

# Simulasi Paralel Generator Menggunakan GeoGebra

Djoko Untoro Suwarno<sup>1</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro FST Universitas Sanata Dharma  
Paingan, Maguwoharjo, Sleman, 55282, INDONESIA

alamat e-mail<sup>1</sup>: joko\_unt@usd.ac.id

**Intisari**— Sistem sinkronisasi generator atau paralel generator banyak terjadi pada sistem ketenagaan. Mahasiswa yang belajar proses sinkronisasi diberikan secara teori tanpa diberikan praktek dikarenakan modul sinkronisasi generator mahal harganya dan beresiko besar seperti terjadi trip dan pemadaman. Pada penelitian ini akan dibahas tentang simulator paralel generator menggunakan GeoGebra. Sinkronisasi generator dilakukan dengan mengubah parameter generator antara lain tegangan, kecepatan governor rpm, frekuensi dan perubahan beban dalam bentuk tegangan reaktif kVAR. Hasil yang diperoleh simulator dapat memberikan peringatan atau sinyal error saat sinkronisasi tidak tepat, indikator kW, cos  $\phi$ , arus, tegangan, rpm, frekuensi, over voltage, tegangan HIGH, tegangan LOW, Pengguna bisa belajar melakukan sinkronisasi secara aman dan mudah.

**Keywords**— sinkronisasi generator, paralel Generator, GeoGebra, Simulasi.

## I. PENDAHULUAN

Dalam sistem ketenagaan terdiri dari pembangkitan, transmisi dan distribusi. Pembangkitan bisa terdiri dari banyak generator yang bekerja secara sinkron. Generator yang bekerja secara paralel dibutuhkan untuk meningkatkan daya dari pembangkit dan tidak menambahkan tegangan pada jaringan melainkan menambah arus yang dibutuhkan oleh pengguna. Perubahan parameter generator secara langsung memiliki resiko terjadinya trip ataupun pemadaman yang berakibat bisa merugikan banyak pihak. Untuk keperluan pembelajaran, diperlukan simulator untuk melakukan sinkronisasi generator dengan resiko yang kecil. Simulasi sinkronisasi dilakukan oleh [1], [2]. Proses sinkronisasi bisa dilakukan secara manual dan bisa dilakukan secara otomatis. Otomatisasi sinkronisasi generator menggunakan mikrokontroler diusulkan oleh [3]. Sinkronisasi generator pada mikrogrid dilakukan oleh [4], [5] dengan pemodelan menggunakan MATLAB/simulink. Proses dan kriteria sinkronisasi dijabarkan oleh [6]

Pada tulisan ini diusulkan simulasi paralel generator menggunakan GeoGebra. GeoGebra merupakan aplikasi berbasis web yang berhubungan dengan visualisasi matematis dengan mudah dan freeware. Penggunaan GeoGebra untuk simulasi dan visualisasi sistem thyristor dilakukan oleh [7]. Simulasi paralel generator dengan mengubah tegangan, rpm, frekuensi pada generator utama dan perubahan beban berupa perubahan kVAR. Visualisasi terhadap selisih tegangan generator 1 dan tegangan generator 2 serta visualisasi terhadap proses sinkronisasi dibuat dengan menggunakan GeoGebra.

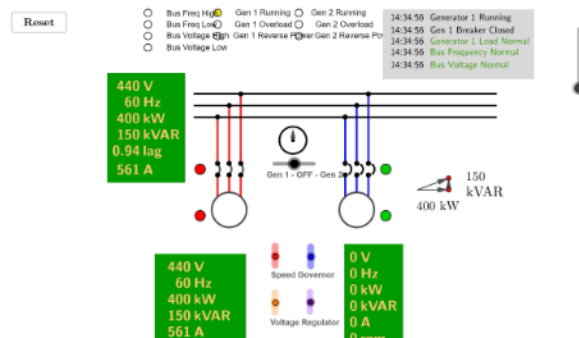
## II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut

