

Penerapan Sinkronisasi Jaringan Listrik Tiga Fasa PLN dengan Generator Sinkron Menggunakan *Trainer Power Sistem Simulation*

Djodi Antono, M. Khambali

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang
E-mail : djodiantono@yahoo.com

Abstrak

Kebanyakan pusat pembangkit di Indonesia menggunakan generator sinkron tiga fasa di dalam operasionalnya. Terbatasnya kemampuan sebuah generator untuk memenuhi kebutuhan beban, perlu adanya beberapa generator bekerja bersama dalam suatu sistem jaringan listrik baik sistem interkoneksi atau sistem bus. Perbedaan kemampuan tiap generator menyebabkan kita harus melakukan proses sinkronisasi (penyamaan sistem) mulai dari frekuensi, tegangan, sudut fasa hingga urutan fasa antara generator dengan sistem pada jaringan PLN. Sinkronisasi adalah suatu cara untuk menghubungkan dua sumber atau beban Arus Bolak-Balik (AC). Sumber AC tersebut antara lain generator dan beban adalah transformator yang akan digabungkan atau diparalel dengan tujuan untuk meningkatkan keandalan dan kapasitas sistem tenaga listrik. Sinkronisasi sendiri dibagi menjadi 3, yaitu: sinkronisasi gelap, sinkronisasi terang, dan sinkronisasi gelap-terang. Masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda hanya pada jenis indikatornya saja.

Kata kunci : Sinkronisasi generator, tegangan, frekuensi, arus

Abstract

Most plants in Indonesia using a three-phase synchronous generator in operation. The limited ability of a generator to meet the load requirements, the need for several generators work together in a kind of electrical network system or a system interconnect bus system. Differences in the ability of each generator cause we must make the process of synchronization (equation system) ranging from frequency, voltage, phase sequence phase angle between the generator to the grid system on. Synchronization is a way to connect two or load source of alternating current (AC). AC sources include generators and transformers loads are to be combined or paralleled with the aim to improve the reliability and capacity of the power system. Sync itself is divided into three, namely : dark synchronization, light synchronization, and dark-light synchronization. Each has characteristics which differ only in the type of indicator alone .

Keywords : Sync generator, voltage, frequency, current

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sinkronisasi merupakan proses penggabungan dua sistem yang bekerja pada tegangan AC, baik pada saat sebuah generator disambungkan ke jaringan PLN maupun penambahan unit generator yang akan diparalelkan dengan generator yang sebelumnya telah tersambung ke dalam sistem jaringan PLN.

1.1.1 Syarat-Syarat Sinkronisasi

Proses sinkronisasi generator ke jaringan PLN maupun dengan generator lain (paralel generator) memiliki persyaratan yang harus dipenuhi sebelum disambungkan ke jaringan PLN.

Syarat-syarat sebelum melakukan proses sinkronisasi adalah sebagai berikut :

a. Frekuensi

Frekuensi generator dan frekuensi sistem harus sama "match". Pada umumnya frekuensi yang digunakan adalah sebesar 50 atau 60 Hz sesuai dengan standar internasional. Di Indonesia sendiri menggunakan frekuensi 50 Hz sebagai indikator kerja pada kondisi normal. Nilai toleransi frekuensi yang diperbolehkan adalah $\pm 0,2$ Hz pada kondisi normal. Pada jaringan dipasang alat pembatas frekuensi yang membatasi frekuensi pada minimal 48,5 hz dan maksimal 51,5 Hz.

b. Tegangan

Parameter kedua yang harus dipenuhi adalah tegangan. Pada proses sinkronisasi, tegangan pada generator dan jaringan PLN harus sama. Alat ukurnya berupa double voltmeter. Antara tegangan generator (yang akan dipararel) dengan tegangan sistem jaringan harus sama besarnya (nilainya). Untuk menyamakan, maka tegangan generator harus diatur, yaitu dengan mengatur arus eksitasinya. Variasi tegangan yang diijinkan antara kedua sistem adalah sebesar $\pm 5\%$ dari tegangan nominalnya.

c. Sudut Fasa

Seringkali terdapat kerancuan antara perbedaan fasa dan frekuensi. Frekuensi adalah banyaknya siklus (sinusoida) dalam satu detik dari suatu sirkuit listrik. Sedang perbedaan fasa adalah pergeseran sudut antara satu sirkuit dengan sirkuit listrik yang lain untuk fasa yang sama.

