



# **UNJUK KERJA PENGATURAN PEMBAGIAN DAYA PADA SINKRONISASI GENERATOR AC**

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh

Muhammad Sobirin

NIM.5301412020

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2019**

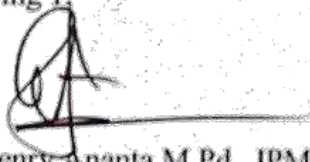
## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Muhammad Sobirin  
NIM : 5301412020  
Program Studi : S - 1 Pendidikan Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Unjuk Kerja Pengaturan Pembagian Daya Pada Sinkronisasi  
Generator AC

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro FT. UNNES.

Semarang, 23 Agustus 2019

Pembimbing 1,



Drs. Ir. Henry Ananta M.Pd., IPM.  
NIP. 195907051986011002

Pembimbing 2,



Drs. Sutarno, M.T.  
NIP. 195510051984031001

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul UNJUK KERJA PENGATURAN PEMBAGIAN DAYA  
PADA SINKRONISASI GENERATOR AC telah dipertahankan di depan sidang

Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada :

Hari : Selasa  
Tanggal : 20 Agustus 2019  
Nama : Muhammad Sobirin  
NIM : 5301412020  
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro,SI

Panitia Ujian

Ketua,



Drs. Agus Suryanto, M.T.  
NIP.196708181992031004

Sekretaris,



Drs. Agus Suryanto, M.T.  
NIP.196708181992031004

Penguji 1



Drs. Yohanes Primadiyono M.T.  
NIP. 196209021987031002

Penguji 2



Drs. Ir. Henry Ananta M.Pd., IPM.  
NIP. 195907051986011002

Penguji 3



Drs. Sutarno, M.T.  
NIP. 1955100519840310

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Nur Ondus M.T., IPM  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Dosen pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 23 Agustus 2019



Muhammad Sobirin

NIM. 5301412020

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO:

- ❖ —Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.‖ (QS. Al-Insyirah, 6-8)
- ❖ —Jangan Pernah Meninggalkan Ibadah di mana pun kamu berada‖
- ❖ —Pendidikan merupakan senjata paling ampuh yang bisa kamu gunakan untuk merubah dunia‖ (Nelson Mandela)

### PERSEMBAHAN:

Skripsi ini peneliti persembahkan kepada,

1. Bapak (Moh. Masrukhi) dan ibu (Sudiroh) tercinta yang senantiasa mendoakan dan memberikan motivasi utuk anak-anaknya.
2. Adik-adik kebanggan saya ahmad isbir jamaludin dan amar muarif yang selalu memberikan semangat doa dan dukungan.
3. Teman sekolah SMK N 1 Kedungwuni untuk doa, dukungan dan kesabarannya selama ini.
4. Kepada seluruh teman-teman PTE angkatan 2012 yang selalu menginspirasi dan memotivasi.
5. Adik-adik dan rekan keluarga besar LEKMAPALA FT UNNES.
6. Semua pihak yang telah membantu atas terselesainya skripsi ini.

## ABSTRAK

Abstrak—kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat baik di dunia kerja, industri atau kebutuhan dimasyarakat.. Data proyeksi kebutuhan listrik indonesia tahun 2003-2020 diperhitungkan mengalami peningkatan 6,5% pertahun. UNNES tepatnya di teknik elektro fakultas teknik terdapat simulasi generator AC yaitu *trainer DAC #490 Electrical Generation Fundamentals*. Tujuan penelitian mengetahui proses sinkronisasi dan pembagian beban. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Metode ini dipilih karena relevan dengan tujuan menggambarkan hasil penelitian secara sistematis, akurat, grafik dan karakteristik pembebanan pada sistem tenaga listrik. Hasil penelitian berupa analisis perubahan karakteristik beban berupa data atau grafik pada perubahan frekuensi (Hz), arus (A), tegangan (KV), kecepatan mekanik (Speed), sudut daya ( $\cos \phi$ ), beban nyata (megawatts), beban reaktif (megavars), serta pembebanan karakteristik akselerasi dan deselerasi dan analisis sinkronisasi pada trainer alat DAC #490. Hasil penelitian adalah perbedaan sudut beban ( $\cos \phi$ ) antara pembebanan tanpa kompensator dengan pembebanan dengan kompensator beban akselerasi terdapat perbedaan yang sangat signifikan. Sudut  $\cos \phi$  kompensator (*capasitor bank*) =  $-86,12^{\circ}$  (lagging) mendekati sudut  $90^{\circ}$ , menyebabkan nilai daya  $kVar = V.I.\sin 86,12^{\circ}$ . Sedangkan sudut  $\cos \phi$  tanpa kompensator =  $34,99^{\circ}$ . dengan nilai daya  $kVar = V.I.\sin 34,99^{\circ}$ . Kesimpulannya perbandingan antara beban akselerasi dengan kompensator dan tanpa kompensator berbeda jauh.

*Kata Kunci* : — Trainer DAC #490, Akselerasi, Deselerasi.

Abstract — Electricity needs are increasing in the world of work, industry or community needs. The projected data on Indonesia's electricity needs in 2003-2020 is estimated to have increased by 6.5% per year. UNNES precisely in the electrical engineering faculty of engineering there is an AC generator simulation namely DAC # 490 Electrical Generation Fundamentals trainer. The purpose of this research is to know the process of synchronization and load sharing. The research method used is the experimental method. This method was chosen because it is relevant for the purpose of describing research results in a systematic, accurate, graphical and characteristic loading on the electric power system. The results of the study are analysis of changes in load characteristics in the form of data or graphics on changes in frequency (Hz), current (A), voltage (KV), mechanical speed (Speed), power angle ( $\cos \phi$ ), real load (megawatts), reactive load (megavars), as well as the loading of acceleration and deceleration characteristics and synchronization analysis on DAC trainer # 490. The results of the study are the difference in the angle of load ( $\cos \phi$ ) between loading without compensator and loading with accelerator load compensator there is a very significant difference. The  $\cos \phi$  compensator (bank capacitor) angle =  $-86.12^{\circ}$  (lagging) approaches the  $90^{\circ}$  angle, causing the power value  $kVar = V.I.\sin 86.12^{\circ}$ . While the  $\cos \phi$  angle komp without compensator =  $34.99^{\circ}$ . with the power value  $kVar = V.I.\sin 34.99^{\circ}$ . In conclusion, the comparison between the acceleration load with the compensator and without the compensator is much different.

Keywords: - DAC Trainer # 490, Acceleration, Deceleration

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT dan mengharapkan ridho yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul —Unjuk Kerja Pengaturan Pembagian Daya Pada Sinkronisasi Generator ACL. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada junjungan alam Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumil akhir nanti, Amin.

Penelitian ini diangkat sebagai upaya untuk meningkatkan hasil belajar penunjang mata kuliah Praktik Dasar Sistem Kontrol dalam materi pembangkitan listrik secara operasi peralatan modern pada mahasiswa Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Penyelesaian karya tulis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penelitian.
3. Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T., ketua Jurusan sekaligus ketua program studi Pendidikan Teknik Elektro yang telah memberi bimbingan dan

menerima kehadiran penulis setiap saat disertai kesabaran, ketelitian, masukan-masukan yang berharga untuk menyelesaikan karya ini.

