

**ANALISIS SISTEM SINKRONISASI GENERATOR PADA *BTG-POWER*
PLANT PT. SEMEN TONASA BIRINGKASSI PANGKEP**



SITTI SAKINAH

105 82 005 15 10

RACHMAT HASYIM

105 82 004 71 10

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2015

**ANALISIS SISTEM SINKRONISASI GENERATOR PADA
BTG POWER PLANT PT SEMEN TONASA BIRINGKASSI
PANGKEP**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Listrik Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas
Muhammadiyah Makassar

Disusun dan Diajukan Oleh

RACHMAT HASYIM

SITTI SAKINAH

105820047110

105820051510

PADA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

MAKASSAR

2015



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS SISTEM SINKRONISASI GENERATOR PADA BTG-POWER PLANT PT. SEMEN TONASA BIRINGKASSI PANGKEP**

Nama : Sitti Sakinah
Rachmat Hasyim

Stambuk : 105 82 00515 10
105 82 00471 10

Makassar, 12 Maret 2015

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.

Ir. Abd. Hafid, MT.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro

Umar Katu, ST., MT.

NBM : 990 410



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama Rachmat Hasyim dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 00471 10 dan Sitti Sakinah dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 00515 10, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 332/05/A.5-II/II/36/2015, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu 28 Februari 2015

Makassar, 02 Jumadil Akhir 1436 H
 12 Maret 2015 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. H. Irwan Akib, M.Pd. :

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. -Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME. :

2. Penguji

a. Ketua : Dr. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng. :

b. Sekertaris : Adriani, ST., MT. :

3. Anggota

: 1. Dr. Ir. Indra Jaya Mansur, MT. :

2. Suriyani, ST., MT. :

3. Anugrah, ST., MM. :

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.

Ir. Abd. Hafid, MT.

Ketua Program Studi
 Teknik Elektro

Umar Katu, ST., MT.
 NBM : 990 410

ABSTRAK

Abstrak : Analisis Sistem Sinkronisasi Generator pada BTG Power Plant PT. Semen Tonasa Biringkassi Pangkep. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Pembimbing pertama Zahir Zainuddin, dan pembimbing kedua Abdul Hapid, Paralel generator merupakan salah satu sistem pembangkit energi listrik yang banyak digunakan pada bidang industri. Paralel generator dapat dijalankan karena adanya sistem kontrol dan pengendalian yang mengatur dua atau lebih generator yang akan diparalelkan. Jika generator sinkron dibebani maka akan memberikan sifat yang berbeda sesuai dengan jenis beban yang dipikulnya. Nilai relatif, yaitu nilai selisih antara tegangan dalam keadaan berbeban penuh dengan keadaan tanpa beban biasanya disebut dengan regulasi tegangan. Dengan asumsi regulasi tegangan 5% maka didapatkan beberapa parameter yaitu nilai beban, tegangan tanpa beban, tegangan berbeban, impedansi, arus beban, rugi daya dan efisiensi. Salah satu parameter menunjukkan salah satu generator kurang seimbang.

Kata kunci : Beban, Efisien, Faktor daya, Generator, Regulasi tegangan, Sinkronisasi.



ABSTRACT

Abstract: Analysis of Synchronization System Generator at BTG Power Plant PT. Semen Tonasa Biringkassi Pangkep. Thesis Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Muhammadiyah Makassar, the first Supervisor Zahir Zainuddin, and supervising both Abdul Hapid, Parallel generator is one of the electrical energy generation systems are widely used in industrial fields. Parallel generator can be run because of the controls and control systems that regulate two or more generators to be parallelized. If the synchronous generator loaded it will give different properties according to the type of burden of assuming. Relative value, ie the value of the difference between the voltage in a state of full loaded with state of no-load voltage regulation is usually referred to. Assuming a 5% voltage regulation then obtained some parameter value is the load, no-load voltage, the voltage on load, impedance, current load, power losses and efficiency. One of the parameters indicates one generator less balanced.

Keywords: Load, Efficient, power factor, generators, voltage regulation, Synchronization



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Sang pencipta langit dan bumi serta segala isinya yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta kasih sayang-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lupa pula salawat dan salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah diutus ke bumi sebagai lentara bagi hati manusia, Rasul yang telah membawa manusia dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan pengetahuan yang luar biasa seperti saat ini.

Skripsi yang berjudul "Analisis sistem sinkronisasi generator pada *BTG-POWER PLANT* PT. Semen Tonasa, Biringkassi Pangkep" disusun sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar.

Selama proses penulisan skripsi ini, penulis mengalami beberapa hambatan maupun kesulitan yang terkadang membuat penulis berada di titik terlemah dirinya. Namun adanya doa, restu, dan dorongan dari orang tua yang tak pernah putus menjadikan penulis bersemangat untuk melanjutkan penulisan skripsi ini. Untuk itu dengan segala bakti penulis memberikan penghargaan setinggi-tinggi dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada mereka, Bapak Nur Hasyim, Ibu Nuraeny P, S.Pd, Ibu Karniati, S.H, dan Ibu Hj. Dra. Asriati Rahman. Selanjutnya dengan segala kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Irwan Akib, M. Pd selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, ST,. MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Umar Katu, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Ibu Adriani, ST,. MT selaku Sekretaris Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M. Sc selaku pembimbing I dan Bapak Ir. Abdul Hafid, MT selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam memberikan petunjuk dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ing. Ir Wahyu H. Piarah, MSME selaku pengawas umum pelaksanaan ujian tugas akhir .
7. Bapak/ Ibu dosen Universitas Hasanuddin dan Universitas Muhammadiyah Makassar selaku penguji yang telah memberikan masukan, saran, dan nasehat guna kelengkapan skripsi.
8. Seluruh Bapak/Ibu dosen, laboran, dan pegawai Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar yang telah mencurahkan waktu dan membekali ilmu kepada penulis selama di bangku perkuliahan.

9. Kepala regu departemen pemeliharaan listrik pembangkit Bapak Andi Rahman, ST, dan Bapak Muhadi, Bapak Henri Mulad, ST, Bapak Amran Arifuddin, ST serta seluruh staf PT. Semen Tonasa Pangkep khususnya Bapak Yunus Gaus atas kesediaannya memberikan informasi dan data yang dibutuhkan dan membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
10. Seluruh keluarga besar yang selalu memberikan doa dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan pendidikannya, khususnya Mirnawati Hasyim, amd.f, Muhammad Nirwan Hasyim, Muhammad Asfur Gibran, dan Sitti Karminah.
11. Seluruh teman-teman sepejuangan dan sepenanggungan manuever satu kosong yang selalu menyemangati dan memberikan bantuan serta seluruh kenangan-kenangan terindah selama berada di bangku perkuliahan.
12. Orion yaitu kumpulan makhluk-makhluk yang sangat bersahabat dan memiliki 'sesuatu' yang luar biasa. Berawal dari mengenal kalian, segalanya menjadi lebih berwarna.
13. Tidak lupa kepada seluruh binatang-binatang peliharaan kesayangan yang telah setia menemani dan memberi hiburan oleh tingkah lucunya selama penyusunan skripsi ini, sehingga penulis dapat mengontrol rasa ketidaknyamanan yang dialami.
14. Serta semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Akhirnya penulis menyadari bahwa tak ada gading yang tak retak, begitu juga dengan skripsi ini yang tak luput dari kekurangan. Sehingga dibutuhkan saran dan kritik yang membangun untuk menciptakan karya yang lebih baik lagi dimasa yang akan datang. Semoga Allah SWT menilai ibadah yang penulis kerjakan dan senantiasa membimbing kita ke jalan yang diridhoi-Nya. Amin.

Makassar, Januari 2015

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	
ABSTRAK.....	
DAFTAR ISI.....	
DAFTAR GAMBAR.....	
DAFTAR TABEL.....	
DAFTAR BAGAN.....	
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian.....	2
D. Batasan Masalah.....	3
E. Manfaat Penelitian.....	3
F. Metode Penelitian.....	3
G. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Generator Sinkron.....	5
B. Sinkronisasi Generator.....	16
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	23
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
B. Objek Penelitian.....	23

C. Metode Penelitian.....	23
D. Prosedur kerja.....	24
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
A. Metode Sinkronisasi.....	26
B. Parameter Generator.....	36
BAB V PENUTUP.....	47
A. Kesimpulan.....	47
B. Saran.....	48



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Daya aktif (MW) dan daya reaktif (kVAR) terukur generator A dan generator B.....	36
Tabel 2. Hasil perhitungan nilai beban pada generator A.....	38
Tabel 3. Hasil perhitungan nilai beban pada generator B.....	40
Tabel 4. Tegangan tanpa beban, tegangan berbeban, dan impedansi generator.....	41
Tabel 5. Tegangan tanpa beban generator	43
Tabel 6. Arus beban generator A dan generator B.....	44
Tabel 7. Rugi daya generator A.....	45
Tabel 8. Rugi daya generator B.....	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. (a) Generator sinkron (b) Konstruksi generator sinkron.....	6
Gambar 2. Bentuk-bentuk alur.....	7
Gambar 3. Rotor kutub menonjol.....	8
Gambar 4. Rotor kutub silinder.....	9
Gambar 5. Diagram generator AC tiga fasa dua kutub.....	11
Gambar 6. Urutan fasa ABC.....	11
Gambar 7. Generator sinkron dengan kumparan medan 4 kutub.....	12
Gambar 8. Hubungan seri kumparan jangkar mesin sinkron 4 kutub.....	12
Gambar 9. Grafik sinusoidal antara kecepatan rotor ω dan θ	13
Gambar 10. Tegangan, arus, daya, pada berbagai jenis beban linier.....	14
Gambar 11. Sinkronisasi generator metode lampu hubungan gelap.....	17
Gambar 12. Sinkronisasi generator metode lampu hubungan kombinasi.....	18
Gambar 13. <i>Synchronoscope</i>	18
Gambar 14. <i>Double-voltmeter</i>	19
Gambar 15. <i>Auto-synchronizer</i>	20
Gambar 16. Governor <i>BTG 1 Power Plant PT. Semen Tonasa</i>	21
Gambar 18. Tampilan uji coba menggunakan desain input pada matlab.....	29
Gambar 17. Sinkronisasi generator metode lampu hubung gelap.....	27
Gambar 19. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk fasa R dan U.....	30
Gambar 20. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk fasa S dan V.....	31
Gambar 21. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk fasa T dan W.....	31
Gambar 22. Sinkronisasi generator metode lampu hubung terang gelap.....	32

Gambar 23. Tampilan uji coba menggunakan desain input pada matlab.....	33
Gambar 24. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk fasa R dan U.....	34
Gambar 25. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk fasa T dan V.....	35
Gambar 26d. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk fasa S dan W.....	31
Gambar 27. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk fasa beban generator A.....	39
Gambar 28. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk fasa beban generator B.....	41
Gambar 29. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk fasa cos phi generator A dan generator B.....	41
Gambar 30. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk tegangan tanpa beban pada generator A.....	42
Gambar 31. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk tegangan berbeban pada generator A.....	42
Gambar 32. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk impedansi pada generator A.....	43
Gambar 33. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk tegangan tanpa beban pada generator B.....	44
Gambar 34. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk tegangan berbeban pada generator B.....	44
Gambar 35. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk impedansi pada generator B.....	44
Gambar 36. Hasil <i>run</i> pada program matlab untuk arus beban pada generator A dan generator B.....	45

Gambar 37. Hasil *run* pada program matlab untuk rugi daya pada generator
A.....46

Gambar 38. Hasil *run* pada program matlab untuk rugi daya pada generator
B.....47

Gambar 39. Hasil *run* pada program matlab untuk efesiensi pada generator A
dan generator B.....47



DAFTAR BAGAN

Diagram penelitian.....6



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri dan perusahaan yang melayani pengolahan dan penjualan suatu produk baik berupa barang jadi atau barang setengah jadi, membutuhkan kemampuan sumber daya manusia yang memadai dan penggunaan mesin yang optimal untuk mengolahnya. Hal ini dimaksudkan agar target produksi suatu industri dan perusahaan dapat terpenuhi, sehingga industri tersebut dapat berjalan dengan lancar dan berkesinambungan. Untuk menggerakkan mesin-mesin yang ada di dalam industri juga umumnya memanfaatkan sumber pembangkit sendiri karena keterbatasan perusahaan listrik negara dalam menyediakan suplai energi. Salah satu industri yang menggunakan sumber pembangkit listrik sendiri sebagai suplai listriknya adalah pabrik semen, yang produksi pengolahannya semakin hari semakin meningkat.