Untuk dapat melihat perbedaan fasa secara grafis diperlukan instrumen osiloskope. Tetapi didalam penerapannya menjadi tidak praktis untuk memasang osiloskop pada panel listrik (*alternator*). Sebagai gantinya dipasang sinkroskop dan lampu untuk mengetahui perbedaan fasa ini. Didalam sinkroskop ini hanya ditunjukkan keterangan “*slow*“, dan “*fast*“, serta titik atau garis yang terletak diantaranya. Apabila jarum menunjuk kearah *slow*, artinya fasa alternator tertinggal dibelakang fasa sistem, sedang apabila jarum menunjuk kearah *fast*, artinya, fasa alternator lebih cepat dari fasa sistem

1.2 Pembatasan Masalah

Untuk menyederhanakan dalam pembahasan dalam makalah ini, maka dibuat batasan masalah sebagai berikut :

- a. Proses simulasi rangkaian dengan menggunakan alat simulasi De Lorenzo
- b. Pemahaman secara konseptual mengenai ketentuan yang harus diperhatikan dalam melakukan proses sinkronisasi
- c. Pembahasan mengenai definisi, pengertian dan macam dari proses sinkronisasi.

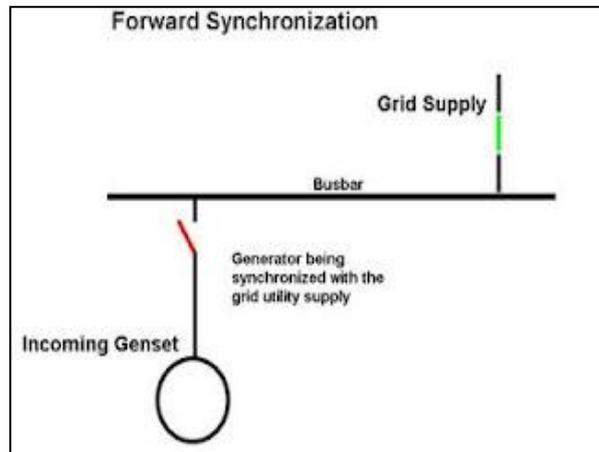
1.3 Tinjauan Pustaka

Seperti telah dijelaskan di awal, bahwa sinkronisasi adalah proses untuk menyamakan tegangan, frekuensi, sudut phase dan sequence phase antara dua sumber daya AC. Maka berdasarkan arah atau susunan peralatan pada

sistem tenaga listrik, sinkronisasi dibagi menjadi dua jenis.

1.3.1 Sinkronisasi Berdasar Susunan Peralatan

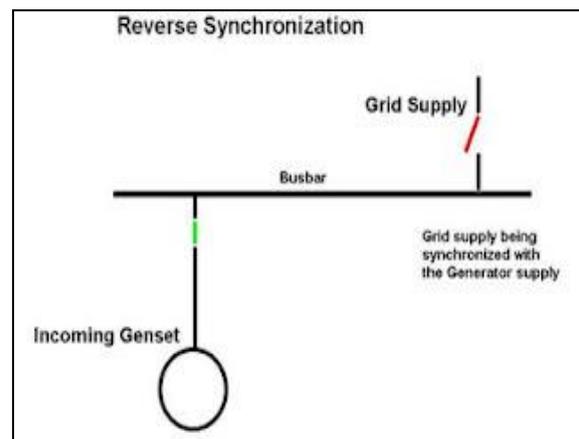
a. *Foward Synchronozation*, yaitu proses sinkronisasi generator ke dalam sistem atau busbar.



Gambar 1 Sinkronisasi Maju

b. *Reverse Symchronization / Backward Synchronization*

Biasanya terjadi pada sistem tenaga listrik di suatu pabrik, dimana suatu jaringan suplai akan digabungkan ke dalam suatu jaringan sistem atau busbar yang ada. Pada kondisi ini tidak dimungkinkan untuk mengatur parameter sinkron pada sisi incoming (jaringan yang akan disinkronkan), yang terpenting CB (PMT) dari beban-beban pada jaringan suplai (grid supply) dalam keadaan terbuka.