4. Drs. Ir. Henry Ananta M.Pd., IPM. dan Drs. Sutarno, M.T. Pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan dalam memberikan bahan dan menunjukkan sumber-sumber yang relevan sangat membantu penulisan karya ini
5. Semua dosen Teknik Elektro FT. Unnes yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Mahasiswa Pendidikan Teknik Elektro yang mengambil mata kuliah Praktik Dasar Sistem Kontrol semester gasal tahun ajaran 2019 atas kerjasama dan bantuannya selama penelitian.
7. Teman-teman Pendidikan Teknik Elektro angkatan 2012 yang telah memberikan masukan dan semangat dalam penyusunan skripsi.
8. Semua pihak yang telah memberi bantuan hingga terselesaikannya skripsi ini, baik material maupun spiritual yang tidak bisa peneliti sebutkan itu persatu.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pelaksanaan pembelajaran di kampus dan dimasyarakat.

Semarang, Agustus 2019  
Penulis



Muhammad Sobirin  
NIM. 5301412020



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>I</b>
<b>PERSETUJUAN PEMBIMBING .....</b>	<b>II</b>
<b>PENGESAHAN .....</b>	<b>III</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>IV</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRAK .... ..</b>	<b>VI</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>VII</b>
<b>DAFTAR ISI . .....</b>	<b>IX</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>XVII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>XX</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	6
1.3 Pembatasan Masalah .....	7
1.4 Rumusan Masalah .....	7
1.5 Tujuan Penelitian .....	8
1.6 Manfaat Penelitian .....	8
1.7 Penegasan Istilah .....	10
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....</b>	<b>12</b>
2.1 Kajian Pustaka.....	12
A. Adanya Beban Naik-Turun Yang Mengakibatkan Beban Tidak Seimbang....	12
B. Adanya perubahan-perubahan beban, frekuensi, arus, tegangan, dan kecepatan pada unit generator yang mengakibatkan generator tidak bekerja secara maksimal.....	13

C. Adanya beban lebih ( <i>overload</i> ).....	14
2.2 Landasan Teori.....	14
A. Generator AC.....	14
1. Pengertian Generator AC.....	14
2. Konstruksi Generator AC.....	16
3. Prinsip Kerja Generator AC.....	17
4. Jumlah Kutub Generator AC.....	18
5. Generator Berbeban dan Tidak Berbeban.....	19
B. Sinkronisasi Generator AC.....	21
1. Pengertian Sinkronisasi Generator AC.....	21
2. Syarat Sinkronisasi Generator AC.....	21
3. Kendala/Pengaruh Generator AC.....	26
4. Kelebihan dan Kekurangan Generator AC.....	28
C. Sistem Interkoneksi.....	29
1. Pengertian Sistem Interkoneksi.....	29
2. Prinsip Dasar Sistem Interkoneksi.....	30
3. Tujuan, Keuntungan dan Manfaat Sistem Interkoneksi.....	31
4. Kendala/Gangguan Sistem Interkoneksi.....	32
5. Pencegahan Gangguan Pada Sistem Interkoneksi.....	36
D. Unjuk Kerja Pembagian Daya.....	39
1. Pengaturan Tegangan.....	39
2. Pengaturan Putaran.....	39
3. Pengaturan Frekuensi.....	40

	Halaman
4. Karakteristik Beban Pembagian Daya .....	42
5. Segitiga Daya ( <i>Triangle Power</i> ) .....	46
6. Faktor Daya ( <i>Power Factor</i> ) .....	48
E. DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> .....	51
1. Definisi Peralatan DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> .....	51
2. Instruksi Aturan Pakai Keselamatan dan Pencegahan DAC #490 .....	53
3. Tampilan Plasma ( <i>Display Function</i> ) DAC #490 .....	55
4. Saklar Penggerak Sinkronisasi ( <i>sync-selector switch</i> ) DAC #490 .....	59
5. <i>Breaker Trips and Interlocks</i> .....	59
F. Sistem Operasi Unjuk Kerja Sinkronisasi Generator AC .....	62
1. <i>Load Sharing</i> dan <i>Load Switing</i> .....	62
2. Lepas Sinkron, Dinamika dan Stabilitas Beban Listrik .....	64
3. Beban Dinamis dan Beban Kontinyu ( <i>Steady Stater</i> ) .....	68
4. Perbaikan Faktor Daya dan Persamaan Ayunan ( <i>Swing Equation</i> ).....	70
5. <i>Overhaul, Overspeed, dan Overload</i> .....	75
6. Percepatan Pembebanan ( <i>Acceleration</i> ) & Perlambatan Pembebanan ( <i>Deceleration</i> ).....	77
2.2 Kerangka Berfikir.....	79
2.3 Hipotesis Penelitian... ..	81
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>82</b>
3.1 Waktu , Objek dan Tempat Pelaksanaan Penelitian.....	82
A. Waktu Pelaksanaan.....	82
B. Ojek Penelitian.....	82
C. Tempat Pelaksanaan.....	83

	Halaman
3.2 Metode, Desain dan Variabel Penelitian .....	83
A. Metode Penelitian .....	83
B. Desain Penelitian.....	84
C. Variabel Penelitian.....	86
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	88
3.4 Parameter Penelitian.....	92
3.5 Teknik Pengumpulan Data .....	92
A. Observasi Hasil (Pengamatan Hasil).....	93
B. Simulasi Uji Coba Alat <i>Electrical Generation Fundamental</i> .....	93
3.6 Kalibrasi Instrumen.....	96
A. Analisis Proses Sinkronisasi.....	97
B. Analisis Beban Daya yang Naik-Turun.....	101
C. Analisis Beban Lebih ( <i>Overload</i> ).....	101
D. Analisis Simulasi Hasil Proses Perubahan Tegangan, Frekuensi, Arus, Kecepatan, Sudut Daya dan Transient Beban (Akselerasi & Deselerasi) Terhadap Alat <i>Trainer Electrical Generation Fundamentals DAC #490</i> .....	102
3.7. Teknik Analisis Data.....	111
3.8. Alur Penelitian .....	112
<b>BAB VI HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>113</b>
4.1 Deskripsi Data Penelitian.....	113
4.2. Analisis Data Penelitian .....	113
4.2.1. Analisis Beban Daya yang Naik-Turun Pada Unit Generator yang Mengakibatkan Beban Tidak Seimbang .....	114

4.2.2. Analisis Beban Lebih ( <i>Overload</i> ) / Analisis Beban Maksimum Pada Unit Generator .....	114
4.2.3. Analisis Proses Sinkronisasi pada <i>Trainer</i> Alat DAC #490 <i>Electrical Generator Fundamentals</i> .....	115
4.2.4. Analisis Perubahan Karakteristik Beban (Pengaturan Pembagian Daya) .....	119
4.2.5. Analisis Beban Akselerasi.....	121
1). Perubahan Arus dan Tegangan Terhadap Perubahan Beban Daya Akselerasi.....	121
2). Analisis Perubahan Daya Aktif (Megawatt) dan Reaktif (Megavars) Terhadap Perubahan Beban Akselerasi. ....	123
3). Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan ( <i>Speed</i> ) Terhadap Perubahan Beban Akselerasi .....	125
4). Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \Phi$ ) dan <i>Phase Angle</i> (Derajat) Terhadap Perubahan Beban Akselerasi. ....	127
4.2.6. Analisis Perubahan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi.....	129
5). Perubahan Arus dan Tegangan Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi.....	129
6). Analisis Perubahan Daya Aktif (Megawatt) dan Reaktif (Megavars) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Perubahan Beban Akselerasi.....	131
7). Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan ( <i>Speed</i> ) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Perubahan Beban Akselerasi.....	133
8). Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \Phi$ ) dan <i>Phase Angle</i> (Derajat) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Perubahan Beban Akselerasi.....	135
4.2.7. Analisis Beban Deselerasi.....	137
9). Perubahan Arus dan Tegangan Terhadap Beban Deselerasi.....	137
10). Analisis Perubahan Daya Aktif (Megawatt) dan Reaktif (Megavars) Terhadap Perubahan Beban Deselerasi .....	139

11). Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan ( <i>Speed</i> ) Terhadap Perubahan Beban Deselerasi.....	141
12). Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \Phi$ ) dan <i>Phase Angle</i> (Derajat) Terhadap Perubahan Beban Deselerasi .....	143
4.3. Pembahasan Data Penelitian .....	145
4.3.1. Analisis Beban Akselerasi Terhadap Perubahan Beban Daya Dengan Sistem Tenaga Listrik Tidak Dengan Kompensator (Tanpa <i>Capasitor Bank</i> ) DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> .....	145
a. Analisis Perubahan Beban Akselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> (0 ke $M_1=53600$ HP).....	145
b. Analisis Perubahan Beban Akselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 =53600$ HP + 134000 HP).....	147
c. Analisis Perubahan Beban Akselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 + M_3 =53600$ HP + 134000 HP + 26800 HP).....	149
d. Analisis Perubahan Beban Akselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 =53600$ HP + 134000 HP + 26800 HP + 100 HP) .....	151
e. Analisis Perubahan Beban Akselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 =53600$ HP + 134000 HP + 26800 HP + 100 HP + 134000 HP).....	153
f. Analisis Perubahan Beban Akselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + H_1 =53600$ HP + 134000 HP + 26800 HP + 100 HP + 134000 HP + 10 MW) .....	155
g. Analisis Perubahan Beban Akselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + H_1 =53600$ HP + 134000 HP + 26800 HP + 100 HP + 134000 HP + 10 MW + 100 MW).....	157
4.3.2. Analisis Beban Akselerasi Terhadap Perubahan Beban Daya Dengan Sistem Tenaga Listrik Dengan Kompensator ( <i>Capasitor Bank = 3300 MFD</i> ) DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> .....	158
a. Analisis Perubahan Beban Akselerasi Dengan <i>Capasitor Bank</i> DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> (0 ke $M_1=53600$ HP).....	159

b. Analisis Perubahan Beban Akselerasi Dengan <i>Capasitor Bank</i> DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 = 53600 \text{ HP} + 134000 \text{ HP}$ ).....	161
c. Analisis Perubahan Beban Akselerasi Dengan <i>Capasitor Bank</i> DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 + M_3 = 53600 \text{ HP} + 134000 \text{ HP} + 26800 \text{ HP}$ ) .....	163
d. Analisis Perubahan Beban Akselerasi Dengan <i>Capasitor Bank</i> DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 53600 \text{ HP} + 134000 \text{ HP} + 26800 \text{ HP} + 100 \text{ HP}$ ).....	165
e. Analisis Perubahan Beban Akselerasi Dengan <i>Capasitor Bank</i> DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 = 53600 \text{ HP} + 134000 \text{ HP} + 26800 \text{ HP} + 100 \text{ HP} + 134000 \text{ HP}$ ).....	167
f. Analisis Perubahan Beban Akselerasi Dengan <i>Capasitor Bank</i> DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + H_1 = 53600 \text{ HP} + 134000 \text{ HP} + 26800 \text{ HP} + 100 \text{ HP} + 134000 \text{ HP} + 10 \text{ MW}$ ) .....	169
g. Analisis Perubahan Beban Akselerasi Dengan <i>Capasitor Bank</i> DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + H_1 = 53600 \text{ HP} + 134000 \text{ HP} + 26800 \text{ HP} + 100 \text{ HP} + 134000 \text{ HP} + 10 \text{ MW} + 100 \text{ MW}$ ).....	171
4.3.3. Analisis Beban Deselerasi Terhadap Perubahan Beban Daya Dengan Sistem Tenaga Listrik Tidak Dengan Kompensator ( <i>Capasitor Bank</i> = 3300 MFD) DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> .....	172
a. Analisis Perubahan Beban Deselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> (0 ke $M_5 = 13400 \text{ HP}$ ).....	173
b. Analisis Perubahan Beban Deselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_5 + M_4 = 13400 \text{ HP} + 100 \text{ HP}$ ).....	175
c. Analisis Perubahan Beban Deselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_5 + M_4 + H_2 = 13400 \text{ HP} + 100 \text{ HP} + 100 \text{ MW}$ ) .....	177
d. Analisis Perubahan Beban Deselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> ( $M_5 + M_4 + H_2 + H_1 = 13400 \text{ HP} + 100 \text{ HP} + 100 \text{ MW} + 10 \text{ MW}$ ) .....	179

e. Analisis Perubahan Beban Deselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation</i> <i>Fundamentals</i> ( $M_5 + M_4 + M_3 + H_2 + H_1 = 13400 \text{ HP} + 100 \text{ HP} + 26800 \text{ HP} + 100 \text{ MW} + 10 \text{ MW}$ ).....	181
f. Analisis Perubahan Beban Deselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation</i> <i>Fundamentals</i> ( $M_5 + M_4 + M_3 + M_2 + H_2 + H_1 = 13400 \text{ HP} + 100 \text{ HP} + 26800 \text{ HP} + 134000 \text{ HP} + 100 \text{ MW} + 10 \text{ MW}$ ) .....	183
g. Analisis Perubahan Beban Akselerasi DAC #490 <i>Electrical Generation</i> <i>Fundamentals</i> ( $M_5 + M_4 + M_3 + M_2 + M_1 + H_2 + H_1 = 13400 \text{ HP} + 100 \text{ HP} + 26800 \text{ HP} + 134000 \text{ HP} + 53600 \text{ HP} + 100 \text{ MW} + 10 \text{ MW}$ ) .....	185
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>188</b>
A. Kesimpulan.....	188
B Saran .....	191
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>192</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b> .....	<b>195</b>



## DAFTAR TABEL

	Halaman
4.4 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan Arus (A) dan Tegangan (V) Terhadap Beban Akselerasi.....	121
4.5 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan Arus (A) dan Tegangan (V) Terhadap Beban Akselerasi.....	122
4.6 Data Line Hasil Analisis Perubahan Arus (A) dan Tegangan (V) Terhadap Beban Akselerasi.....	122
4.7 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan Daya Aktif dan Daya Reatif Terhadap Beban Akselerasi.....	123
4.8 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan Daya Aktif (MW) dan Daya Reatif (MVARs) Terhadap Beban Akselerasi .....	124
4.9 Grafik Line Hasil Analisis Perubahan Daya Aktif (MW) dan Daya Reatif (MVARs) Terhadap Beban Akselerasi .....	124
4.10 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan (Rpm) Terhadap Beban Akselerasi .....	125
4.11 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan (Rpm) Terhadap Beban Akselerasi .....	126
4.12 Grafik Line Hasil Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan (Rpm) Terhadap Beban Akselerasi .....	126
4.13 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \varphi$ ) dan <i>Phase Angle</i> ( $0^\circ$ ) Terhadap Beban Akselerasi.....	127
4.14 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \varphi$ ) dan <i>Phase Angle</i> ( $0^\circ$ ) Terhadap Beban Akselerasi.....	128
4.15 Grafik Line Hasil Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \varphi$ ) dan <i>Phase Angle</i> ( $0^\circ$ ) Terhadap Beban Akselerasi.....	128
4.16 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan Arus (A) dan Tegangan (V) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	129
4.17 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan Arus (A) dan Tegangan (V) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	130