PT. Semen Tonasa adalah produsen semen terbesar di Kawasan Timur Indonesia. Mengingat keberhasilan suatu proses pengolahan di suatu pabrik tidak terlepas dari peran mesin-mesin pengolahan, maka untuk memperlancar proses pengolahan tersebut mesin-mesin pengolahan tersebut harus didukung oleh pengadaan daya listrik yang sesuai dengan kebutuhannya. Listrik yang merupakan salah satu energi penggerak mesin-mesin di suatu industri dibangkitkan oleh generator listrik.

Generator listrik atau alternator merupakan sebuah dinamo besar yang berfungsi sebagai pembangkit listrik. Generator listrik ini mengubah energi

kinetik menjadi energi listrik. Bila suatu generator mendapatkan pembebanan yang melebihi dari kapasitasnya, maka dapat mengakibatkan generator tersebut tidak bekerja atau bahkan akan mengalami kerusakan. Untuk mengatasi kebutuhan listrik atau beban yang terus meningkat tersebut, bisa diatasi dengan menjalankan generator lain yang kemudian dioperasikan secara paralel dengan generator yang telah bekerja sebelumnya, pada satu jaringan listrik yang sama. Keuntungan dari memparalelkan dua generator atau lebih dalam suatu jaringan listrik adalah bila salah satu generator tiba-tiba mengalami gangguan, maka generator tersebut dapat dihentikan serta beban dialihkan pada generator lain, sehingga pemutusan listrik secara total bisa dihindari.

Atas dasar uraian inilah penulis tertarik untuk membahas proses sinkronisasi alternator pada pembangkit listrik tenaga uap pabrik semen PT. Semen Tonasa Biringkassi Pangkep, dan diwujudkan dalam karya akhir yang diberi judul ANALISIS SISTEM SINKRONISASI GENERATOR PADA *BTG-POWER PLANT* PT.SEMEN TONASA BIRINGKASSI PANGKEP.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana menganalisa metode sinkronisasi generator ?
2. Bagaimana menentukan parameter generator berdasarkan regulasi tegangan?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut :

1. Menjelaskan metode sinkronisasi dua unit generator pada *BTG 1 POWER PLANT* PT. Semen Tonasa.
2. Menjelaskan parameter sinkron berdasarkan regulasi tegangan.

D. Batasan Masalah

Penulis membatasi penelitian ini yaitu sistem sinkronisasi generator antara generator unit A dan generator unit B pada pembangkit listrik tenaga uap *BTG 1 POWER PLANT* PT. Semen Tonasa, Biringkassi Pangkep yang berkapasitas 2 x 25 MW.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat memilih metode sinkronisasi generator yang terbaik demi tercapainya tujuan dari pelaksanaan sinkronisasi terhadap generator.
2. Dapat menentukan parameter sinkron berdasarkan pembebanan generator.

F. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah studi penelitian berupa evaluasi data dan peninjauan langsung pada pembangkit listrik tenaga uap PT. Semen Tonasa, Biringkassi Pangkep. Selain itu digunakan pula tinjauan pustaka yang dapat memberikan landasan teori yang berhubungan dengan penulisan tugas akhir.

G. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan membahas dan memahami tugas akhir ini maka penulis membagi menjadi lima bab, yaitu sebagai berikut :

1. BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan dimaksudkan untuk mengantar pembaca memasuki uraian-uraian tentang masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini, yang memuat tujuh sub bab yaitu latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada penulisan bab ini membahas teori-teori pokok tentang analisis sistem sinkronisasi generator.

3. BAB III METODELOGI PENELITIAN

Pada penulisan bab ini mengemukakan tentang metode-metode analisis yang terdiri dari sub bab yaitu waktu dan penelitian, objek penelitian, metode penelitian, dan prosedur kerja.

4. BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penulisan bab ini memaparkan hasil-hasil analisis dari kedua rumusan masalah yang ada.

5. BAB V PENUTUP

Merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan, kemudian berisi saran dari penulis yang sifatnya membangun.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

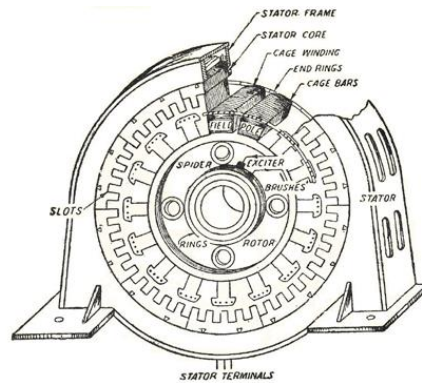
A. Generator Sinkron

Generator sinkron dengan definisi sinkronnya, mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut. Rotor generator sinkron yang diputar dengan penggerak mula (prime mover) yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang sama dengan putaran rotor tersebut.

Generator sinkron sering kita jumpai pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik (dengan kapasitas yang relatif besar). Misalnya, pada PLTA, PLTU, PLTD dan lain-lain. Selain generator dengan kapasitas besar, kita mengenal juga generator dengan kapasitas yang relatif kecil, misalnya generator yang digunakan untuk penerangan darurat yang sering disebut Generator Set atau generator cadangan.

Generator sinkron mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik secara elektromagnetik. Energi mekanik berasal dari penggerak mula yang memutar rotor, sedangkan energi listrik dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan-kumparan stator.

Pada Gambar 1.(b) dapat dilihat bentuk penampang sederhana dari sebuah generator sinkron.



Gambar 1. (a) Generator sinkron PT. Semen Tonasa, (b) Konstruksi generator sinkron

Secara umum generator sinkron terdiri atas stator, rotor, dan celah udara. Stator merupakan bagian dari generator sinkron yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang berputar dimana diletakkan kumparan medan yang disuplai oleh arus searah dari Eksiter. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor.

- Stator

Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu :

- ✓ Rangka stator

Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang menyangga inti jangkar generator

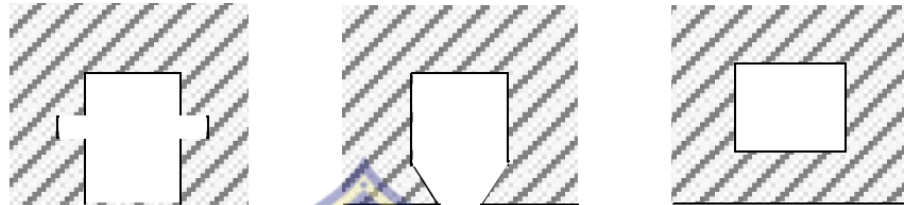
- ✓ Inti Stator

Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus yang terpasang ke rangka stator.

- ✓ Alur (slot) dan Gigi

.Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada 3 (tiga) bentuk alur stator yaitu terbuka, setengah terbuka, dan tertutup.

Ketiga bentuk alur (slot) tersebut tampak seperti pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Bentuk-bentuk alur

- Rotor

Rotor terdiri dari tiga komponen utama, yaitu :

- ✓ Slip ring

Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasangkan ke slip ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (brush) yang letaknya menempel pada slip ring.

- ✓ Kumparan rotor

Kumparan medan merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu.

- ✓ Poros rotor

Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros rotor tersebut telah terbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa salient pole (kutub menonjol) dan non salient pole (kutub silinder).

a. Jenis kutub menonjol (Salient pole)

Pada jenis salient pole, kutub magnet menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan medannya dihubungkan seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh Eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan. Bentuk kutub menonjol generator sinkron tampak seperti pada Gambar 3. berikut :



Gambar 3. Rotor kutub menonjol

Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar rendah dan sedang (120-400 rpm). Generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah dan sedang karena :

- ✓ Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik yang baik pada kecepatan putar tinggi.
- ✓ Distribusi di sekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.

b. Jenis kutub silinder (Non salient pole)

Pada jenis non salient pole, konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor. Jenis rotor ini terbuat dari baja tempa halus yang berbentuk silinder yang mempunyai alur-alur terbuat di sisi luarnya. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur di sisi luarnya dan terhubung seri yang dienerjais oleh Eksiter. Gambaran bentuk kutub silinder generator sinkron tampak seperti pada Gambar

4. berikut :



Gambar 4. Rotor kutub silinder

Rotor silinder umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar tinggi (1500 atau 3000 rpm) seperti yang

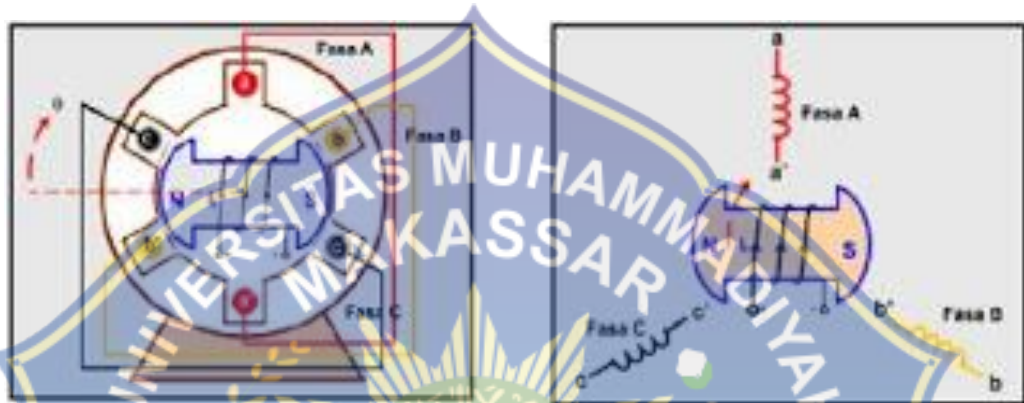
terdapat pada pembangkit listrik tenaga uap. Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan putar tinggi karena :

- ✓ Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik yang baik pada kecepatan putar tinggi.
- ✓ Distribusi di sekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.

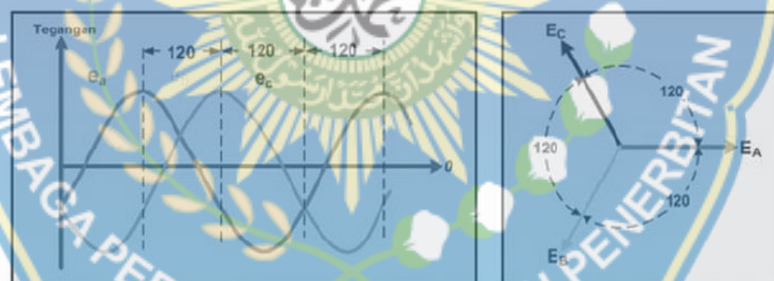
Adapun prinsip kerja dari generator sinkron secara umum adalah sebagai berikut :

- Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
- Penggerak mula (Prime Mover) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
- Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut

Untuk generator sinkron tiga fasa, digunakan tiga kumparan jangkar yang ditempatkan di stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang besarnya sama tapi berbeda fasa 120° satu sama lain.



Gambar 5. Diagram generator AC tiga fasa dua kutub

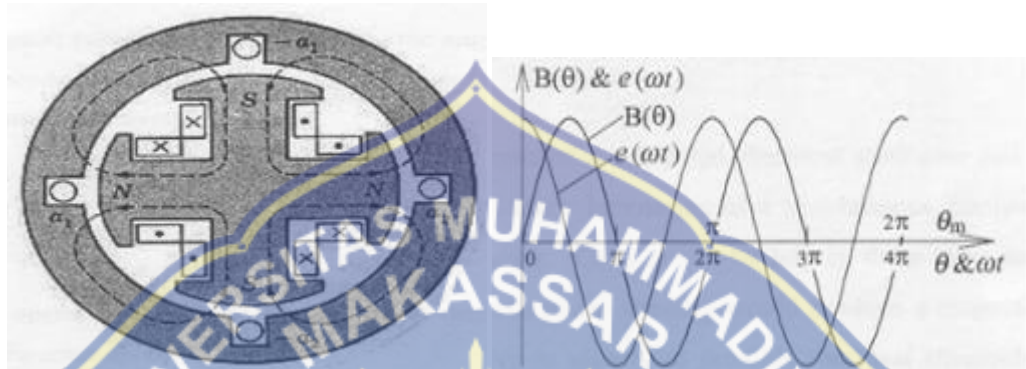


Gambar 6. Urutan fasa ABC

Dalam ruang sekitar keliling celah udara seperti diperlihatkan pada kumparan $a - a'$, $b - b'$ dan $c - c'$ pada gambar 2. Masing-masing lilitan akan menghasilkan gelombang Fluksi sinus satu dengan lainnya berbeda 120° listrik. Dalam keadaan seimbang besarnya fluksi sesaat

Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar siap dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik.