Gambar 2 Sinkronisasi Terbalik

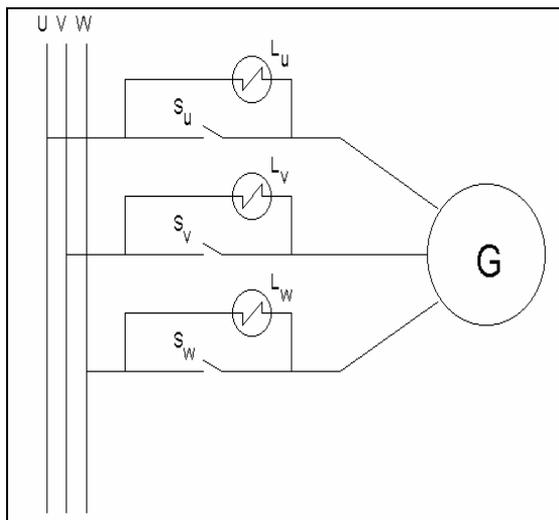
1.3.2 Metode Sinkronisasi

Ada beberapa cara untuk memparalelkan generator dengan mengacu pada syarat-syarat diatas.

a. Lampu Cahaya Berputar

1. Sinkronoskop Lampu Gelap

Jenis sinkronoskop lampu gelap pada prinsipnya menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu U dengan U, V dengan V dan W dengan W. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.

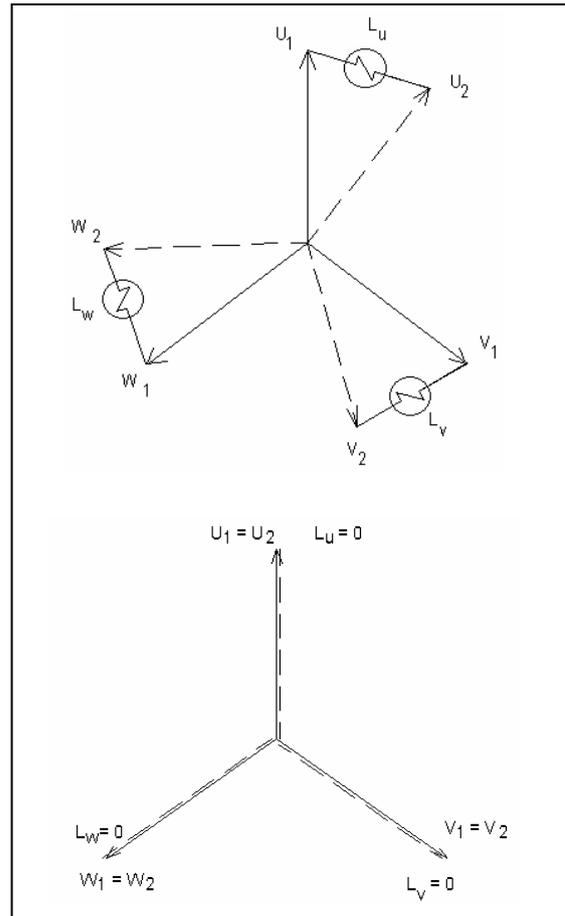


Gambar 3 Skema Sinkronoskop Lampu Gelap

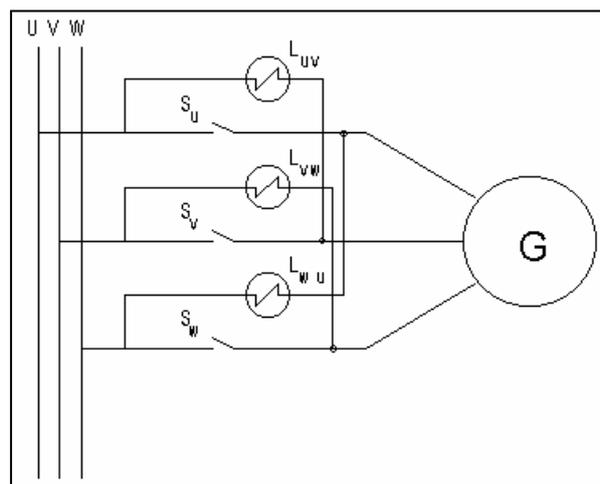
Pada hubungan ini jika tegangan antar fasa adalah sama maka ketiga lampu akan gelap yang disebabkan oleh beda tegangan yang ada adalah nol. Demikian juga sebaliknya, jika lampu menyala maka diantara fasa terdapat beda tegangan. Ini dapat dijelaskan pada Gambar 4.