4.18 Grafik Line Hasil Analisis Perubahan Arus (A) dan Tegangan (V) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	130
4.19 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (MVARs) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	131
4.20 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (MVARs) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	132
4.21 Grafik Line Hasil Analisis Perubahan Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (MVARs) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	132
4.22 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan (Rpm) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	133
4.23 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan (Rpm) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	134
4.24 Grafik Line Hasil Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan (Rpm) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	134
4.25 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \Phi$ ) dan <i>Phase Angle</i> ( $0^\circ$ ) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	135
4.26 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \Phi$ ) dan <i>Phase Angle</i> ( $0^\circ$ ) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	136
4.27 Grafik Line Hasil Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \Phi$ ) dan <i>Phase Angle</i> ( $0^\circ$ ) Dengan <i>Capasitor Bank</i> Terhadap Beban Akselerasi .....	136
4.28 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan Arus (A) dan Tegangan (V) Terhadap Beban Deselerasi.....	137
4.29 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan Arus (A) dan Tegangan (V) Terhadap Beban Deselerasi.....	138
4.30 Grafik Line Hasil Analisis Perubahan Arus (A) dan Tegangan (V) Terhadap Beban Deselerasi.....	138
4.31 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (MVARs) Terhadap Beban Deselerasi .....	139
4.32 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (MVARs) Terhadap Beban Deselerasi .....	140

4.33 Grafik Line Hasil Analisis Perubahan Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (MVARs) Terhadap Beban Deselerasi .....	140
4.34 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan (Rpm) Terhadap Beban Deselerasi.....	141
4.35 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan (Rpm) Terhadap Beban Deselerasi.....	142
4.36 Grafik Line Hasil Analisis Perubahan Frekuensi (Hz) dan Kecepatan (Rpm) Terhadap Beban Deselerasi.....	142
4.37 Data Tabel Hasil Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \varphi$ ) dan <i>Phase Angle</i> ( $0^\circ$ ) Terhadap Beban Deselerasi.....	143
4.38 Grafik Tabel Hasil Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \varphi$ ) dan <i>Phase Angle</i> ( $0^\circ$ ) Terhadap Beban Deselerasi.....	144
4.39 Grafik Line Hasil Analisis Perubahan <i>Power Factor</i> ( $\cos \varphi$ ) dan <i>Phase Angle</i> ( $0^\circ$ ) Terhadap Beban Deselerasi.....	144

## DAFTAR GAMBAR

Halaman

1.1	Pembangkit Tenaga Listrik.....	2
1.2	Kebutuhan Listrik Per Sektor di Indonesia Tahun 2003 s.d. 2020 .....	3
1.3	<i>Electrical Generation Fundamentals</i> Tranier #490.....	5
2.1	Diagram Generator AC dan Bentuk Gelombang Sinusoidal 1 Phase .....	15
2.2	a. Diagram Generator AC 3 Phase.....	16
	b. Bentuk Gelombang Sinusoidal Generator 3 Phase.....	16
2.3	Konstruksi Generator Arus Bolak-balik.....	16
2.4	Prinsip Kerja Generator Arus Bolak-Balik (AC) Tiga Phase $120^{\circ}$ .....	18
2.5	Model Kondisi Reaksi Jangkar Generator.....	20
2.6	a. Kurva Kondisi Generator Tanpa Beban .....	21
	b. Rangkaian Ekuivalen Kondisi Generator Tanpa Beban.....	21
2.7	Tegangan Kerja Yang Sama <i>Power Factor 1</i> dan Rpm 1800.....	23
2.8	a. Urutan Phase ABC.....	24
	b. <i>Phase Sequence Indicator</i> (Alat Pendeteksi Urutan Phase).....	24
2.9	Frekuensi Kerja Yang Sama (Hasil Proses Sinkronisasi Generator) .....	25
2.10	a. Sudut Phase Yang Sama (0 Derajat).....	26
	b. Synchroscope (Alat Pendeteksi Sudut Phase).....	26
2.11	Sistem Interkoneksi Dengan 4 Buah Pusat Listrik dan 7 Buah Gardu Induk Dengan Tegangan Transmisi 150 KV.....	29
2.12	Sistem Interkoneksi (Pusat Pembangkit Listrik) 2 Buah Gardu Induk (GI) & Subsistem Distribusinya.....	30
2.13	Rangkaian Beban Resistif Gelombang AC .....	43
2.14	Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Resistif.....	43
2.15	Rangkaian Induktif Gelombang AC .....	44
2.16	Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Induktif.....	44

	Halaman
2.17 Rangkaian Beban Kapasitif Gelombang AC .....	45
2.18 Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Kapasitif .....	45
2.19 Segitiga Daya ( <i>Triangle Power</i> ) listrik .....	48
2.20 Arus Se Phase Dengan Tegangan .....	49
2.21 Arus Tertinggal Dari Tegangan Sebesar Sudut $\cos \Phi$ .....	50
2.22 Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut $\cos \Phi$ .....	50
2.23 DAC #490 <i>Electrical Generation Fundamentals</i> .....	53
2.24 a. <i>Display Function</i> A Tanpa Beban .....	55
b. <i>Display Function</i> A Berbeban .....	55
2.25 <i>Display Function</i> B .....	56
2.26 a. Segitiga Daya <i>Display Function</i> C Berbeban .....	57
b. Segitiga Daya Dengan Faktor Daya 1 .....	57
2.27 <i>Display Function</i> D .....	58
2.28 <i>Display Function</i> dan <i>Sync-Selector</i> DAC #490 .....	58
2.29 Grafik Terhadap $t$ untuk (a) sistem <i>stable</i> & (b) <i>unstable</i> .....	75
3.1 DAC <i>Electrical Generator Fundamentals Trainer #490</i> .....	88
3.2 DAC <i>Electrical Generation Fundamentals #490</i> .....	93
3.3 Rangkaian Kelistrikan DAC #490 .....	95
3.4 Tegangan Kerja Yang Sama <i>Power Factor</i> 1 .....	98
3.5 Frekuensi Kerja Yang Sama (Hasil Proses Sinkronisasi Generator) .....	98
3.6 <i>Phase Sequence Indicator</i> (Alat Pendeteksi Urutan Fasa) .....	99
3.7 a. Sudut Phase Yang Sama (0 Derajat) .....	100
b. Synchroscope (Alat Pendeteksi Sudut Phase) .....	100
3.8 Proses Sinkronisasi Generator .....	100
3.9 DAC <i>Electrical Generation Fundamentals Trainer #490</i> Menunjukkan Skala Yang Digunakan 30 KV .....	103

3.10 DAC <i>Electrical Generation Fundamentals Trainer #490</i> Menunjukkan Pembacaan Frekuensi-Meter (Hz) .....	104
3.11 DAC <i>Electrical Generation Fundamentals Trainer #490</i> Menunjukkan Pembacaan Ampere-Meter (A) .....	106
3.12 DAC <i>Electrical Generation Fundamentals Trainer #490</i> Menunjukkan Pembacaan Kecepatan-Meter (RPM).....	107
3.13 DAC <i>Electrical Generation Fundamentals Trainer #490</i> Menunjukkan Pembacaan Segitiga Daya/Sudut Daya.....	109
3.14 DAC <i>Electrical Generation Fundamentals Trainer #490</i> Menunjukkan Pembacaan Segitiga Daya/ Sudut Daya .....	109
3.15 Desain Alur Penelitian.....	112
4.1 DAC <i>Electrical Generation Fundamentals Trainer #490</i> Reset ON-OFF.....	116
4.2 DAC <i>Electrical Generation Fundamentals Trainer #490</i> Shut Breaker 3 dan 4.....	117
4.3 DAC <i>Electrical Generation Fundamentals Trainer #490</i> Shut Breaker Diesel 1 akan otomatis start dan dalam kondisi <i>In-Line</i> (Segaris) .....	118