1. Simulasi paralel generator dilakukan dengan menggunakan GeoGebra Generator Paralel Simulator oleh William Haynes seperti terlihat pada Gbr 1
2. Mengubah parameter pada generator 1 berupa tegangan, kecepatan Governor
3. Mengubah parameter beban berupa tegangan kVAR, mengamati perubahan arus
4. Membuat visualisasi beda tegangan antara generator 1 dan generator 2
5. Membuat visualisasi untuk indikator sinkron (*synchroscope*) menggunakan GeoGebra
6. Cara paling mudah untuk memenuhi persyaratan format penulisan adalah dengan menggunakan dokumen ini sebagai template. Kemudian ketikkan teks anda ke dalamnya

Proses sinkronisasi dua generator sebagai berikut

1. Tegangan generator dan tegangan bus harus sama
2. Frekuensi generator dan frekuensi bus harus sama
3. Fase frekuensi harus sama
4. Urutan fase yang tepat



Gbr 1. Simulator Paralel Generator

<https://www.geogebra.org/m/vbtjdfdu>

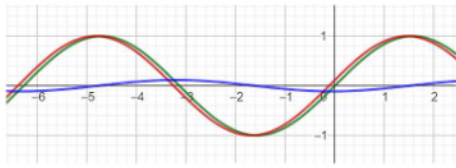
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulator generator paralel menggunakan GeoGebra terdiri dari bagian bus tegangan, generator utama (generator 1) dan generator cadangan (generator 2), breaker untuk menghubungkan generator dengan bus tegangan.

4. Perbandingan bus tegangan dengan tegangan dari generator ditunjukkan pada persamaan berikut

$$\Delta V = V_{bus} - V_{generator}$$

Untuk selisih tegangan yang sangat kecil, selisih tegangan dapat diperbesar seperti terlihat pada Gbr 2



Gbr 2. selisih tegangan generator 1 dengan tegangan generator 2

Perubahan beban dilakukan dengan mengubah tegangan reaktif kVAR untuk mengubah  $\cos(\phi)$  dan terjadi perubahan arus. Perubahan kVAR dapat berupa beban induktif maupun beban kapasitif. Perubahan beban induktif menyebabkan beda fase lagging, sedangkan perubahan beban kapasitif menyebabkan beda fase leading. Generator dengan indikator warna merah berarti sedang aktif, warna hijau berarti tidak aktif. MCB dengan indikator warna merah berarti tersambung, sedangkan warna hijau berarti terputus.

Perhitungan  $\cos(\phi)$  untuk daya reaktif 150kVAR dan daya real 400kW

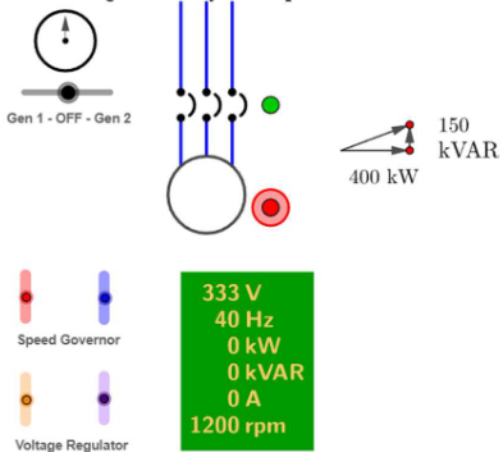
$$\phi = \text{atan}\left(\frac{150\text{kVAR}}{400\text{kW}}\right) = 20,56^\circ$$

$$\text{Cos}(\phi) = \text{cos}(20,56^\circ) = 0,936 \text{ lag}$$

Perhitungan arus

$$\text{Arus} = \frac{\text{Dayareal}}{V \cos(\phi) \sqrt{3}} = \frac{400\text{kW}}{440\text{V} \times 0,936 \times \sqrt{3}} = 560,75\text{A}$$