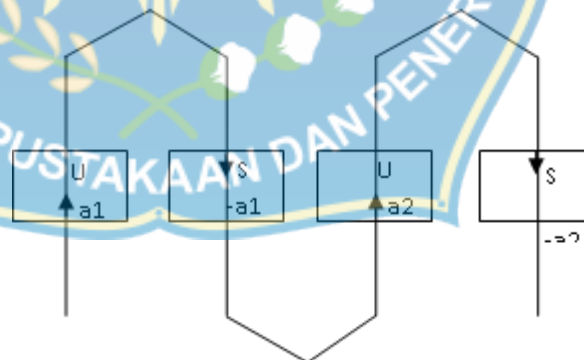
Suatu generator sinkron dengan kumparan medan 4 kutub, kumparan jangkarnya terdiri atas 2 kumparan yaitu $a_1, -a_1$ dan $a_2, -a_2$ seperti tampak pada gambar kedua kumparan tersebut bila dihubungkan secara seri akan berbentuk seperti gambar



(a)

(b)

Gambar 7. Generator sinkron dengan kumparan medan 4 kutub.



Gambar 8. Hubungan seri kumparan jangkar mesin sinkron 4 kutub.

Kerapatan fluks B yang ditimbulkan akibat berputarnya kumparan medan akan berbentuk sinusoida terhadap ruang (sebagai fungsi ruang, bukan sebagai fungsi waktu). Sehingga distribusi fluks B terhadap ruang digambarkan terlihat pada gambar 8



Gambar 9. Grafik sinusoidal antara kecepatan rotor ω dan θ .

Pada mesin empat kutub seperti pada gambar 1.2, terlihat bahwa setiap satu kali putaran mesin, tegangan induksi yang di timbulkan sudah menyelesaikan dua siklus penuh, atau dengan kata lain 360° perputaran mekanik sama dengan 720° perputaran listrik.

Ketika generator beroperasi tidak semua daya yang dihasilkannya dapat dimanfaatkan, maka daya tersebut terbagi dua yaitu daya termanfaatkan (daya aktif), dan daya tidak termanfaatkan (daya reaktif). Selain dari pada itu terdapat juga daya semu yang merupakan penjumlahan vektor dari daya aktif dan daya reaktif.

$$S = P + jQ$$

Dimana,

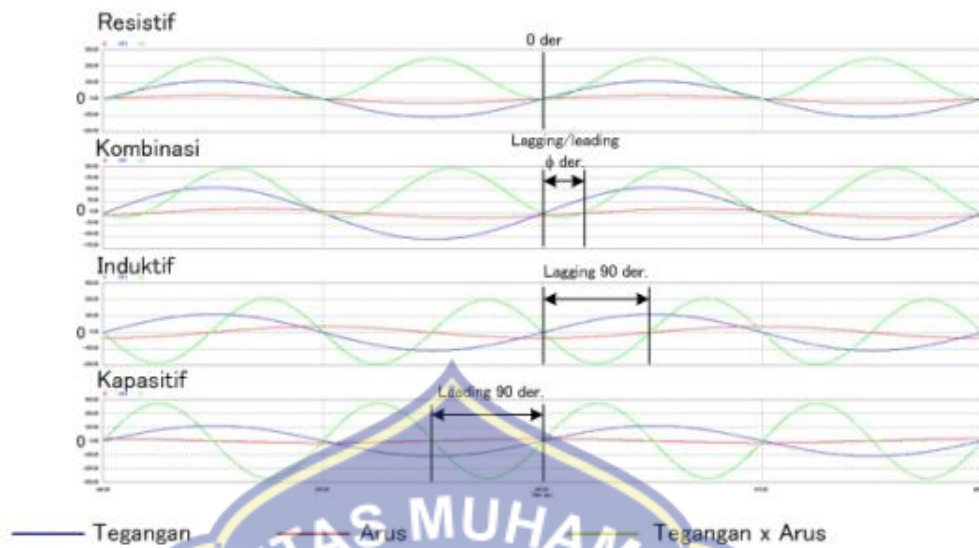
S : Daya semu

P : Daya aktif

Q : Daya reaktif

Istilah faktor daya atau *power factor* (PF) atau *cos phi* merupakan sistem listrik menggunakan sumber tegangan berbentuk sinusoidal murni dan beban linier. Beban linier adalah beban yang menghasilkan bentuk arus sama dengan bentuk tegangan. Sumber tegangan berbentuk sinusoidal murni, beban linier mengakibatkan arus yang mengalir pada jaringan juga berbentuk sinusoidal murni. Beban linier dapat diklasifikasikan menjadi 4 macam, yaitu

1. Beban resistif, dicirikan dengan arus yang sefasa dengan tegangan.
2. Beban induktif, dicirikan dengan arus yang tertinggal terhadap tegangan sebesar 90° .
3. Beban kapasitif, dicirikan dengan arus yang mendahului terhadap tegangan sebesar 90° .
4. Beban yang merupakan kombinasi dari tiga jenis tersebut, dicirikan dengan arus yang tertinggal/mendahului tegangan sebesar sudut, katakan, ϕ .



Gambar 10. Tegangan, arus, daya, pada berbagai jenis beban linier

Seperti kita tahu, pada listrik, daya bisa diperoleh dari perkalian antara tegangan dan arus yang mengalir. Pada sistem AC dimana tegangan dan arus berbentuk sinusoidal, perkalian antara keduanya akan menghasilkan daya tampak (*apparent power*), satuan *volt-ampere* (VA) yang memiliki dua buah bagian. Bagian pertama adalah daya yang dimanfaatkan oleh konsumen, bisa menjadi gerakan pada motor, bisa menjadi panas pada elemen pemanas, dan lain-lain, daya yang dimanfaatkan ini sering disebut sebagai daya aktif (*real power*) memiliki satuan watt (W) yang mengalir dari sisi sumber ke sisi beban bernilai rata-rata tidak nol. Bagian kedua adalah daya yang tidak dimanfaatkan oleh konsumen, namun hanya ada di jaringan, daya ini sering disebut dengan daya reaktif (*reactive power*) memiliki satuan *volt-ampere-reactive* (VAR) bernilai rata-rata nol. Beban bersifat resistif hanya mengonsumsi daya aktif, beban bersifat induktif hanya mengonsumsi daya reaktif, dan beban bersifat kapasitif hanya memberikan daya reaktif.

Rasio besarnya daya aktif (P) yang bisa kita manfaatkan terhadap daya tampak (S) yang dihasilkan sumber inilah yang disebut sebagai faktor daya ($\cos \phi$). Antara S dan P dipisahkan oleh sudut ϕ , yang merupakan sudut yang sama dengan sudut ϕ antara tegangan dan arus yang telah disebutkan di awal. Rasio antara P dengan S tidak lain adalah nilai cosinus dari sudut ϕ . Apabila mengupayakan untuk membuat sudut ϕ semakin kecil maka S akan semakin mendekat ke P artinya besarnya P akan mendekati besarnya S. Pada kasus ekstrim dimana $\phi = 0^\circ$, $\cos \phi = 1$, $S = P$ artinya semua daya tampak yang diberikan sumber dapat kita manfaatkan sebagai daya aktif, sebaliknya $\phi = 90^\circ$, $\cos \phi = 0$, $S = Q$ artinya semua daya tampak yang diberikan sumber tidak dapat kita manfaatkan dan menjadi daya reaktif di jaringan saja.

Adapun formulasi untuk faktor daya ($\cos \phi$) tersebut adalah :

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

Dimana : P = Daya aktif (MW)

S = Daya reaktif (MVA)

B. Sinkronisasi Generator

Generator dapat dihubungkan secara parallel untuk (1) meningkatkan kapasitas keluaran dari suatu system melebihi apa yang didapat dari satu unit, (2) berfungsi sebagai daya cadangan tambahan untuk permintaan yang suatu ketika bertambah, atau (3) untuk pemadaman satu mesin dan penyalaan mesin standby tanpa adanya pemutusan aliran daya.

Generator dikatakan sinkron jika memenuhi kondisi berikut :

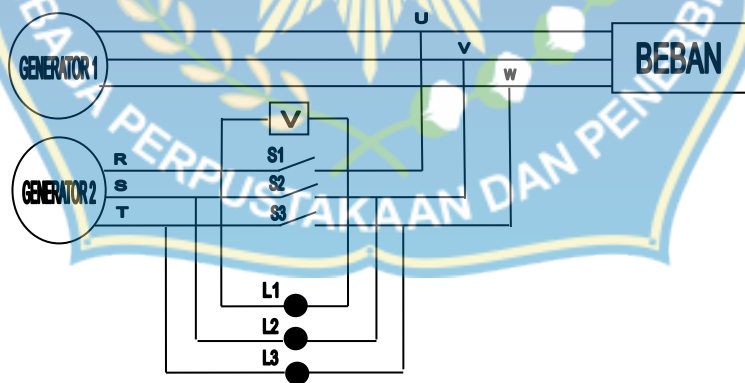
- (1) Tegangan terminal yang sama. Diperoleh dengan menyetel kekuatan medan bagi generator yang hendak masuk ke dalam rangkaian (disambungkan).
- (2) Frekuensi yang sama. Diperoleh dengan menyetel kecepatan prime mover dari generator yang hendak disambungkan.
- (3) Urutan fasa tegangan yang sama.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk memparalelkan generator dengan mengacu pada syarat-syarat sinkronisasi generator, yaitu :

- (1) Sinkronisasi generator metode lampu cahaya gelap
- (2) Sinkronisasi generator metode lampu cahaya gelap terang
- (3) Metode autosynroscope

Adapun penjelasan dari metode-metode paralelisasi tersebut di atas adalah :

1. Metode sinkronisasi lampu hubung gelap

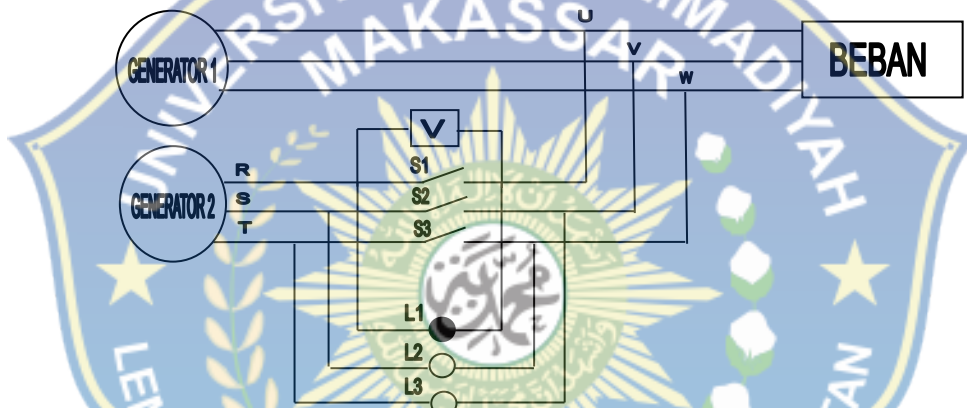


Gambar 11. Sinkronisasi generator metode lampu hubung gelap.

Dalam metode ini, prinsipnya ialah menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu R dengan U, S dengan V, T dengan W seperti yang terlihat pada

gambar. Masing-masing fasa yang terhubung dipasangkan lampu yaitu L1, L2, L3. Sebuah voltmeter dipasang untuk memantau tegangan pada L1. Jika rangkaian paralel benar (urutan fasa yang sama) maka lampu L1, L2, dan L3 akan gelap secara bersamaan dan voltmeter menunjukkan angka 0 volt. Pada saat lampu menyala terang maka beda fasanya besar, dan jika lampunya redup maka beda fasanya kecil. Bila kedua generator tersebut sudah mencapai sinkron selanjutnya saklar ditutup.