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1.Surat Usulan Topik Skripsi .....	195
Lampiran 2.Surat Usulan Pembimbing Skripsi .....	196
Lampiran 3.Surat Kesiediaan Menjadi Pembimbing Skripsi .....	197
Lampiran 4.Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik UNNES .....	198
Lampiran 5.Surat Izin Penelitian.....	199
Lampiran 6.Surat Peminjaman Alat Laboratorium.....	200
Lampiran 7.Surat Selesai Bimbingan Skripsi.....	201
Lampiran 8.Surat Pembimbingan Penulisan Skripsi.....	202
Lampiran 9.Foto Kegiatan Observasi.....	203
Lampiran 10.Foto Pengambilan Data .....	203
Lampiran 11.Grafik Plasma Display Turbin 1 .....	203
Lampiran 12.Grafik Plasma Display Sinkronisasi.....	204
Lampiran 13.Grafik Plasma Display Hasil .....	204
Lampiran 14.Grafik Plasma Display <i>Power Factor</i> dan <i>Phase Angle</i> .....	204
Lampiran 15.Grafik Plasma Display Tegangan (Volt).....	205
Lampiran 16.Grafik Plasma Display Kecepatan Mekanik/ <i>Speed (Rpm)</i> .....	205

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

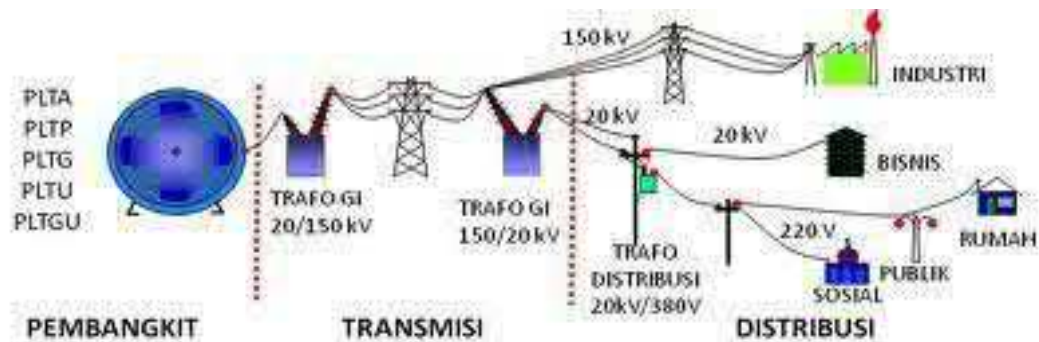
Kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat dari waktu ke waktu, semakin banyak masyarakat atau industri yang menggunakan peralatan elektronik untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari (baik di dunia kerja ataupun di kehidupan). Peralatan elektronik tersebut membutuhkan tegangan yang konstan. Pada umumnya peralatan elektronik menggunakan tenaga listrik yang mengakibatkan meningkatnya kebutuhan tenaga listrik. Hal tersebut menimbulkan suatu permasalahan atau pemikiran yaitu bagaimana Perusahaan Listrik Negara (PLN) berusaha memberikan pelayanan maksimal terhadap kebutuhan pemasokan listrik negara. Pelayanan tersebut sesuai dengan kebutuhan konsumen dengan sistem tenaga listrik yang mempunyai mutu, kontinuitas dan keandalan yang tinggi. Hal ini dapat dicapai apabila sistem tenaga listrik itu mempunyai tegangan yang stabil dan konstan pada nilai yang sudah ditentukan, bergantung pada keandalan sistem tenaga listrik yang dimulai dari pusat pembangkit sampai ke pusat beban.

Permasalahan yang ada pada sistem tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai ke pusat beban adalah permasalahan/gangguan faktor manusia (kesalahan/kelalaian teknisi), faktor internal (gangguan sistem dan kualitas beban yang aus/ ketuaaan, gangguan pengaman), serta faktor eksternal (cuaca, gempa bumi, tanah longsor, pohon tumbang, dll). Ada juga gangguan/permasalahan beban lebih (*overload*), hubung singkat, tegangan lebih (*over voltage*), dan daya



balik (*reserve power*). Salah satu fenomena yang terjadi adalah adanya gangguan/permasalahan listrik padam pada transmisi saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 Kv di ungaran dan pemalang.

Pembangkit tenaga listrik adalah salah satu bagian dari sistem tenaga listrik. Pembangkit tenaga listrik terdapat peralatan elektrikal, mekanikal dan bangunan kerja. Komponen-komponen utama dalam pembangkitan yaitu generator, turbin yang berfungsi untuk mengkonversi energi (potensi) mekanik menjadi energi (potensi) listrik dan lainnya. Berikut ilustrasi gambar pembangkit tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai ke konsumen.

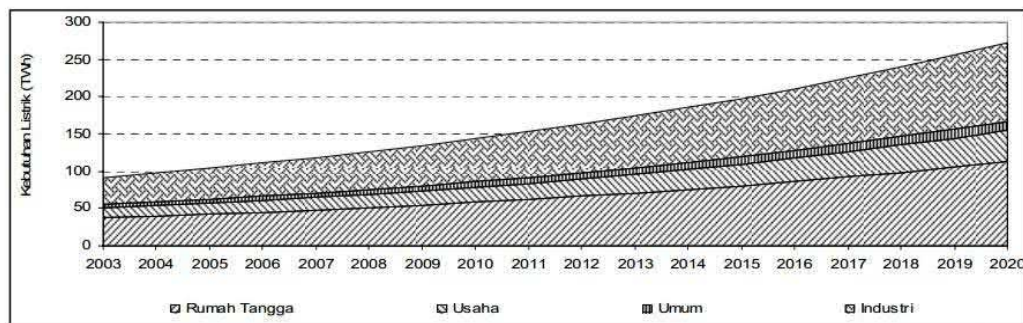


Gambar 1.1 Pembangkit Tenaga Listrik  
(Sumber: Akhmad Insyah Ansori, 2013:1 )

Gambar diatas menunjukkan bahwa listrik yang dihasilkan dari pusat pembangkit menggunakan energi potensi mekanik, untuk menggerakkan turbin yang porosnya dikopel/diparalel dengan generator. Generator tersebut berputar menghasilkan energi listrik, dan energi listrik yang dihasilkan disalurkan ke gardu induk melalui jaringan transmisi kemudian secara langsung didistribusikan ke konsumen melalui jaringan distribusi.

Data proyeksi kebutuhan listrik di Indonesia dari tahun 2003-2020 diperhitungkan per 22 wilayah pemasaran listrik PLN, yaitu sektor industri, rumah

tangga, umum dan lainnya. Berdasarkan hasil proyeksi yang dilakukan oleh Dinas Perencanaan Sistem PT PLN (Persero) dan Tim Energi BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi). Terlihat bahwa selama kurun waktu tersebut rata-rata kebutuhan listrik di Indonesia tumbuh sebesar 6,5% per tahun dengan pertumbuhan listrik di sektor komersial yang tertinggi, yaitu sekitar 7,3% pertahun, sektor rumah tangga dengan pertumbuhan kebutuhan listrik sebesar 6,9% per tahun. (Muchlis dan Darma Permana, hal:23). Berikut grafik kebutuhan listrik nasional didominasi oleh sektor industri, sektor rumah tangga, usaha, dan umum.