2. Sinkronoskop Lampu Terang

Jenis sinkronoskop lampu terang pada prinsipnya menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu U dengan V, V dengan W dan W dengan U. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.

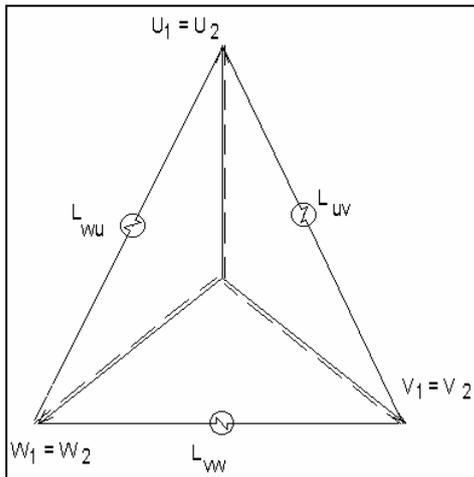


Gambar 4 Beda Tegangan Antara Fasa pada Sinkronoskop Lampu Gelap



Gambar 5 Skema Sinkronoskop Lampu Terang

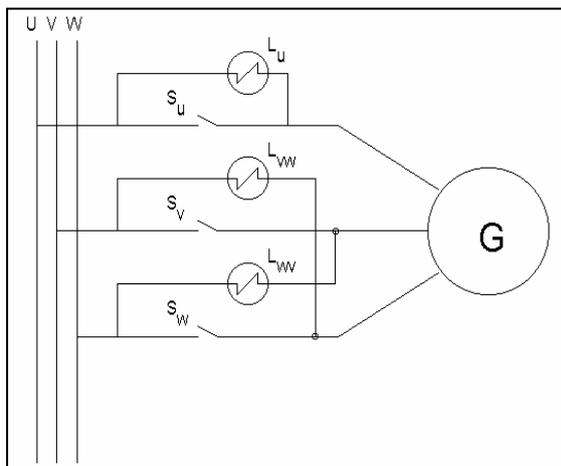
Sinkronoskop jenis ini merupakan kebalikan dari sinkronoskop lampu gelap. Jika antara fasa terdapat beda tegangan maka ketiga lampu akan menyala sama terang dan generator siap untuk diparalel. Kelemahan dari sinkronoskop ini adalah kita tidak mengetahui seberapa terang lampu tersebut sampai generator siap diparalel. Ini dapat dijelaskan dengan Gambar 6.



Gambar 6 Beda Tegangan Antara Fasa Sinkronoskop Lampu Terang

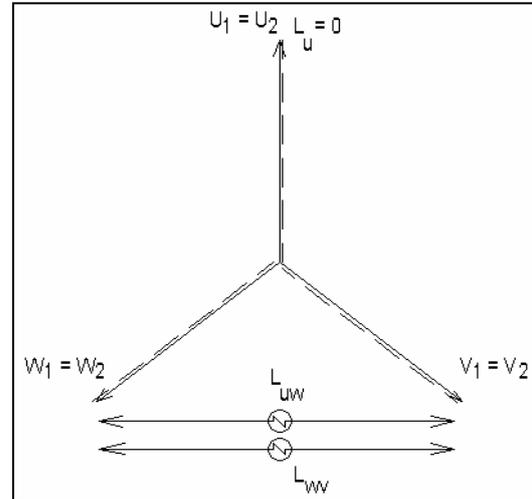
3. Sinkronoskop Lampu Terang Gelap

Sinkronoskop jenis ini dapat dikatakan merupakan perpaduan antara sinkronoskop lampu gelap dan terang. Prinsip dari sinkronoskop ini adalah dengan menghubungkan satu fasa sama dan dua fasa yang berlainan, yaitu fasa U dengan fasa U, fasa V dengan fasa W dan fasa W dengan fasa V. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7 Skema Sinkronoskop Lampu Terang Gelap