2. Metode lampu sinkronisasi hubung terang gelap



Gambar 12. Sinkronisasi generator metode lampu hubung terang gelap

Dalam metode ini, prinsipnya ialah dengan menghubungkan satu fasa dan dua fasa yang berlainan, yaitu fasa R dengan U, fasa S dengan W, dan fasa T dengan V seperti satu lampu gelap dan dua lampu lainnya terang. Dengan kata lain, jika rangkaian paralel benar (urutan fasanya sama), maka lampu L1, L2, dan L3 akan terang gelap dengan frekuensi $F_{G1}-F_{G2}$. Apabila ketiga lampu sudah tidak berkedip lagi (L2 dan L3 terang) dan lampu L1 padam berarti $F_{G1}=F_{G2}$ dan $E_1=E_2$.

3. Metode sinkronisasi generator dengan cara otomatis



Gambar 13. *Synchronoscope*

Metode sinkronisasi generator dengan cara otomatis dapat menggunakan *synchronoscope* atau *automatic Synchronizer*.

Secara praktis, suatu instrumen yang dinamakan *synchronoscope* digunakan untuk mengukur perbedaan sudut fasa antara dua generator yang diparalelkan. *Double-voltmeter* juga digunakan untuk memastikan tegangan kedua generator tersebut



Gambar 14. *Double-voltmeter*

Posisi jarum penunjuk *synchronoscope*, yang mengindikasikan perbedaan sudut fasa antara tegangan kedua generator yang diparalelkan, akan berada pada posisi vertikal atau berada pada posisi pukul 12.00 jika perbedaan fasa antara keduanya bernilai nol.

Kecepatan rotasi jarum penunjuk mengindikasikan perbedaan frekwensi dari dua tegangan. Jarum penunjuk akan berotasi pada arah *slow* ketika salah satu generator lebih rendah. Sebaliknya, jarum penunjuk akan berotasi pada arah *fast* ketika salah satu frekwensi generator lebih tinggi dari pada yang lain.

Dalam realisasinya, *synchronizing breaker* ditutup ketika posisi jarum penunjuk sedikit berada pada arah *fast*, yaitu ketika frekwensi salah satu generator yang diparalelkan sedikit, untuk memberikan waktu bagi penutupan *breaker* dan memastikan generator tidak berperilaku sebagai motor sesaat setelah *breaker* ditutup.



Gambar 15. *Auto-synchronizer* T45000

Pada metode sinkronisasi generator otomatis dengan menggunakan *automatic synchronizer* yaitu *automatic synchronizer* mulai menutup breaker generator ketika nilai tegangan, selisih frekuensi, dan perbedaan

fasa berada dalam batas nilai yang telah ditentukan. Setelah nilai input diperoleh, *automatic synchronizer* akan mengolah sinyal melalui modul *voltage matching* untuk pengolahan sinyal tegangan dan modul *frequency matching* untuk sinyal frekuensi. Jika masih terdapat selisih tegangan pada keluaran generator dengan tegangan bus maka *voltage matching* akan memberikan sinyal pada AVR untuk mengatur penguatan pada generator agar tegangan yang dihasilkan generator bisa mendekati atau sama dengan nilai tegangan pada bus. Jika masih ada selisih frekuensi, maka *frequency matching* akan memberikan sinyal ke *speed set point* untuk mengatur bukaan *main stop valve* agar putaran turbin konstan 3000 rpm sehingga didapat frekuensi generator yang sama antara kedua generator yaitu 50 Hz.

Adapun prosedur pembagian beban operasi generator secara paralel yaitu pasokan listrik ke beban dimulai dengan menhidupkan satu generator, kemudian secara sedikit demi sedikit beban dimasukkan sampai dengan kemampuan generator tersebut, selanjutnya menhidupkan lagi generator berikutnya dan memparalelkan dengan generator pertama untuk memikul beban yang lebih besar lagi. Saat generator kedua diparalelkan dengan generator pertama yang telah memikul beban diharapkan terjadinya pembagian beban yang semula ditanggung generator pertama, sehingga terjadi kerjasama yang meringankan sebelum beban selanjutnya dimasukkan.

Seberapa besar pembagian beban yang ditanggung oleh masing-masing generator yang bekerja paralel akan tergantung jumlah masukan bahan bakar dan jumlah (entalpi) uap ke turbin uap.



Gambar 16. Governor *BTG 1 Power Plant* PT. Semen Tonasa

Jumlah masukan bahan bakar, uap air ini diatur oleh peralatan atau katup yang digerakkan governor yang menerima sinyal dari perubahan frekwensi listrik yang stabil pada 50 Hz, yang ekuivalen dengan perubahan putaran (rpm) mesin penggerak utama generator listrik. Bila beban listrik naik maka frekwensi akan turun, sehingga governor harus memperbesar masukan (uap air) ke mesin penggerak utama untuk menaikkan frekwensinya sampai dengan frekwensi listrik kembali ke normalnya. Sebaliknya bila beban turun, governor mesin-mesin pembangkit harus mengurangi masukan uap air ke mesin-mesin penggerak sehingga putarannya turun sampai putaran normalnya atau frekwensi kembali normal pada 50 Hz. Bila tidak ada governor maka mesin-mesin penggerak utama generator akan mengalami *overspeed* bila beban turun mendadak atau akan mengalami *overload* bila beban listrik naik.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

a. Waktu

Pembuatan tugas akhir ini dilaksanakan selama 3 bulan, mulai dari Januari 2015 sampai Maret 2015.

b. Tempat

Penelitian dilaksanakan di departemen pemeliharaan listrik pembangkit *BTG-POWER PLANT* PT. Semen Tonasa.

B. Objek Penelitian

Obyek penelitian dilaksanakan dengan memusatkan pada sinkronisasi dua unit generator *BTG-POWER PLANT* PT. Semen Tonasa Biringkassi Pangkep.

Penelitian terhitung mulai dari Januari 2015 sampai Maret 2015 bertempat di Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Semen Tonasa Biringkassi Pangkep.

C. Metode Penelitian

Dalam bab ini akan diuraikan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian. Metode penelitian pada dasarnya merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu.

Metode penelitian dalam penelitian ini menggunakan studi penelitian berupa evaluasi data dan peninjauan langsung pada pembangkit listrik tenaga uap PT. Semen Tonasa, Biringkassi Pangkep, tepatnya pada departemen pemeliharaan listrik pembangkit. Selain itu digunakan pula tinjauan pustaka

yang dapat memberikan landasan teori yang berhubungan dengan sinkronisasi generator.

D. Prosedur kerja

Tahap pengumpulan data dan analisis

a. Stadi pustaka

a.1. Mempelajari sistem penyinkronisasian generator pada *BTG POWER PLANT* PT. SEMEN TONASA, baik *BTG 1* maupun *BTG 2*.

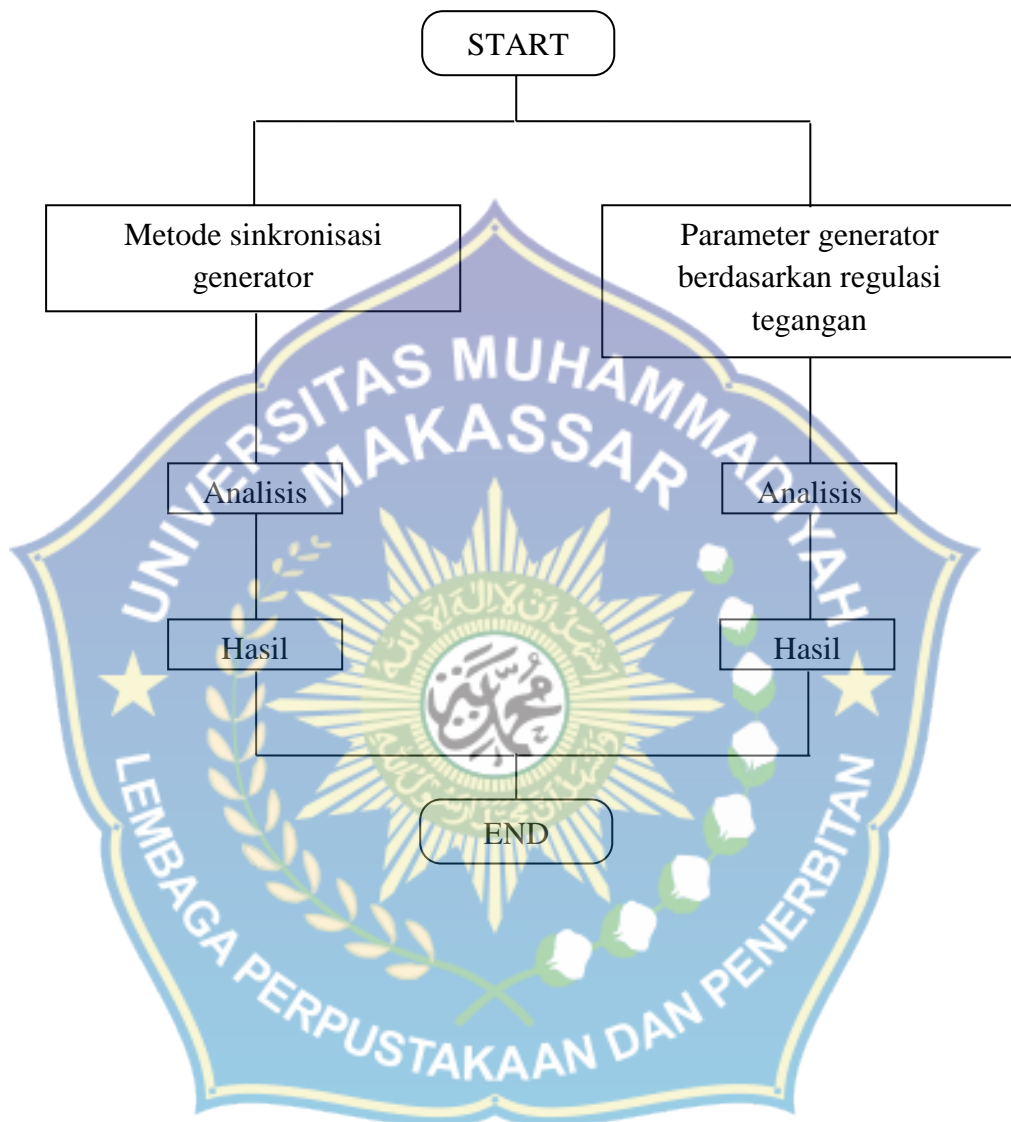
a.2 Melakukan pengamatan pada peralatan yang berperan penting dalam kesuksesan proses sinkronisasi pada generator.

b. Tahap analisis

b.1. Menganalisa sistematika kerja beberapa alat yang berperan penting dalam proses sinkronisasi kedua unit alternator pada *BTG 2 POWER PLANT* PT. Semen Tonasa.

b.2. Memformulasi data secara manual yang ada pada departemen pemeliharaan listrik pembangkit dan departemen pemeliharaan instrumen pembangkit berupa data output generator pada beberapa waktu kemudian menyesuaikan dengan teori yang ada.