Gambar 1.2 Kebutuhan Listrik Per sektor di Indonesia Tahun 2003 s.d. 2020 (Sumber:Muchlis dan Darma Permana,hal: 23)

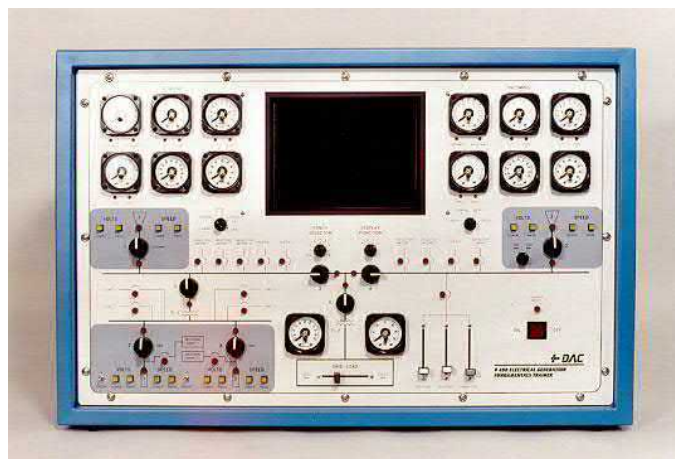
Berdasarkan data di atas, dapat disimpulkan kebutuhan listrik di Indonesia dari tahun 2003-2020 akan mengalami peningkatan dalam berbagai sektor. Oleh sebab itu, untuk memenuhi kebutuhan listrik yang semakin meningkat salah satu solusinya adalah perlu adanya sinkronisasi atau penggabungan lebih dari satu generator dengan sistem interkoneksi. Intinya suatu generator mendapatkan pembebanan yang melebihi dari kapasitasnya, maka dapat mengakibatkan generator tersebut tidak bekerja atau bahkan akan mengalami kerusakan. Salah satu upaya untuk mengatasi kebutuhan listrik atau beban yang meningkat yaitu

dengan menjalankan generator lain, kemudian dioperasikan secara paralel dengan generator yang telah bekerja sebelumnya, pada satu jaringan listrik yang sama. Keuntungan dari menggabungkan 2 generator atau lebih dalam satu jaringan listrik tersebut adalah bila salah satu generator tiba-tiba mengalami gangguan, maka generator dapat dihentikan serta pembebanan (pembagian daya) dapat dialihkan pada generator lain, sehingga pemutusan listrik secara total dapat dihindari. Cara memparalel dua generator atau lebih terdapat beberapa syarat diantaranya : polaritas dari generator harus sama, nilai efektifitas tegangan harus sama, tegangan generator yang diparalelkan harus mempunyai bentuk gelombang yang sama, frekuensi generator dengan jala-jala harus sama, dan urutan fasa dari kedua generator harus sama.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka peneliti mengambil judul — **Unjuk Kerja Pengaturan Pembagian Daya Pada Sinkronisasi Generator AC**. Dari hasil penelitian dimaksudkan untuk bagaimana cara melakukan sinkronisasi generator, cara untuk melakukan pembagian beban saat terjadi beban puncak pada unit pembangkit, dan melakukan analisis serta simulasi terhadap pembagian beban sesuai dengan kebutuhan. Disamping itu penelitian ini bertujuan untuk mengajarkan kepada siswa/mahasiswa untuk dapat melakukan praktik-praktik dalam sistem pembangkitan tenaga listrik dan dapat menganalisis secara nyata dalam dunia lapangan.

UNNES tepatnya di jurusan Teknik Elektro terdapat simulasi alat sinkronisasi generator. Peralatan simulasi DAC #490 adalah suatu trainer untuk melakukan simulasi dalam hal sinkronisasi generator atau pembagian daya pada unit

pembangkit listrik. Peneliti akan melakukan penelitian eksperimen terhadap alat tersebut dan hasil dari data tersebut akan diaplikasikan dalam perkuliahan di jurusan Teknik Elektro UNNES. Berikut dokumentasi peralatan simulasi sinkronisasi generator yang ada di laboratorium Teknik Elektro, UNNES.



Gambar 1.3 DAC *Electrical Generation Fundamentals Trainer #490*

Simulator peralatan DAC #490 DAC *Electrical Generation Fundamentals*

*Trainer* memiliki kelebihan dirancang untuk menunjukkan prinsip-prinsip pembangkit listrik secara operasi peralatan modern. Selain itu juga dilengkapi pengaturan meter analog, seperti yang terlihat diatas, layar plasma gas yang menunjukkan tampilan synchroscope dan layar sudut fasa yang mewakili perbedaan fasa antara berjalan dan sumber yang masuk. Simulator peralatan DAC #490 *Electrical Generation Fundamentals Trainer* juga dapat melakukan representasi grafis tentang bagaimana beban dibagi oleh dua mesin yang berbeda ukuran yang ditampilkan menggunakan kurva karakteristik pembangkit. Hubungan antara beban nyata dan beban reaktif ditampilkan menggunakan meter dan diagram segitiga daya pada layar plasma gas. Simulator peralatan DAC #490 *Electrical Generation Fundamentals Trainer* juga dapat melakukan simulasi

energi bus mati, melakukan operasi pembebanan, benar melakukan operasi parallel, dapat menunjukkan operasi dari generator secara parallel dan berbagi beban, mengamati respon generator untuk induktif, resistif, dan beban kapasitif, dapat menghitung faktor daya, serta dapat mengatur tegangan dan frekuensi sesuai prosedur yang diinginkan.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Penelitian ini dilakukan berdasarkan beberapa masalah yang timbul pada unjuk kerja pengaturan pembagian daya pada sinkronisasi generator AC, diantaranya:

- a. Adanya beban yang naik-turun pada unit generator sehingga mengakibatkan beban yang tidak seimbang.
- b. Adanya perubahan-perubahan beban, frekuensi, arus tegangan, dan kecepatan pada unit generator yang mana mengakibatkan generator tidak dapat bekerja secara maksimal.
- c. Adanya beban lebih (*overload*) atau beban maksimum pada unit generator, dimana terjadi akibat penggunaan beban yang melebihi kapasitas keluaran yang di hasilkan oleh unit generator dari pusat pembangkit listrik.

Berdasarkan latar belakang identifikasi masalah tersebut maka dalam penelitian ini akan melakukan penelitian eksperimen dengan metode deskripsi tentang unjuk kerja pengaturan pembagian daya pada sinkronisasi generator AC.

### **1.3 Pembatasan Masalah**

Berdasarkan beberapa permasalahan yang diidentifikasi, inti dari permasalahan tersebut terletak pada penggunaan alat simulasi unjuk kerja pengaturan pembagian daya pada sinkronisasi generator AC, yaitu dengan menggunakan simulasi peralatan laboratorium Teknik Elektro UNNES DAC #490 *Electrical Generation Fundamentals Trainer*. Penelitian menggunakan alat tersebut hanya melakukan simulasi tentang pembagian daya, sinkronisasi, penggantian daya dan pengaturan daya (perubahan beban, arus, tegangan, dan kecepatan dll).