Pada sinkronoskop ini generator siap diparalel, jika satu lampu gelap dan dua lampu lainnya terang. Pada kejadian ini dapat diterangkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Beda Tegangan Antara Fasa Sinkronoskop Lampu Terang Gelap

b. Voltmeter, Frekuensi Meter dan Sinkronoskope

Pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik, untuk indikator paralel generator banyak yang menggunakan alat synchroscope. Penggunaan alat ini dilengkapi dengan voltmeter untuk memonitor kesamaan tegangan dan frekuensi meter untuk kesamaan frekuensi.

Ketepatan sudut fasa dapat dilihat dari synchroscope. Bila jarum penunjuk berputar berlawanan arah jarum jam berarti frekuensi generator lebih rendah dan bila searah jarum jam berarti frekuensi generator lebih tinggi. Pada saat jarum telah diam dan menunjuk pada kedudukan vertikal, berarti beda fasa generator dan jala-jala telah 0 (nol) dan selisih frekuensi telah 0 (nol), maka pada kondisi ini sakelar dimasukkan (ON). Alat synchroscope tidak bisa menunjukkan urutan fasa jala-jala, sehingga untuk memparalelkan perlu dipakai indikator urutan fasa jala-jala.

c. Cara otomatis

Paralel generator secara otomatis biasanya menggunakan alat yang secara otomatis memonitor perbedaan fasa, tegangan, frekuensi, dan urutan fasa. Apabila semua kondisi telah tercapai alat memberi suatu sinyal bahwa sakelar untuk paralel dapat dimasukkan.

1.3.3 Prosedur Sinkronisasi

a. Prosedur sebelum sinkronisasi generator

Sebelum melakukan sinkronisasi generator dengan sistem jaringan (infinite bus), pastikan bahwa :

1. Pemutus tenaga (*circuit breaker*) generator dalam keadan terbuka.
2. Pemutus tenaga sistem eksitasi generator dalam keadan terbuka.
3. Mesin berputar pada putaran nominal dengan governor pada posisi minimum.
4. Semua kondisi unit normal dan memuaskan untuk di sinkronisaikan.
5. Sistem jaringan telah bertegangan dan pemisah pada bus sudah masuk.

b. Prosedur sinkron pada generator secara manual

1. Naikkan putaran mesin dengan kontrol governor hingga putarannya sama dengan kecepatan frekuensi sistem.
2. Periksa sistem eksitasi, kemudian masukkan pemutus tenaga penguat medan (*field breaker*).
3. Naikkan arus eksitasi, periksa tegangan generator sampai mencapai normal, masukkan sistem pengatur tegangan (AVR) ke posisi auto.
4. Masukkan saklar sinkronoskope ke posisi manual dan lihat apakah kecepatan mesin fast atau slow dibanding kecepatan sistem.

5. Atur eksitasi agar tegangan generator sama dengan tegangan sistem. Atur frekuensi dan sudut fasa dengan menggunakan kontrol governor agar sinkronoskope berputar perlahan ke arah fast.
6. Pada saat jarum sinkronoskope mendekati titik nol (jam 12), tekan tombol pemutus tenaga generator sehingga CB masuk pada saat jarum menunjuk titik nol. Generator telah sinkron.
7. Matikan peralatan sinkronisasi dan saklar selektor