Diagram penelitian



BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Metode Sinkronisasi

Dua generator yang diteliti memiliki spesifikasi yang sama yaitu antara generator unit a dan unit b. Adapun spesifikasinya sebagai berikut :

Tipe : QF – 25 – 2W

Tegangan : 6300 V

Faktor daya ($\cos \varphi$) : 0,8

Tegangan Eksitasi : 180 V

Kelas Isolasi : F

Standar : 6 B – 7064 - 86

Arus : 2860 A

Frekwensi : 50 Hz

Hubungan kumparan stator : Y

Putaran : 3000 rpm

Arus eksitasi : 372 A

Berat : 70.000 Kg

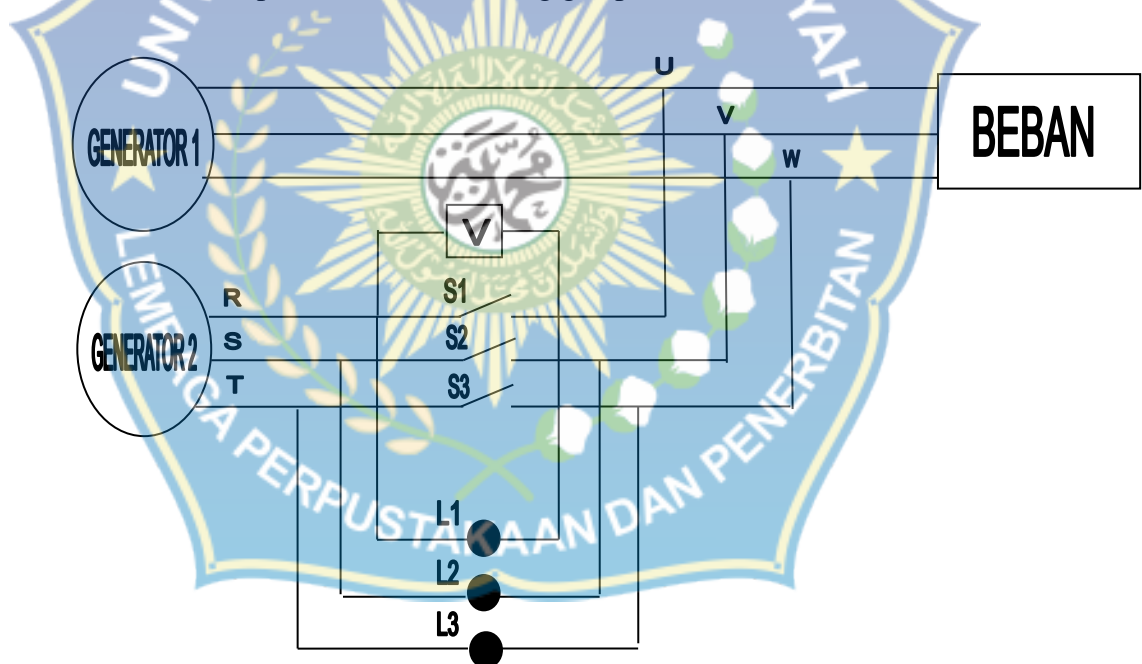
No. Seri : 940 1001

Tanggal : 4 - 1995

Item No : J O 301

Metode yang digunakan pada PLTU PT. Semen Tonasa yaitu metode sinkronisasi otomatis dan metode sinkronisasi manual. Adapun mengkhusus pada sinkronisasi generator unit A dan generator unit B adalah metode sinkronisasi manual menggunakan *synchronoscope*. Secara manual tanpa menggunakan *synchronoscope* untuk mengetahui keadaan telah sinkron pada pengoperasian paralel antar generator sinkron yaitu dengan menggunakan :

1. Metode lampu sinkronisasi hubung gelap



Gambar 17. Sinkronisasi generator metode lampu hubung gelap.

Diketahui : $V_{G1} = 6,3 \text{ kV}$

$V_{G2} = 6,3 \text{ kV}$

$F_{G1} = 50 \text{ Hz}$

$$F_{G2} = 50 \text{ Hz}$$

Urutan fasa G1 = UVW

Urutan fasa G2 = RST

Jika tegangan generator G1

$$U = |U| \angle \theta_1$$

$$V = |V| \angle \theta_2$$

$$W = |W| \angle \theta_3$$

Tegangan generator G2

$$R = |R| \angle \theta_1$$

$$S = |S| \angle \theta_2$$

$$T = |T| \angle \theta_3$$

Kondisi sinkron terjadi jika sudut tegangan generator G1 berlawanan dengan sudut tegangan generator G2, yaitu untuk kawat fasa R

$$R = |R| \angle \theta_1$$

$$R = -|U| \angle \theta_1 = 1 \angle 180^\circ |U| \angle \theta_1$$

$$R = |U| \angle \theta_1 + 180^\circ$$

Jadi $\theta_1 = \theta_1 + 180^\circ$

$$\theta_2 = \theta_2 + 180^\circ$$

$$\theta_3 = \theta_3 + 180^\circ$$

Tegangan generator G1

$$U = 6,3 \angle 0^\circ \text{ KV}$$

$$V = 6,3 \angle 240^\circ \text{ KV}$$

$$W = 6,3 \angle 120^\circ \text{ KV}$$

Tegangan generator G2

$$R = 6,3 \angle \theta_1 \text{ KV}$$

$$S = 6,3 \angle \theta_2 \text{ KV}$$

$$T = 6,3 \angle \theta_3 \text{ KV}$$

$$\theta_1 = 0^\circ + 180^\circ$$

$$\theta_2 = 240^\circ + 180^\circ = 420^\circ = 60^\circ$$

$$\theta_3 = 120^\circ + 180^\circ = 300^\circ = -60^\circ$$

Pengujian pada program matlab dengan memasukkan input $\frac{1}{2}$ siklus, yaitu:



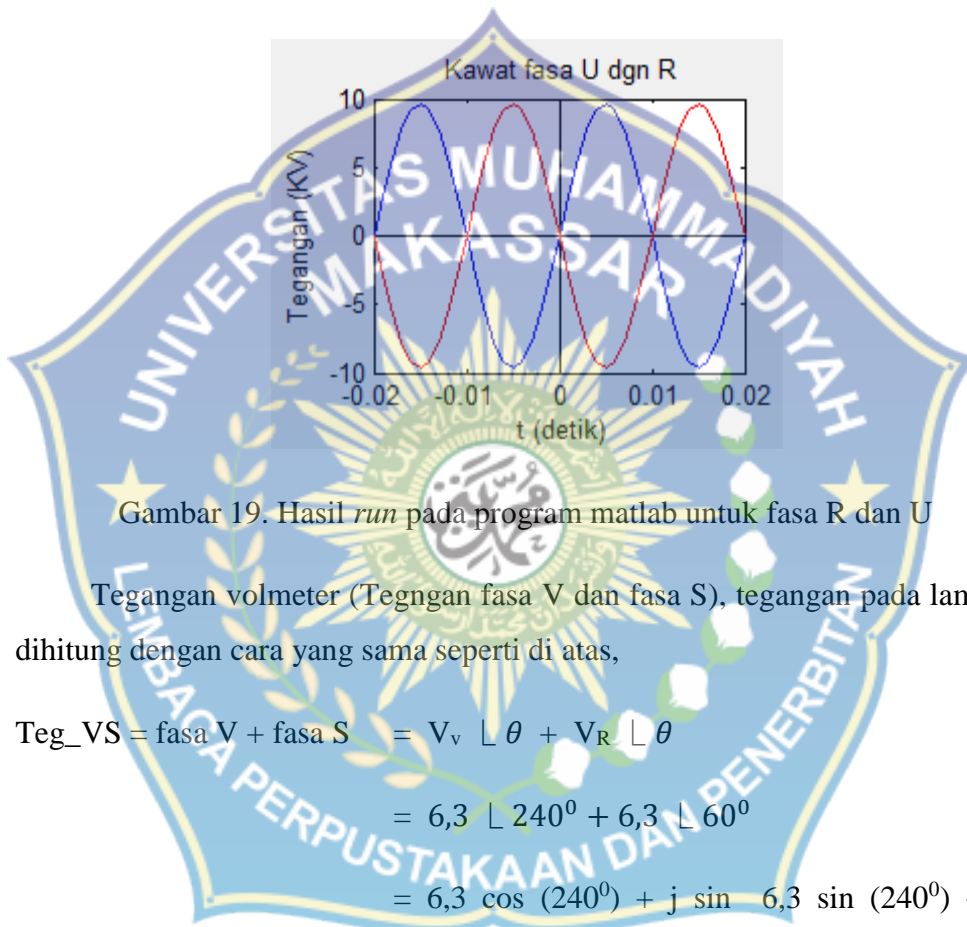
Gambar 18. Tampilan uji coba menggunakan desain input pada matlab

Tegangan Voltmeter (Tegangan fasa U dan fasa R), tegangan pada lampu L1

$$\begin{aligned} \text{Teg}_{UR} &= \text{fasa U} + \text{fasa R} = V_u \angle \theta + V_R \angle \theta \\ &= 6,3 \angle 0^\circ + 6,3 \angle 180^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 6,3 \cos (0^{\circ}) + 6,3 \cos (180^{\circ}) \\
&= 6,3 - 6,3 \text{ KV} \\
&= 0
\end{aligned}$$

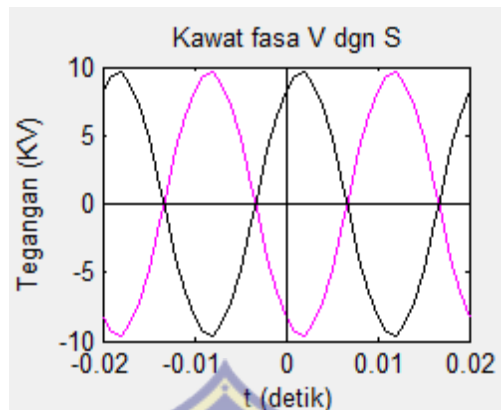
Pada saat program di-run maka akan muncul keadaan tegangan kedua generator yang berbeda fasa sejauh 180° :



Gambar 19. Hasil run pada program matlab untuk fasa R dan U

Tegangan volmeter (Tegangan fasa V dan fasa S), tegangan pada lampu L2 dihitung dengan cara yang sama seperti di atas,

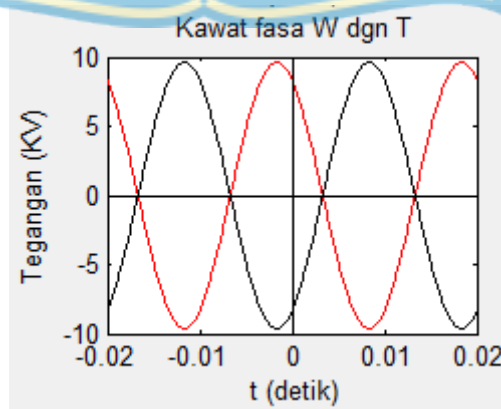
$$\begin{aligned}
\text{Teg}_{VS} &= \text{fasa V} + \text{fasa S} = V_v \angle \theta + V_R \angle \theta \\
&= 6,3 \angle 240^{\circ} + 6,3 \angle 60^{\circ} \\
&= 6,3 \cos (240^{\circ}) + j \sin 6,3 \sin (240^{\circ}) + 6,3 \cos(60^{\circ}) + j \sin 6,8 \sin (60^{\circ}) \\
&= 6,3 (-0,5) - j 6,3 (\frac{1}{2}) \sqrt{3} + 6,3(0,5) + j 6,3 (\frac{1}{2}) \sqrt{3} \\
&= 0
\end{aligned}$$



Gambar 20. Hasil *run* pada program matlab untuk fasa S dan V

Tegangan voltmeter (fasa W dan fasa T), tegangan pada lampu L3 dihitung dengan cara yang sama seperti di atas.

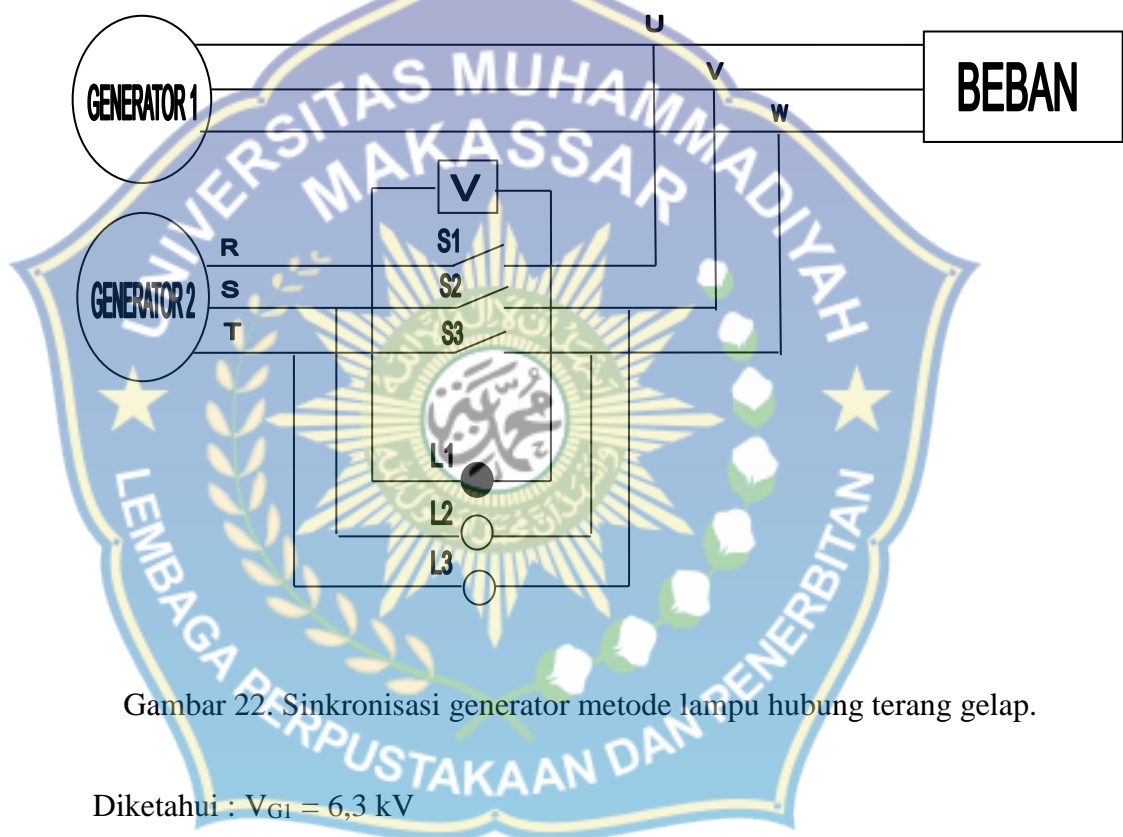
$$\begin{aligned}
 \text{Teg}_{WT} = \text{fasa W} + \text{fasa T} &= V_w \angle \theta + V_T \angle \theta \\
 &= 6,3 \angle 120^\circ + 6,3 \angle -60^\circ \\
 &= 6,3 \cos(120^\circ) + j \sin 6,3 \sin(120^\circ) + 6,3 \cos(-60^\circ) + j \sin -6,3 \sin(-60^\circ) \\
 &= 6,3 (-0,5) + j 6,3 \left(\frac{1}{2}\right) \sqrt{3} + 6,3 (0,5) - j 6,3 \left(\frac{1}{2}\right) \sqrt{3} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$



Gambar 21. Hasil *run* pada program matlab untuk fasa T dan W

Jadi jika beda fasa U dan R, V dan S, dan W dan T berlawanan, maka tegangan lampu L1, L2, dan L3 nol, dan juga Voltmeter V1 menunjuk nol Volt, lampu L1, L2, dan L3 ketiganya padam serentak. Hal tersebut menandakan bahwa kedua generator telah sinkron dan dapat diparalelkan.