### **1.4 Rumusan Masalah**

Permasalahan utama yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana proses unjuk kerja sinkronisasi untuk meningkatkan kapasitas daya dengan menggunakan modul DAC #490 ?
- b. Bagaimana proses unjuk kerja melakukan pembagian beban pada tiap unit dengan menggunakan modul DAC #490 ?
- c. Bagaimana proses unjuk kerja melakukan penggantian beban (memindahkan daya) ke unit lain dengan menggunakan modul DAC #490 ?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

- a. Menggunakan simulasi modul DAC #490 dapat mengetahui proses unjuk kerja sinkronisasi generator AC (pembangkit) untuk meningkatkan kapasitas daya yang dibutuhkan.
- b. Menggunakan simulasi modul DAC #490 dapat mengetahui proses pembagian beban pada tiap unit pembangkit.
- c. Menggunakan simulasi modul DAC #490 dapat mengetahui proses penggantian beban (memindahkan daya) ke unit lain.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Manfaat teoritis

Sistem unjuk kerja pembagian daya pada sinkronisasi generator AC dapat memberi manfaat dalam pembagian daya pada pembangkit, dapat juga mengatur pembagian daya sesuai kebutuhan dan dapat mengurangi dampak kerusakan pada unit pembangkit generator saat beban maksimal dan menghemat biaya operasional.

- b. Manfaat praktis

Apabila penelitian ini memperoleh hasil sesuai dengan tujuan penelitian, maka diharapkan akan memberikan manfaat praktis bagi pihak yang terkait seperti:

1) Bagi masyarakat

Penelitian ini dilakukan, agar masyarakat dapat merasakan tentang manfaat pembagian daya (kebutuhan listrik) baik itu industri, rumah tangga, umum, maupun dunia usaha.

2) Bagi lembaga

Salah satu upaya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat, maka salah satu solusinya yaitu dengan menggunakan sistem pembagian daya dengan melakukan sinkronisasi generator.

3) Bagi mahasiswa

Mengajarkan kepada siswa/mahasiswa untuk dapat melakukan praktik-praktik dalam sistem pembangkitan tenaga listrik dan dapat menganalisis secara nyata dalam dunia lapangan.

4) Bagi peneliti

Peneliti dapat mengetahui cara melakukan pembagian daya, proses sinkronisasi, penggantian daya dan pengaturan daya dengan menggunakan simulasi alat DAC #490 pada khususnya dan dalam sistem operasi tenaga listrik atau unit pembangkit pada umumnya.



## 1.7 Penegasan Istilah

Guna mempermudah pemahaman dan menghindari kesalahan penafsiran terhadap penelitian ini, maka perlu kiranya dijabarkan beberapa istilah pokok dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### a. Generator AC

Generator AC adalah suatu sistem yang menghasilkan energi listrik dengan proses pengkonversian energi dari energi mekanik menjadi energi listrik. Dihasilkan oleh putaran kumparan rotor yang memotong suatu medan elektromagnetik yang dihasilkan stator, sehingga kemudian menyebabkan timbulnya energi listrik.

### b. Sinkronisasi Generator

Sinkronisasi generator adalah memparalelkan kerja dua buah generator atau lebih untuk mendapatkan daya sebesar jumlah generator tersebut dengan syarat syarat yang telah ditentukan yaitu amplitude tegangan, frekuensi, sefasa dan sudut fasa harus sama.

### c. Sistem Interkoneksi

Sistem interkoneksi adalah suatu sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat listrik (Pembangkit) dan beberapa gardu induk (GI). Terhubung (Terinterkoneksi) antara satu dengan yang lain melalui sebuah saluran Transmisi melayani beban yang ada pada semua gardu induk (GI) yang terhubung.

### d. Pembagian Daya

Pembagian daya adalah proses dimana bertujuan untuk melakukan pembagian daya jika terjadi beban lebih atau puncak pada unit generator. Tujuan agar kerja

generator tidak melebihi kapasitas kerjanya (kerja maksimal) sehingga mampu menanggulangi kerusakan pada unit generator.

e. Simulasi Peralatan DAC #490

Simulasi peralatan DAC #490 adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk melakukan simulasi pembangkitan tenaga listrik, dimana salah satu fungsinya untuk melakukan simulasi sinkronisasi dan simulasi pembagian daya. Berdasarkan istilah-istilah yang telah di tegaskan diatas, maka penelitian ini bermaksud untuk melakukan simulasi unjuk kerja pembagian daya pada sinkronisasi generator AC sebagai simulasi pembagian daya listrik di saat pembangkit mengalami beban puncak atau penuh maka perlu adanya pembagian daya dengan cara melakukan sistem interkoneksi dengan cara sinkronisasi dua generator atau lebih.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

##### Pengertian Kajian Pustaka

Kajian pustaka adalah teori literatur dan hasil penelitian yang relevan dari identifikasi masalah dalam penelitian. Kajian pustaka ini dimaksudkan dalam rangka menelaah konsep-konsep atau variabel yang akan diteliti, untuk memberikan jawaban teoritik terhadap identifikasi permasalahan penelitian yang telah dirumuskan. Berikut identifikasi masalah dalam penelitian :

##### **A. Adanya Beban Naik-Turun Yang Mengakibatkan Beban Tidak Seimbang**

Adanya beban naik-turun yang mengakibatkan beban tidak seimbang adalah suatu keadaan yang terjadi apabila salah satu fasa atau semua fasa pada pembangkitan generator mengalami perbedaan fasa. Perbedaan ini bisa dilihat dari besarnya vektor arus/ tegangan dan sudut fasa dari tiap-tiap fasa tersebut. Tiap-tiap pembangkit generator dinyatakan dengan keadaan seimbang apabila memenuhi syarat sebagai berikut:

- 1). Ketiga vektor arus dari setiap fasa (R,S,T) mempunyai nilai yang sama besar.
- 2). Perbedaan sudut fasa dari ketiga vektor fasa adalah masing-masing berbeda  $120^{\circ}$ .

Sebaliknya, apabila salah satu atau kedua syarat diatas tidak terpenuhi, maka bisa dikatakan bahwa trafo tersebut mengalami keadaan yang tidak seimbang. Dilihat dari vektornya, ada beberapa hal yang terjadi apabila pembangkit generator mengalami beban tidak seimbang antara lain :

- 1). Vektor arus pada fasa R, S, dan T mempunyai nilai yang sama besar tetapi sudut antar fasa satu dengan yang lain tidak membentuk  $120^\circ$
- 2). Sudut pada vektor antar fasa sebenarnya sudah membentuk  $120^\circ$  namun nilai vektor pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan
- 3). Nilai vektor pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan sekaligus sudut pada vektor antar fasa tidak membentuk  $120^\circ$ .

**B. Adanya perubahan-perubahan beban, frekuensi, arus, tegangan, dan kecepatan pada unit generator yang mengakibatkan generator tidak bekerja secara maksimal**

Adanya perubahan-perubahan beban, frekuensi, arus, tegangan, dan kecepatan pada unit generator yang mengakibatkan generator tidak bekerja secara maksimal adalah perubahan beban yang terjadi pada generator pembangkit sistem tenaga listrik. Perubahan-perubahan tersebut mempengaruhi terbatasnya kemampuan sebuah generator untuk memenuhi kebutuhan beban dan mempengaruhi kestabilan sistem tenaga listrik. Dimana perubahan-perubahan beban memberikan dampak fluktuasi terhadap tegangan dan arus pada sistem tenaga listrik. Sehingga ketimpangan antara daya input mekanis (prime mover)

dengan daya output listrik (beban) yang secara tidak langsung mempengaruhi putaran rotor generator.