II. METODOLOGI PENELITIAN

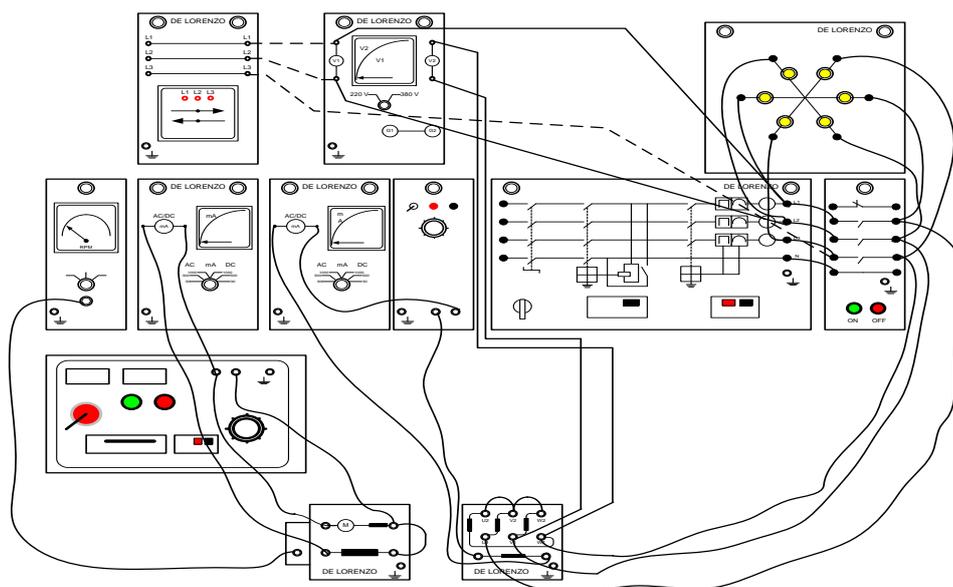
2.1 Peralatan yang Dipergunakan

Penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut:

TABEL 1
DAFTAR PERALATAN

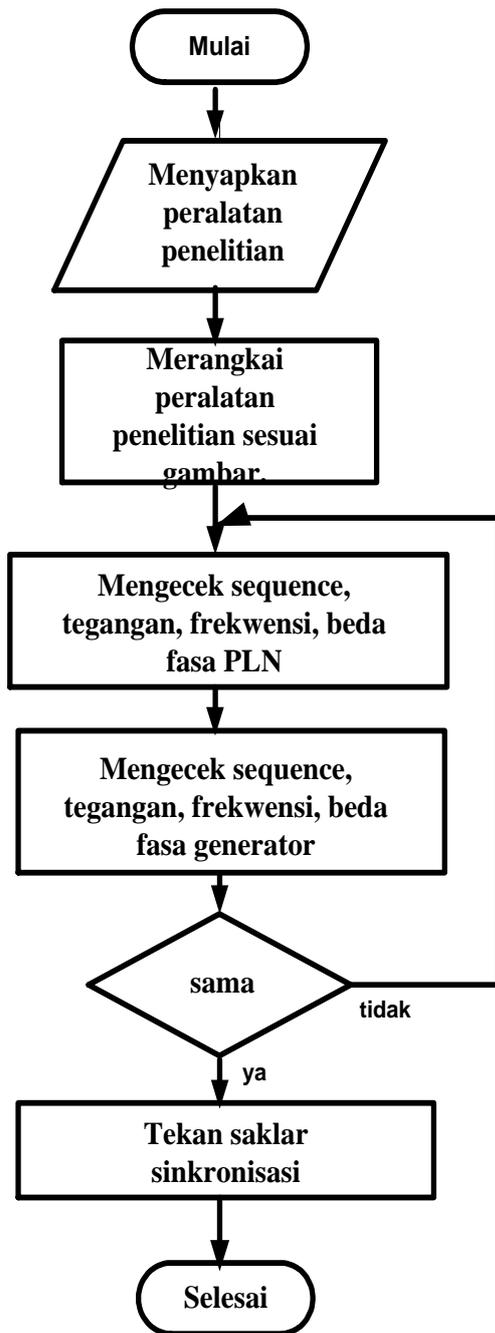
No	Nama Alat	Jumlah
1	Generator Listrik 3 fasa 1.5 kW	1 buah
2	Voltmeter	1 buah
3	Ampere meter	1 buah
4	Frekwensi meter	1 buah
5	Lampu sinkronoskope	1 buah
6	Sumber tegangan 3 fasa dari PLN	1 buah
7	Kabel penghubung secukupnya	1 buah
8	Video recorder	1 buah