2. Metode lampu sinkronisasi hubungan terang gelap



Gambar 22. Sinkronisasi generator metode lampu hubung terang gelap.

Diketahui : $V_{G1} = 6,3 \text{ kV}$

$$V_{G2} = 6,3 \text{ kV}$$

$$F_{G1} = 50 \text{ Hz}$$

$$F_{G2} = 50 \text{ Hz}$$

Urutan fasa G1 = UVW

Urutan fasa G2 = RST

Jika tegangan generator G1

$$U = 6,3 \angle 0^\circ \quad \text{KV}$$

$$V = 6,3 \angle 240^\circ \quad \text{KV}$$

$$W = 6,3 \angle 120^\circ \quad \text{KV}$$

Tegangan generator G2

$$R = 6,3 \angle 180^\circ \quad \text{KV}$$

$$S = 6,3 \angle 60^\circ \quad \text{KV}$$

$$T = 6,3 \angle -60^\circ \quad \text{KV}$$

Pengujian pada program matlab dengan memasukkan input $\frac{1}{2}$ siklus, yaitu:



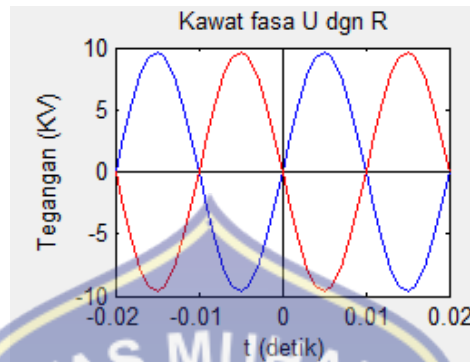
Gambar 23. Tampilan uji coba menggunakan desain input pada matlab

Tegangan Voltmeter (Tegangan fasa U dan fasa R), tegangan pada lampu L1

$$\begin{aligned} \text{Teg}_{UR} &= \text{fasa U} + \text{fasa R} = V_u \angle \theta + V_R \angle \theta \\ &= 6,3 \angle 0^\circ + 6,3 \angle 180^\circ \\ &= 6,3 \cos(0^\circ) + 6,3 \cos(180^\circ) \end{aligned}$$

$$= 6,3 - 6,3 \text{ KV}$$

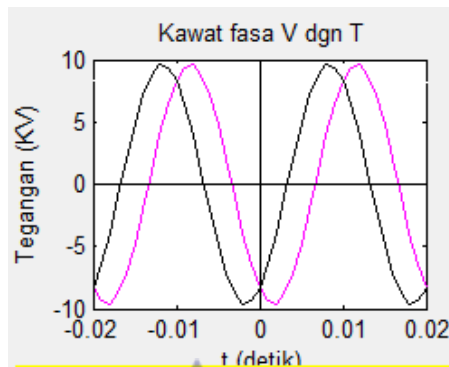
$$= 0$$



Gambar 24. Hasil *run* pada program matlab untuk fasa U dan R

Tegangan voltmeter (fasa V dan fasa T), tegangan pada lampu L2 dihitung sebagai berikut :

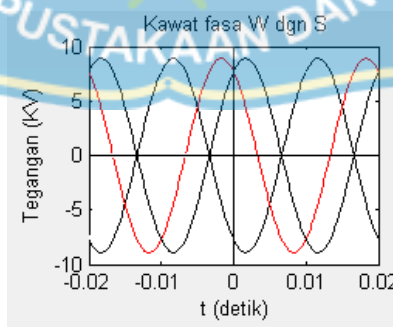
$$\begin{aligned} \text{Teg}_{VT} &= \text{fasa V} + \text{fasa T} = V_V \angle \theta + V_T \angle \theta \\ &= 6,3 \angle 240^\circ + 6,3 \angle -60^\circ \\ &= 6,3 \cos(240^\circ) + j \sin 6,3 \sin(240^\circ) + 6,3 \cos(-60^\circ) + j \sin 6,3 \sin(-60^\circ) \\ &= 6,3 (-0,5) - j 6,3 \left(\frac{1}{2}\right) \sqrt{3} + 6,3 (0,5) - j 6,3 \left(\frac{1}{2}\right) \sqrt{3} \\ &= -j 6,3 \sqrt{3} = -j 11,778 = 11,778 \angle -90^\circ \\ &\text{KV} \end{aligned}$$



Gambar 25. Hasil *run* pada program matlab untuk fasa T dan V

Tegangan voltmeter (fasa W dan fasa S), tegangan pada lampu L3 dihitung

$$\begin{aligned}
 \text{Teg}_{WS} &= \text{fasa W} + \text{fasa S} = V_u \angle \theta + V_R \angle \theta \\
 &= 6,3 \angle 120^\circ + 6,3 \angle 60^\circ \\
 &= 6,3 \cos(120^\circ) + j \sin 6,3 \sin(120^\circ) + 6,3 \cos(60^\circ) + j \sin 6,3 \sin(60^\circ) \\
 &= 6,3 (-0,5) + j 6,3 \left(\frac{1}{2}\right) \sqrt{3} + 6,3 (0,5) + j 6,3 \left(\frac{1}{2}\right) \sqrt{3} \\
 &= j 6,3 \sqrt{3} = j 11,778 = 11,778 \angle 90^\circ \text{ KV}
 \end{aligned}$$



Gambar 26. Hasil *run* pada program matlab untuk fasa S dan W

Jadi jika lampu L2 dan L3 mendapat tegangan yang sama besar sehingga nyalanya sama terang sedangkan lampu L1 mendapat tegangan 0 Volt, lampu L1 padam. Pada metode kondisi lampu sebelum sakelar ditutup sebagai berikut:

Lampu	Kondisi
L1	Padam
L2	Nyala
L3	Nyala

Ketika keadaan lampu telah seperti pernyataan di atas, maka kedua generator telah dinyatakan telah sinkron dan dapat diparalelkan.

B. Parameter generator berdasarkan regulasi tegangan

Untuk mengetahui daya semu yang dihasilkan oleh generator A dan generator B maka dari data yang diketahui yaitu daya aktif (P) dan daya reaktif s(Q) maka dianalisis menggunakan rumus daya kompleks.

Tabel 1. Daya aktif (MW) dan daya reaktif (kVAR) terukur generator A dan generator B.

NO.	UNIT GENERATOR	SHIFT			FEBRUARI 2014							KET.
		1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	
1.	GENERATOR A	√			20,15	20,16	20,16	20,17	20,18	20,19	20,2	Q
		√			18,4	18,41	18,41	18,41	18,47	18,42	18,42	P
			√		20,15	20,16	20,17	20,17	20,18	20,19	20,2	Q
			√		18,4	18,41	18,41	18,41	18,42	18,42	18,43	P
				√	20,16	20,16	20,17	20,18	20,18	20,19	20,2	Q
				√	18,41	18,41	18,41	18,41	18,42	18,42	18,43	P
2.	GENERATOR B	√			19,54	19,55	19,56	19,57	19,57	19,58	19,59	Q
		√			27,41	27,41	27,42	27,42	27,43	27,43	27,44	P
			√		19,55	19,55	19,56	19,57	19,58	19,58	19,59	Q
			√		27,41	27,42	27,42	27,42	27,43	27,43	27,44	P
				√	19,55	19,56	19,56	19,57	19,58	19,59	19,6	Q
				√	27,41	27,42	27,42	27,43	27,43	27,43	27,44	P

Dengan regulasi 5% maka diformulasikan ke dalam persamaan :

$$P + jQ$$

Diketahui : $P = 6,7167 \text{ MW}$

$Q = 6,1333 \text{ MVar}$

Maka : $S = P + jQ$

$= 6,7167 + 6,1333$

$= 9,0957 \text{ MVA}$

Jadi beban generator A = 9,0957 MVA

Rasio besarnya daya aktif yang dimanfaatkan terhadap daya semu/tampak yang dihasilkan sumber disebut faktor daya ($\cos \emptyset$), di formulasi ke persamaan :

$$\cos \emptyset = \frac{P}{S}$$

✓ Untuk generator A

Diketahui : Daya aktif (P) = 6,7167 MW

Daya semu (S) = 9,0957 MVA

Ditanyakan : $\cos \emptyset = \dots\dots\dots?$

Penyelesaian :

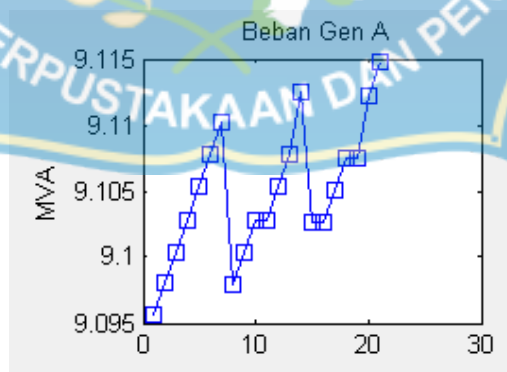
$$\begin{aligned}\cos \emptyset &= \frac{P}{S} \\ &= \frac{6,7167}{9,0957} \\ &= 0,7384\end{aligned}$$

Jadi, Faktor daya (PF) untuk generator A adalah 0,7384

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai beban pada generator A

No.	MW	MVar	MVA	Derajat	Cos phi
1.	6,7167	6,1333	9,0957	42,4008	0,7384
2.	6,7200	6,1367	9,0981	42,3867	0,7384
3.	6,7200	6,1367	9,1004	42,4022	0,7384
4.	6,7233	6,1367	9,1029	42,3880	0,7384
5.	6,7267	6,1367	9,1053	42,3739	0,7388
6.	6,7300	6,1400	9,1078	42,3597	0,7387
7.	6,7333	6,1400	9,1102	42,3456	0,7389
8.	6,7167	6,1333	9,0979	42,4163	0,7384
9.	6,7200	6,1367	9,1004	42,4022	0,7384
10.	6,7233	6,1367	9,1029	42,3880	0,7386
11.	6,7233	6,1367	9,1029	42,3880	0,7386
12.	6,7267	6,1400	9,1053	42,3739	0,7386
13.	6,7300	6,1400	9,1078	42,3597	0,7387
14.	6,7333	6,1433	9,1125	42,3611	0,7387
15.	6,7200	6,1367	9,1026	42,4176	0,7384
16.	6,7200	6,1367	9,1026	42,4176	0,7384
17.	6,7233	6,1367	9,1051	42,4035	0,7386
18.	6,7267	6,1367	9,1076	42,3894	0,7386
19.	6,7267	6,1400	9,1076	42,3894	0,7386
20.	6,7300	6,1400	9,1123	42,3907	0,7387
21.	6,7333	6,1433	9,1147	42,3766	0,7387

