebanyak 20%. Waktu untuk sistem mensinkronkan generator dengan jala-jala pun bervariasi dengan rentang 1-11 detik.

### Kesimpulan

Perangkat simulator sinkronisasi generator tiga fasa semiotomatis yang menggunakan sensor tegangan, sensor frekuensi, sensor urutan fasadan mikrokontroler Arduino dengan menggunakan *software* Arduino IDE. berfungsi dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan data hasil pengujian dan perhitungan menunjukkan besarnya *error* pembacaan sensor tegangan rata-rata 0,37% . sensor frekuensi 0,48%, dan sensor urutan fasa 0%. Nilai selisih antara tegangan PLN dengan Tegangan Generator pada program diatur sebanyak 4,5 % dari 220VLL sedangkan untuk frekuensi diatur selisihnya sebanyak 3% dari frekuensi nominal 50 Hz. Proses sinkronisasi memerlukan waktu 1sampai dengan 11 detik, lebih cepat dari yang diinginkan yaitu 15 detik.

### UcapanTerima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Negeri Bandung atas dukungan finansialnya pada penelitian ini sehingga penelitian ini dapat berhasil dilaksanakan berdasarkan kontrak Nomor: B/249.130/PL1.R7/PG.00.03/2020. Kemudian kepada seluruh pihak tim yang senantiasa membantu dalam melakukan perancangan dan pembuatan simulator sinkronisasi generator tiga fasa berbasis mikrokontroler arduino ini sehingga berjalan dengan baik.

### Daftar Pustaka

- Bekiroglu E, B. A. (2009). *Automatic Synchronization Unit for the Parallel Operation of Synchronous Generators*. Proc. IEEE EUROCON, pp.766-771.
- Dwi B, A. R. (2018). Rancang Bangun Alat Sinkron untuk Menggabungkan Dua Generator Tiga Fasa. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol.3, no.2 , pp. 92-103.
- Firmansyah, A., Susanti, I., Rumiasih, & Carlos, R. (2018). Pemanfaatan Motor Induksi Tiga Fasa Sangkar Tupai Sebagai Pembangkit Energi Listrik Tenaga Mikrohidro. *ELEKTRA*, vol.3, no.1, pp. 1-12.
- Fitzgerald A, K. U. (1992). *Electric Machinery*. Singapore: McGraw-Hill.
- 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.
- Shawon S, P. M. (2014). Design & Construction of a Low Cost Quasi Automatic Synchronizer for Alternators. . *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol.3, no.5, pp. 1860-1865.
- 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.