2.2 Rangkaian Percobaan



Gambar 9 Rangkaian Percobaan

2.3 Diagram Flow Chart



Gambar 10 Flow Chart Diagram Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada percobaan untuk melalui proses sinkronisasi harus melihat beberapa syarat, yaitu :

- a. Tegangan harus sama
 Pada voltmeter tegangan pada jaringan PLN menunjukkan 380 V, maka pada generator sinkron kita harus menaikkan tegangan hingga

380 V sama dengan tegangan jaringan PLN dengan memutar switch eksitasinya hingga sekitar 30-40 %.

- b. Frekuensi harus sama
 Pada frekuensimeter pada jaringan PLN menunjukkan 50 Hz, maka pada generator sinkron juga harus disesuaikan dengan cara menambahkan kecepatan putar generator sinkron hingga frekuensi mencapai 50 Hz. Untuk mencapai frekuensi 50 Hz kecepatan putar generator sinkron berkisar antara 3000 rpm.
- c. Sudut fasa yang sama
 Untuk mengetahui sudut fasa telah sama dapat dilihat pada lampu indikator synchronization. Pada saat lampu mati maka sudut fasanya telah sama. Hal ini juga digunakan sebagai indikator untuk memasukkan beban pada generator sinkron menuju jaringan PLN.
- d. Urutan fasa yang sama
 Pada terminal urutan fasa RST pada generator sinkron harus sama urutan fasa RST pada jaringan PLN. Hal ini dapat dilakukan menggunakan indikator sequence. Pada saat dipasangkan kabel urutan fasa pada generator sinkron dan jaringan PLN, apabila urutan fasanya sama maka lampu indikator dengan arah panah menuju kanan akan menyala. Apabila urutan fasanya ada yang terbalik maka lampu indikator dengan arah panah menuju kiri akan menyala.

3.1 Proses Kerja

Proses sinkronisasi diawali dengan melakukan pengecekan terhadap jaringan PLN yang sudah ada. Hal ini dikarenakan generator sinkron nantinya akan bekerja dengan menyesuaikan dengan jaringan listrik yang sudah ada yaitu jaringan PLN. Pengecekan yang dilakukan terhadap jaringan PLN meliputi tegangan, frekuensi, dan arah sequence-nya.

Proses selanjutnya adalah menghidupkan penggerak generator sinkron (menggunakan sebuah motor DC sebagai Prime mover-nya. Generator sinkron akan diputar oleh motor DC hingga mencapai kecepatan nominalnya yaitu 3000 rpm.

Setelah generator sinkron bergerak sesuai dengan putaran nominalnya, kemudian sedikit demi sedikit eksitasi generator sinkron (berupa pemberian tegangan DC) diaktifkan dengan memutar knop pengatur tegangan ke kanan sehingga generator sinkron akan menghasilkan

tegangan. Putar terus knop pengatur tegangan eksitasi sampai tegangan yang dihasilkan generator sinkron yang sama dengan tegangan jaringan PLN.

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengecekan terhadap frekuensi yang dihasilkan oleh generator. Jika frekuensi generator lebih besar dari frekuensi jaringan PLN, maka frekuensi harus dikurangi dengan cara mengurangi kecepatan penggerak generator yaitu mengurangi tegangan motor DC penggerak putar (*prime mover*) generator sinkron (memutar knop pengatur tegangan DC ke kiri pada *supply* utama tegangan DC, begitu pula Jika frekuensi generator lebih kecil dari frekuensi jaringan PLN, maka frekuensi harus ditambah dengan cara menaikkan kecepatan penggerak generator yaitu menambah tegangan motor DC penggerak putar (*prime mover*) generator sinkron (memutar knop pengatur tegangan DC ke kanan pada *supply* utama tegangan DC).

Langkah berikutnya adalah melakukan pengecekan terhadap *sequence* (urutan fasa R, S, T atau L1, L2, L3) generator menggunakan *sequence check*. Perhatikan arahnya ditandai dengan menyalanya lampu indicator. Dengan cara yang sama pengecekan *sequence* jaringan PLN dilakukan. Pastikan generator memiliki arah *sequence* yang sama dengan arah *sequence* jaringan PLN.