Berdasarkan data hasil perhitungan di atas maka direalisasikan ke dalam grafik :



Gambar 27. Hasil run pada program matlab untuk beban pada generator A

Dengan regulasi 5% :

Diketahui : P = 6,5133 MW

$$Q = 9,1367 \text{ MVar}$$

Maka :

$$S = P + j Q$$
$$= 6,5133 + 9,1367$$
$$= 11,2206 \text{ MVA}$$

Jadi beban generator B = 11,2206 MVA

Faktor daya pada generator B adalah :

✓ Untuk generator B

Diketahui : Daya aktif (P) = 6,5133 MW
Daya semu (S) = 11,2206 MVA

Ditanyakan : $\cos \phi = \dots\dots\dots?$

Penyelesaian :

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$
$$= \frac{6,5133}{11,2206}$$
$$= 0,5805$$

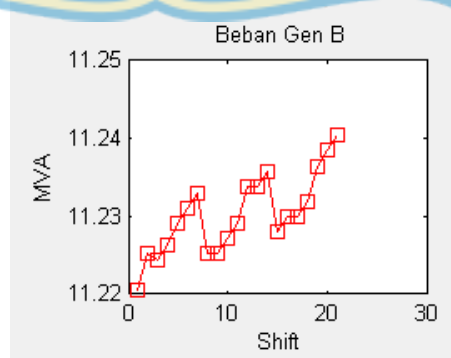
Jadi, Faktor daya (PF) untuk generator A adalah 0,5805



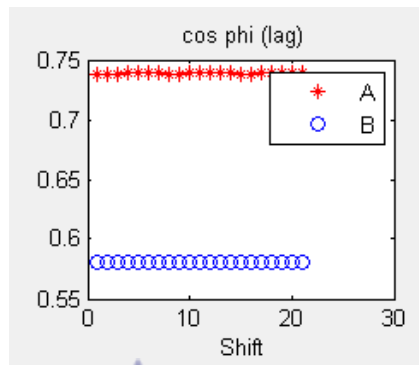
Tabel 3. Hasil perhitungan nilai beban pada generator B

No.	P (MW)	Q (MVar)	Daya semu (MVA)	Sudut (°)	Cos phi
1.	6,5133	9,1367	11,2206	54,515	0,5805
2.	6,5167	9,1367	11,2253	54,5118	0,5807
3.	6,5200	9,1400	11,2245	54,4880	0,5807
4.	6,5233	9,1400	11,2264	54,4742	0,5809
5.	6,5233	9,1433	11,2291	54,4841	0,5808
6.	6,5267	9,1433	11,2311	54,4702	0,5810
7.	6,5300	9,1467	11,2330	54,4564	0,5810
8.	6,5167	9,1400	11,2253	54,5118	0,5805
9.	6,5167	9,1400	11,2253	54,5118	0,5805
10.	6,5200	9,1400	11,2272	54,4979	0,5807
11.	6,5233	9,1400	11,2291	54,4841	0,5809
12.	6,5267	9,1433	11,2338	54,4801	0,5810
13.	6,5267	9,1433	11,2338	54,4801	0,5810
14.	6,5300	9,1467	11,2357	54,4663	0,5810
15.	6,5167	9,1367	11,2280	54,5216	0,5807
16.	6,5200	9,1400	11,2299	54,5078	0,5807
17.	6,5200	9,1400	11,2299	54,5078	0,5807
18.	6,5233	9,1433	11,2318	54,4939	0,5808
19.	6,5267	9,1433	11,2365	54,4900	0,5810
20.	6,5300	9,1433	11,2384	54,4762	0,5812
21.	6,5333	9,1467	11,2404	54,4623	0,5812

Berdasarkan data hasil perhitungan di atas maka direalisasikan ke dalam grafik :



Gambar 28. Hasil run pada program matlab untuk beban pada generator B

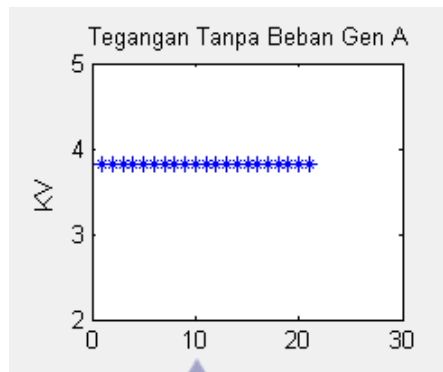


Gambar 29. Hasil *run* pada program matlab untuk cos phi pada generator B

Adapun beberapa parameter lain yang dapat ditentukan berdasarkan data beban yaitu :

Tabel 4. Tegangan tanpa beban, tegangan berbeban, dan impedansi generator A

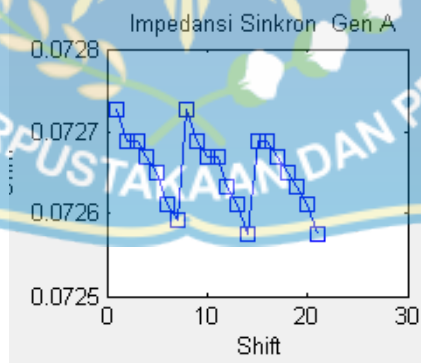
No.	Tegangan tanpa beban (KV)	Tegangan berbeban (KV)	Impedansi (Ohm)
1.	3,8192	3,6373	0,0727
2.	3,8192	3,6373	0,0727
3.	3,8192	3,6373	0,0727
4.	3,8192	3,6373	0,0727
5.	3,8192	3,6373	0,0726
6.	3,8192	3,6373	0,0726
7.	3,8192	3,6373	0,0726
8.	3,8192	3,6373	0,0727
9.	3,8192	3,6373	0,0727
10.	3,8192	3,6373	0,0727
11.	3,8192	3,6373	0,0727
12.	3,8192	3,6373	0,0726
13.	3,8192	3,6373	0,0726
14.	3,8192	3,6373	0,0726
15.	3,8192	3,6373	0,0727
16.	3,8192	3,6373	0,0727
17.	3,8192	3,6373	0,0727
18.	3,8192	3,6373	0,0726
19.	3,8192	3,6373	0,0726
20.	3,8192	3,6373	0,0726
21.	3,8192	3,6373	0,0726



Gambar 30. Hasil *run* pada program matlab untuk tegangan tanpa beban pada generator A



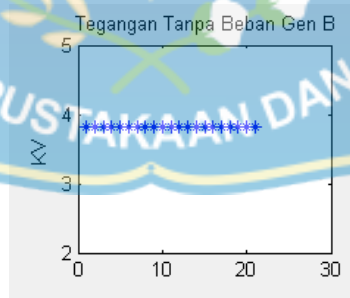
Gambar 31. Hasil *run* pada program matlab untuk tegangan berbeban pada generator A



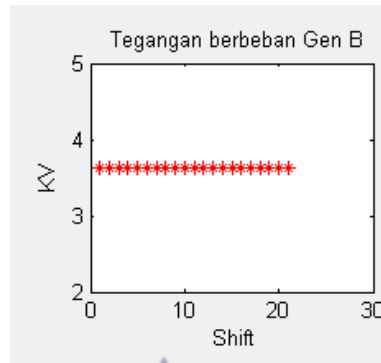
Gambar 32. Hasil *run* pada program matlab untuk impedansi pada generator A

Tabel 5. Tegangan tanpa beban generator B

No.	Tegangan tanpa beban (KV)	Tegangan berbeban (KV)	Impedansi (Ohm)
1.	3,8192	3,6373	0,0589
2.	3,8192	3,6373	0,0589
3.	3,8192	3,6373	0,0589
4.	3,8192	3,6373	0,0589
5.	3,8192	3,6373	0,0589
6.	3,8192	3,6373	0,0589
7.	3,8192	3,6373	0,0589
8.	3,8192	3,6373	0,0589
9.	3,8192	3,6373	0,0589
10.	3,8192	3,6373	0,0589
11.	3,8192	3,6373	0,0589
12.	3,8192	3,6373	0,0589
13.	3,8192	3,6373	0,0589
14.	3,8192	3,6373	0,0589
15.	3,8192	3,6373	0,0589
16.	3,8192	3,6373	0,0589
17.	3,8192	3,6373	0,0589
18.	3,8192	3,6373	0,0589
19.	3,8192	3,6373	0,0589
20.	3,8192	3,6373	0,0589
21.	3,8192	3,6373	0,0589



Gambar 33. Hasil *run* pada program matlab untuk tegangan tanpa beban pada generator B



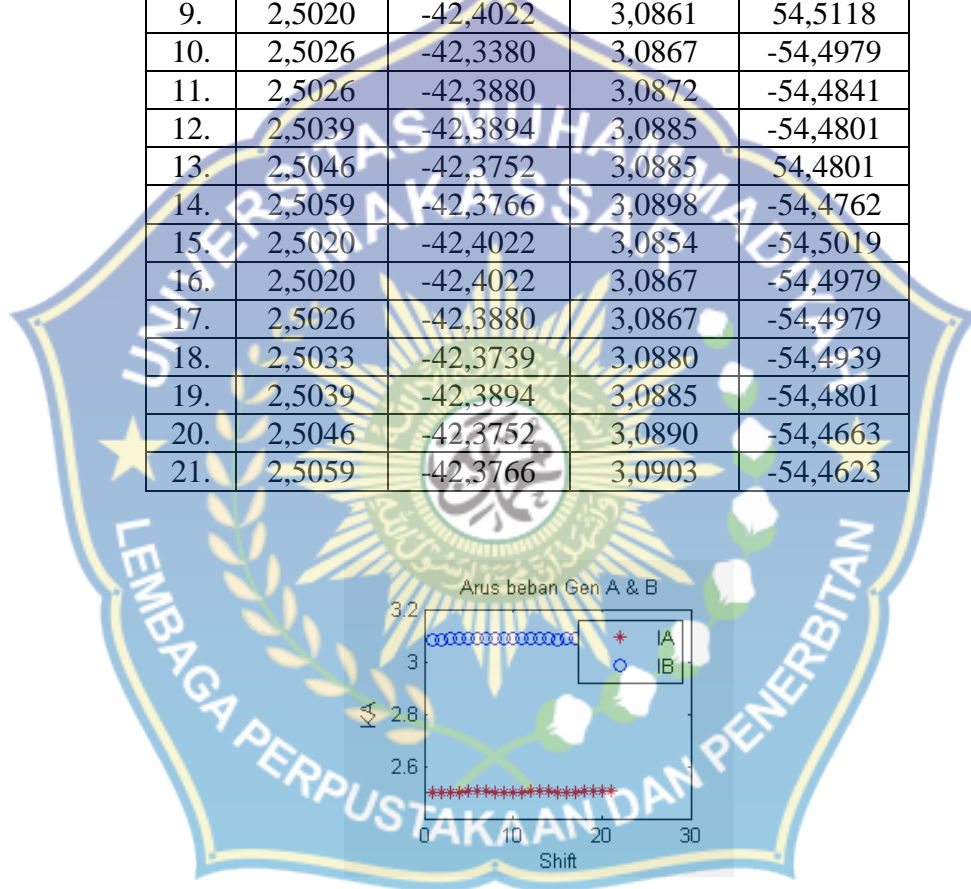
Gambar 34. Hasil *run* pada program matlab untuk tegangan berbeban pada generator B