Nilai awal untuk gen2 ditunjukkan pada Gbr 3 berikut

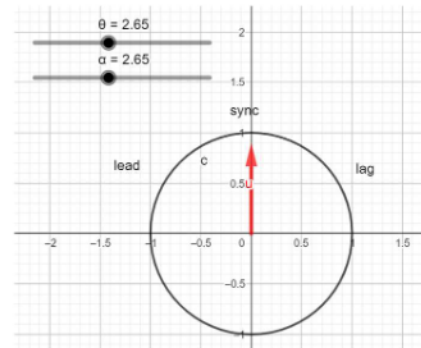


Gbr 3. Nilai awal untuk Generator 2

Saat gen2 diaktifkan, tegangan generator sebesar 333V dengan kenaikan tegangan tergantung dari tuas gov2 dengan nilai min -1 sampai dengan nilai max +1. Nilai frekuensi dari gen2 mula-mula sebesar 40Hz dengan kenaikan 0,1Hz. Kenaikan frekuensi sebagai akibat kenaikan kecepatan generator, nilai kecepatan generator yang diinginkan sebesar 1800 rpm. Setelah

proses sinkronisasi (nilai gen2) sama tegangan, frekuensi dan fase sama barulah Breaker2 dihubungkan.

Visualisasi sinkronisasi frekuensi ditunjukkan pada Gbr 4 dan protokol konstruksi pada GeoGebra ditunjukkan pada Gbr 5



Gbr 4. visualisasi indikator sinkron

<input type="radio"/>	$\theta = 2.65$	:
<input type="radio"/>	0	6.28
<input type="radio"/>	$\alpha = 2.65$	:
<input type="radio"/>	0	6.28
<input type="radio"/>	text1 = "sync"	:
<input type="radio"/>	text2 = "lag"	:
<input type="radio"/>	text3 = "lead"	:
<input type="radio"/>	c : Circle((0, 0), 1)	:
<input type="radio"/>	= $x^2 + y^2 = 1$	:
<input type="radio"/>	u = Vector((0, 0), (0, 90° - (θ - α)))	:
<input type="radio"/>	= $\begin{pmatrix} 0 \\ 0.9 \end{pmatrix}$	:

Gbr 5. Protokol konstruksi untuk indikator sinkronisasi

Bila gen1 dan gen2 sama fasenya maka indikator menunjukkan posisi jam 12, bila gen1 dan gen2 sama frekuensinya namun berbeda fasenya indikator menunjukkan beda fase dan jarum tidak bergerak. Bila Gen1 sebagai acuan dan frekuensi nya lebih besar dari gen 2 maka jarum akan berputar kearah CCW, sedangkan bila gen2 lebih lambat terhadap Gen1 maka jarum akan berputar dengan arah CW.

Peringatan (warning) dan Alarm ditunjukkan pada tabel 1 berikut

TABEL 1. PERINGATAN DAN ALARM UNTUK BERBAGAI KONDISI

keadaan	Keadaan	Indikator
Tegangan > 460V	Terjadi tegangan HIGH	Lampu merah
Tegangan: 420V s/d 460V	Tegangan normal	Lampu hijau
Tegangan < 420V	Tegangan LOW	Lampu kuning
Tegangan < 0	BLACK OUT	Lampu merah
Frekuensi > 55Hz	Alram HIGH !!	Lampu merah
Frekuensi: 51 Hz s/d 55Hz	Warning HIGH	Lampu kuning
Frekuensi: 49 s/d 51Hz	Normal	Lampu hijau
Frekuensi > 55Hz	Warning LOW	Lampu kuning
Frekuensi < 45Hz	Alarm LOW !!	Lampu merah

Pencatatan keadaan sistem.

Keadaan sistem dicatat berdasarkan waktu dan keadaan sistem. Pencatatan sistem dilakukan relaman berisi waktu kejadian, dan peristiwa keadaan sistem. Pada Gbr 6 berikut contoh pencatatan waktu dan keadaan sistem.

```

11:02:06 Bus Voltage Normal
11:02:06 Bus Voltage High!!
11:02:08 Bus Voltage Normal
11:02:08 Bus Voltage Low
11:02:09 Bus Voltage Normal
    
```