Langkah selanjutnya adalah melihat keadaan nyala lampu sinkronoskop jika generator sinkron dan jaringan PLN telah mempunyai parameter yang mendekati sama (frekuensi, tegangan, beda fasa dan arah *sequence* urutan fasa) maka lampu sinkronoskop pergantian menyala gelap ke terang makin melambat. Untuk kehalusan proses sinkronisasi generator sinkron dengan jaringan PLN ini pilihlah saat lampu menyala gelap ke terang yang paling lambat perubahannya. Hal ini berarti tegangan telah sama, frekuensi sama, dan tidak ada beda fasa, berarti mesin sudah siap untuk disinkronkan. Tekan tombol “on” pada saklar sinkron saat lampu sinkronoskop dalam keadaan mati. Maka mesin akan sinkron, generator dan PLN telah menyatu. Apabila saat menekan tombol “on” tidak berbunyi macam-macam, menandakan sinkronisasi berjalan dengan mulus dan lancar. Setelah generator dan PLN menyatu, lampu akan mati dengan sendirinya. Selanjutnya generator akan mengikuti PLN yaitu men-*supply* daya sesuai yang tertera pada *name plate*. Kecepatan sinkronnya adalah 3000 rpm.

3.2 Data Sinkron Generator dan PLN

Data sinkronisasi generator dengan jaringan PLN:

- a. Motor penggerak generator
 - Arus eksitasi : 0,3 A
 - Arus Motor DC : 1,8 A
 - Kecepatan : 3000 rpm
- b. Generator
 - Frekuensi : 50 Hz
 - Tegangan : 360 V
- c. Jaringan PLN
 - Frekuensi : 50 Hz
 - Tegangan : 360 V

Data di atas menunjukkan bahwa dalam mensinkronkan generator dan jaringan PLN, tegangan dan frekuensinya harus sama yaitu 360 volt dan 50 Hz. Jika terdapat perbedaan, maka generator harus menyesuaikan dengan tegangan dan frekuensi jaringan PLN yang ada. Selain itu, juga harus dipastikan bahwa beda fasa dan arah *sequence*-nya sama antara generator dan jaringan PLN.

IV. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

- a. Diperlukan beberapa *supply* daya (generator atau PLN) yang dihubungkan secara paralel untuk mensuplai daya listrik yang besar.
- b. Keuntungan dari menggabungkan 2 buah *supply* daya (generator atau PLN) adalah apabila salah satu *supply* daya mengalami gangguan, maka beban dapat dialihkan ke *supply* daya yang lain.
- c. Ada beberapa cara memparalel *supply* daya (generator atau PLN), yaitu :
 - a) Sinkronisasi lampu gelap
 - b) Sinkronisasi lampu terang
 - c) Sinkronisasi lampu gelap-terang
- d. Untuk memparalel dua buah *supply* daya (generator atau PLN) ada beberapa syarat, yaitu :
 - a) Tegangan sama
 - b) Frekuensi sama
 - c) Beda fasa sama
 - d) Urutan fasa sama

Apabila syarat untuk memparalel supplay daya ada yang tidak terpenuhi maka akan menyebabkan masalah ringan sampai dengan kerusakan pada generator.

- e. Untuk mensinkronkan dengan sinkronisasi gelap, maka lampu indikator harus benar-benar dalam keadaan mati, agar tidak menyebabkan perbedaan fasa yang besar.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan serta dari kesulitan-kesulitan yang ditemui selama melakukan penelitian, maka disarankan untuk mencoba dan mengembangkan metode lain yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Delorenzo, *Electrical Power Engineering (Alternator and parallel operation DL GTU101.1)*.
- [2] Machmud Effendy, “Rancang Bangun Alat Sinkronisasi Otomatis Sistem Jaringan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dengan Jaringan PLN”, *Penelitian Pengembangan IPTEK UMM*, 2009.
- [3] Politeknik UNDIP, *Machine Laboratory*, Jurusan Teknik Listrik Bandung: PEDC Bandung, 1984.
- [4] Sumanto, *Mesin Sinkron*, Jakarta : Andi Offset, 1999.
- [5] Mochtar Wijaya, *Dasar-dasar Mesin Listrik*, Jakarta:Djambatan, 2001.