Gambar 35. Hasil *run* pada program matlab untuk impedansi pada generator B

Tabel 6. Arus beban generator A dan generator B

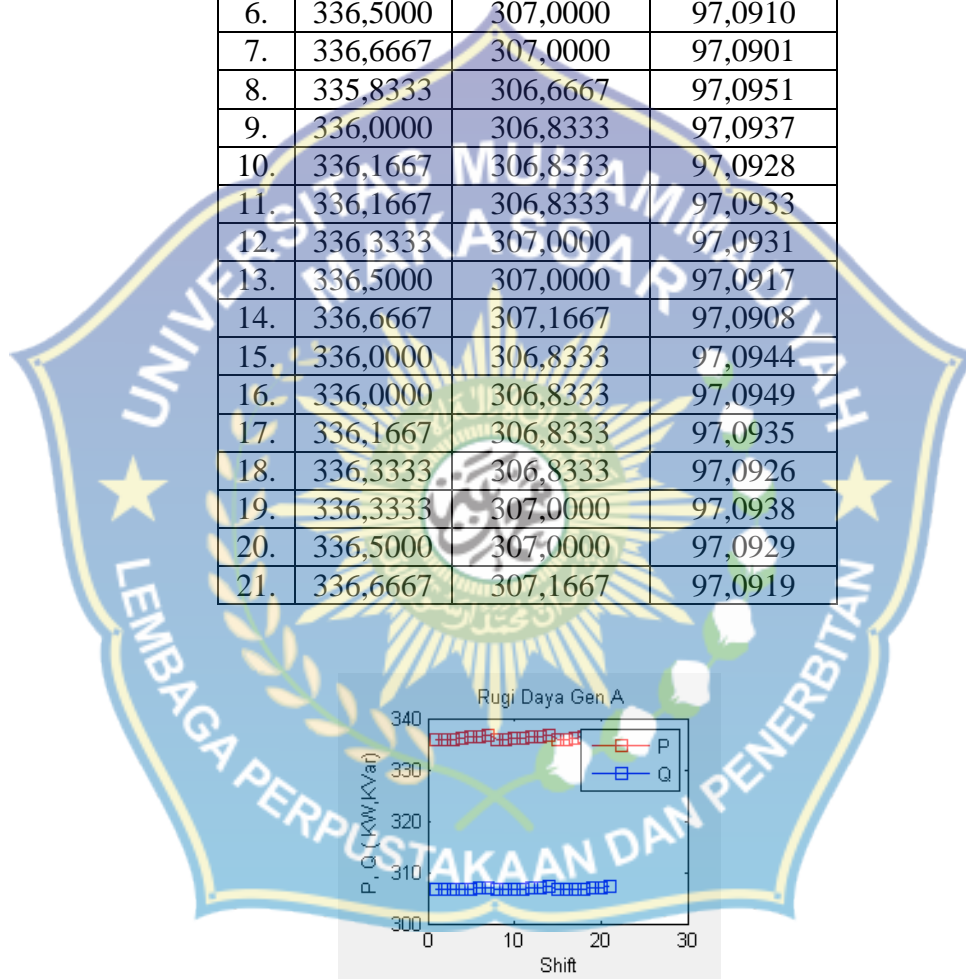
No.	Generator A		Generator B	
	(KA)	Derajat (°)	(KA)	Derajat (°)
1.	2,5007	-42,4008	3,0849	-54,5157
2.	2,5020	-42,4022	3,0854	-54,5019
3.	2,5020	-42,4022	3,0867	-54,4979
4.	2,5026	-42,3880	3,0872	-54,4841
5.	2,5033	-42,3739	3,0880	-54,4939
6.	2,5046	-42,3752	3,0885	-54,4801
7.	2,5053	-42,3611	3,0898	-54,4762
8.	2,5007	-42,4008	3,0861	-54,5118
9.	2,5020	-42,4022	3,0861	54,5118
10.	2,5026	-42,3380	3,0867	-54,4979
11.	2,5026	-42,3880	3,0872	-54,4841
12.	2,5039	-42,3894	3,0885	-54,4801
13.	2,5046	-42,3752	3,0885	54,4801
14.	2,5059	-42,3766	3,0898	-54,4762
15.	2,5020	-42,4022	3,0854	-54,5019
16.	2,5020	-42,4022	3,0867	-54,4979
17.	2,5026	-42,3880	3,0867	-54,4979
18.	2,5033	-42,3739	3,0880	-54,4939
19.	2,5039	-42,3894	3,0885	-54,4801
20.	2,5046	-42,3752	3,0890	-54,4663
21.	2,5059	-42,3766	3,0903	-54,4623



Gambar 36. Hasil run pada program matlab untuk arus beban pada generator A dan generator B

Tabel 7. Rugi daya generator A kondisi berbeban dan efisiensi

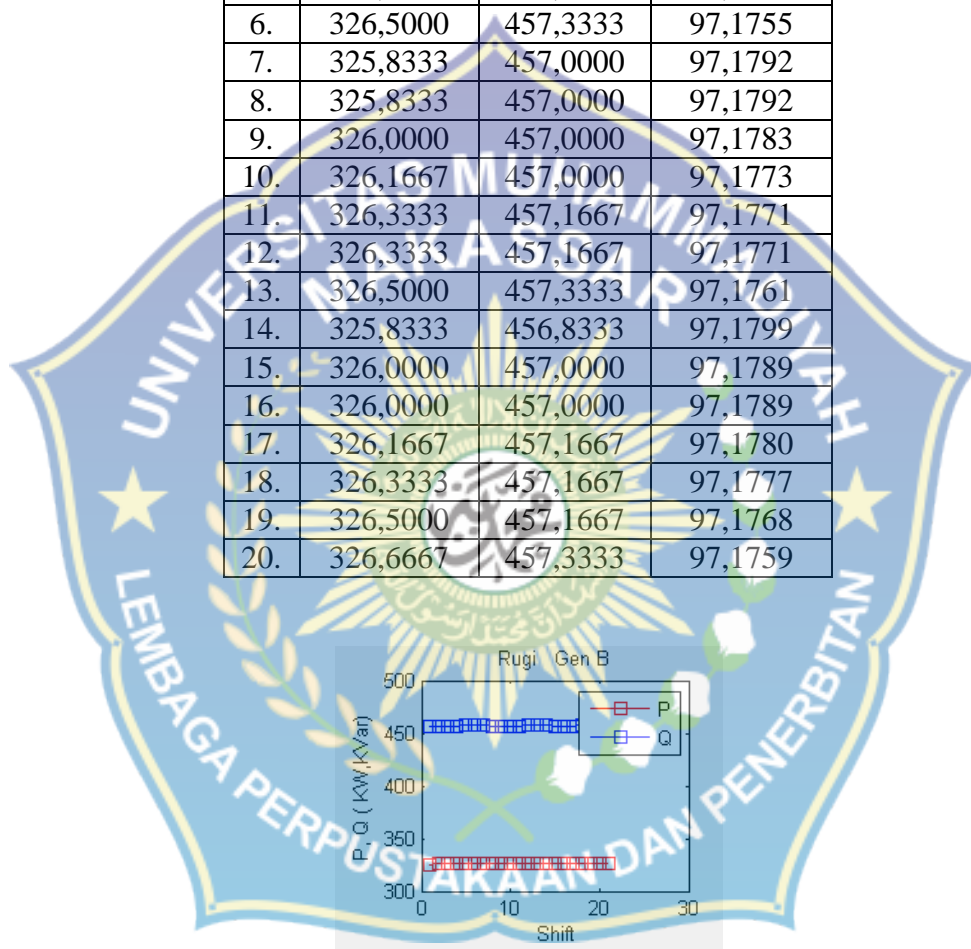
No.	P - j Q		Efisiensi
	Daya aktif (KW)	Daya reaktif (kVAR)	
1.	335,8333	306,6667	97,0940
2.	336,0000	306,8333	97,0937
3.	336,0000	306,8333	97,0935
4.	336,1667	306,8333	97,0926
5.	336,3333	306,8333	97,0919
6.	336,5000	307,0000	97,0910
7.	336,6667	307,0000	97,0901
8.	335,8333	306,6667	97,0951
9.	336,0000	306,8333	97,0937
10.	336,1667	306,8333	97,0928
11.	336,1667	306,8333	97,0933
12.	336,3333	307,0000	97,0931
13.	336,5000	307,0000	97,0917
14.	336,6667	307,1667	97,0908
15.	336,0000	306,8333	97,0944
16.	336,0000	306,8333	97,0949
17.	336,1667	306,8333	97,0935
18.	336,3333	306,8333	97,0926
19.	336,3333	307,0000	97,0938
20.	336,5000	307,0000	97,0929
21.	336,6667	307,1667	97,0919



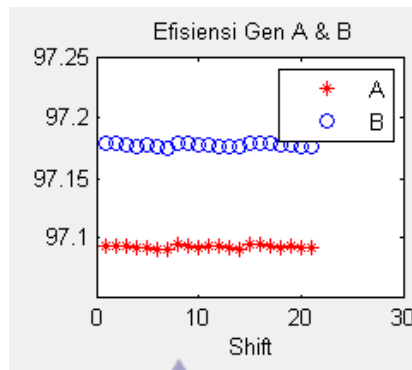
Gambar 37. Hasil run pada program matlab untuk rugi daya pada generator A

Tabel 8. Rugi daya generator B kondisi berbeban dan efisiensi

No.	P - j Q		Efisiensi
	Daya aktif (KW)	Daya reaktif (kVAR)	
1.	325,6667	456,8333	97,1795
2.	325,8333	456,8333	97,1792
3.	326,0000	457,0000	97,1776
4.	326,1667	457,1667	97,1773
5.	326,3333	457,1667	97,1764
6.	326,5000	457,3333	97,1755
7.	325,8333	457,0000	97,1792
8.	325,8333	457,0000	97,1792
9.	326,0000	457,0000	97,1783
10.	326,1667	457,0000	97,1773
11.	326,3333	457,1667	97,1771
12.	326,3333	457,1667	97,1771
13.	326,5000	457,3333	97,1761
14.	325,8333	456,8333	97,1799
15.	326,0000	457,0000	97,1789
16.	326,0000	457,0000	97,1789
17.	326,1667	457,1667	97,1780
18.	326,3333	457,1667	97,1777
19.	326,5000	457,1667	97,1768
20.	326,6667	457,3333	97,1759



Gambar 38. Hasil run pada program matlab untuk rugi daya pada generator B



Gambar 39. Hasil *run* pada program matlab untuk efesiensi pada generator A dan generator B



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa :

- Untuk metode sinkronisasi generator lampu hubungan gelap, agar kedua generator dapat paralelkan maka beda fase yang harus terjadi untuk ketiga pasang kawat fasa adalah 180° sehingga ketiga lampu yang dihubungkan pada ketiga pasang kawat fasa tersebut padam dan volt meter menunjuk angka nol, karena pada saat itu amplitudo tegangan antara generator A dan generator B berlawanan, yang merupakan salah satu syarat sinkronisasi.
- Untuk metode sinkronisasi generator lampu hubungan gelap terang, agar kedua generator dapat paralelkan maka harus dalam keadaan dua lampu menyala yaitu lampu L2 dan L3, untuk lampu L1 dalam keadaan padam, karena pada saat itu L1 mengalami beda fase yang berlawanan sehingga tegangan yang dimilikinya 0 volt, L2 dan L3 memiliki tegangan yang sama besar.
- Untuk metode sinkronisasi generator otomatis dapat menggunakan *synchronoscope* atau *auto-synchrhonizer*. Dibandingkan dengan dengan metode sinkronisasi manual, metode sinkronisasi generator secara otomatis dengan menggunakan *auto-synchrhonizer* lebih praktis karena hanya menginput data dan modul-modul yang terdapat pada *auto-synchrhonizer*

tersebut kemudian modul-modul yang terdapat di dalamnya yang akan mengatur agar parameternya sinkron.

- Dari data yang didapatkan yaitu data 1-7 Februari 2014 terlihat bahwa terjadi fluktuasi daya pada generator B karena daya reaktifnya lebih (MVar) dari pada daya aktif (MW). Sedangkan pada generator A daya aktifnya (MW) lebih besar dibandingkan dengan daya reaktifnya (MVar).
- Dengan menggunakan data beban dengan asumsi regulasi tegangan 5 % maka didapatkan faktor daya kedua generator yaitu pada generator A 0,738 dan generator B 0,58. Faktor daya dibatasi dari 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) artinya semakin banyak daya tampak yang diberikan sumber bisa kita manfaatkan.

B. Saran

Agar lebih efektif, pada pembangkit yang masih menggunakan metode sinkronisasi generator secara manual sebaiknya menggunakan software yang dapat menunjukkan keadaan parameter yang berperan dalam proses pelaksanaan sinkronisasi tersebut.

Penambahan kapasitor sebaiknya dilakukan apabila faktor daya pada generator pembangkit melebihi atau di bawah standar (0,8).

DAFTAR PUSTAKA

Zuhal, 1991, *Dasar Tenaga Listrik*, Penerbit ITB, Bandung

Watiningsih Tri, 2014, *Pembangkit Tenaga Listrik*, Graha ilmu, Yogyakarta

Stevenson D. Wiliam, 1993, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Penerbit Erlangga,
Jakarta

Marsudi Djiteng, 2005, *Pembangkit Energi Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta

Marsudi Djiteng, 2006, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Penerbit Graha Ilmu,
Yogyakarta

<http://dunia-listrik.blogspot.com>

<http://konversi.wordpress.com>