Gbr 6. Contoh pencatatan perubahan parameter sistem

Percobaan simulator paralel generator ditunjukkan pada tabel berikut

TABEL I  
HASIL SIMULASI PARALEL GENERATOR

Kondisi bus tegangan	Kondisi generator 1	Generator 2	Keadaan sistem
440V 60Hz 400kW 152kVAR 0,93 lag 561A	440V 60Hz 400kW 152kVAR 0,93 lag 561A 1800rpm	Gen2 = off	Bus tegangan normal
468,3V 60Hz 400kW 96kVAR 0,93 lag 507A	468,3V 60Hz 400kW 96kVAR 0,93 lag 507A 1800rpm	Gen2 = off	Terjadi perubahan beban kVAR berubah  Status : alarm tegangan HIGH
416V 60Hz 400kW 200kVAR 0,89 lag 620A	416V 60Hz 400kW 200kVAR 0,89 lag 620A 1800 rpm	Gen2 = off	Terjadi perubahan beban kVAR berubah  Status : alarm tegangan LOW
0 V 0 Hz 0 kW 0 kVAR 0 lag 0 A	551 V 64 Hz 0 kW 0 kVAR 0 lag 0 A 1800 rpm	440 V 60 Hz 0 kW 0 kVAR 0 lag 0 A 1800 rpm	Terjadi Pemadaman Breaker 1 OFF Breaker 2 OFF Gen2 tidak sinkron dengan Gen1
445.1 V 60 Hz 400 kW 117 kVAR 0,96 lag 541 A	445 V 60 Hz 399 kW 116 kVAR 539 A 1801 rpm	445 V 60 Hz 1 kW 1 kVAR 2 A 1801 rpm	Terjadi sinkronisasi gen1 dan gen2 Gen1 bekerja menanggung 99,6% Gen2 menanggung 0,4%

Pemadaman adalah kondisi ketika pembangkit listrik tidak dapat menghasilkan daya apa pun. Ini adalah kehancuran total jaringan listrik karena ketidakseimbangan antara pembangkit listrik dan konsumsi daya. Di pembangkit listrik, daya

dihasilkan dan dikirim ke *switchyard*, dan akhirnya ke sistem transmisi yang dikenal sebagai jaringan.

#### IV. KESIMPULAN

Simulator generator paralel dapat mensimulasikan sistem dengan dua buah generator yang dipasang secara paralel. Sebelum melakukan hubungan paralel, perlu dilakukan sinkronisasi berupa tegangan, frekuensi, fase dan urutan fase. Setiap perubahan pada sistem akan dicatat waktu dan kejadiannya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan untuk kaprodi Teknik Elektro yang telah mendukung makalah ini untuk di seminarkan di SNTE 2023

#### REFERENSI

- [1] Amin, U., Ahmad, G., Zahoor, S., & Durrani, F. (2014). Implementation of parallel synchronization method of generators for power & cost saving in University of Gujrat. *Energy and Power Engineering*.
- [2] Ranchagoda, N. H., Sankalpana, M. K. S., Arachchi, K. A. S. K., & De Silva, D. S. (2015, October). A Practical Module for Generator Synchronization System. In *2015 IEEE 3rd International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)* (pp. 26-30). IEEE.
- [3] Bekiroglu, E., & Bayrak, A. (2009, May). Automatic synchronization unit for the parallel operation of synchronous generators. In *IEEE EUROCON 2009* (pp. 766-771). Ieee.
- [4] Cho, C., Jeon, J. H., Kim, J. Y., Kwon, S., Park, K., & Kim, S. (2011). Active synchronizing control of a microgrid. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(12), 3707-3719.
- [5] Yan, X., Cui, Y., & Cui, S. (2019). Control method of parallel inverters with self-synchronizing characteristics in distributed microgrid. *Energies*, 12(20), 3871.
- [6] Schaefer, R. C. (2016). Art of generator synchronizing. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53(1), 751-757.
- [7] Ransom, D. L. (2014). Get in step with synchronization. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(6), 4210-4215.
- [8] Suwarno, D. U. (2021, August). Visualization of Rectified Sine Waves and Triggering Angles on Thyristor Using Geogebra. In *Proceeding International Conference on Mathematics and Learning Research* (pp. 62-68).