### **C. Adanya beban lebih (*overload*)**

Adanya beban lebih (*overload*) adalah gangguan beban lebih yang merupakan gangguan bukan murni, akan tetapi jika dibiarkan terus-menerus dapat merusak peralatan. Gangguan beban lebih sering terjadi terutama pada generator, transformator daya, dan saluran transmisi.

## **2.2 Landasan Teori**

### **Pengertian Landasan Teori**

Landasan teori adalah landasan yang digunakan untuk menguliti atau mengupas teori permasalahan penelitian. Landasan teori dalam bidang teknik lazimnya adalah persamaan yang digunakan dan untuk memverifikasi hipotesis penelitian. Landasan teori biasanya mencakup teori dari penelitian yang relevan berupa konsep-konsep dan variabel serta definisinya sesuai dengan judul penelitian yang dapat memperjelas apa saja yang akan diteliti. Berikut landasan teori dalam penelitian :

### **A. Generator AC**

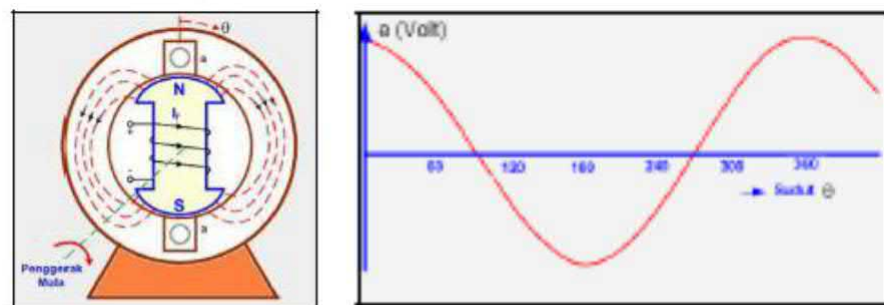
#### **1. Pengertian Generator AC**

Generator Arus Bolak-balik (AC) merupakan generator yang berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik. Generator arus bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator, generator AC (*Alternating*

*Current*), atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotor sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan generator sinkron dihasilkan dari kecepatan putar rotor, kutub-kutub magnet yang berputar, dan dengan kecepatan yang sama medan putar pada stator. Generator sinkron tidak dapat dijalankan sendiri, karena kutub-kutub rotor tidak dapat mengikuti kecepatan medan putar pada waktu saklar terhubung dengan jala-jala. Generator sinkron/ arus bolak-balik dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

a. Generator AC 1 Phase

Generator dalam sistem melilitnya terdiri dari satu kumpulan kumparan atau phase. Dilukiskan dengan satu garis, dalam hal ini tidak diperhatikan banyaknya lilitan. Ujung kumparan atau phase dijelaskan dengan huruf X dan ujung satunya di jelaskan dengan huruf U. Berikut gambar generator 1 phase beserta gelombang sinusoidal.

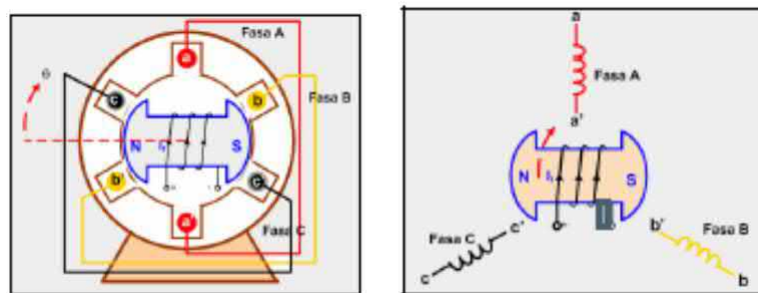


Gambar 2.1 Diagram Generator AC dan Bentuk Gelombang Sinusoidal 1 Phase  
(Sumber: Sumardjati prih,  
Buku SMK Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3, 2008:434)

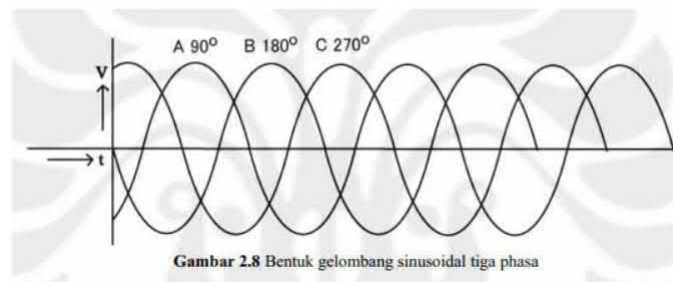
## b. Generator AC 3 Phase

Generator dalam sistem melilitnya terdiri dari tiga kumpulan kumparan atau phase yang dilukiskan dengan ujung statornya diberi tanda U-X; V-Y dan W-Z.

Berikut gambar generator 3 phase beserta gelombang sinusoidal.



Gambar 2.2.a Diagram Generator AC 3 Phase  
(Sumber: Sumardjati prih,  
Buku SMK Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3, 2008:435)



Gambar 2.2.b Bentuk Gelombang Sinusoidal Generator 3 Phase.  
(Sumber: Muhammad Hajar Murdana, FT UI, 2010: 22)

## 2. Konstruksi Generator AC

Konstruksi generator arus bolak-balik (AC) ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu:

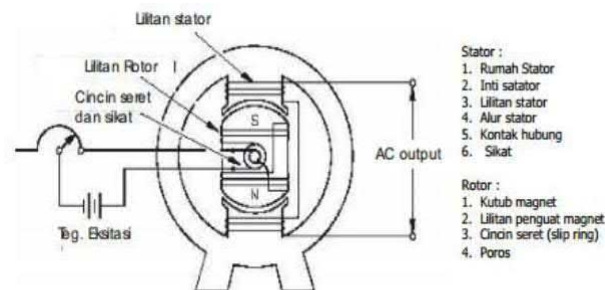
### a. Stator

Stator yaitu bagian diam yang mengeluarkan tegangan arus bolak-balik. Stator terdiri dari badan generator terbuat dari baja yang berfungsi untuk melindungi bagian dalam generator, kotak terminal dan name plate pada

generator. Sedangkan inti stator terbuat dari bahan *ferromagnetic* (besi lunak) yang disusun berlapis-lapis dan terdapat alur-alur tempat untuk menghasilkan tegangan.

#### b. Rotor

Rotor yaitu bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator. Rotor berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Berikut konstruksi dari generator arus bolak-balik:

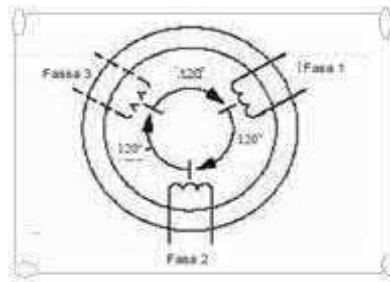


Gambar 2.3 Konstruksi Generator Arus Bolak-balik (AC)  
(Sumber: Buku Teknik Dasar Generator, 2003: 7-8)

### 3. Prinsip Kerja Generator AC

Prinsip dasar generator arus bolak-balik (AC) menggunakan hukum Faraday yang menyatakan bahwa: —jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik (GGL). Prinsip kerja generator arus bolak-balik tiga phase (alternator) pada dasarnya sama dengan generator bolak-balik satu phase, akan tetapi pada generator tiga phase memiliki tiga lilitan yang sama dan tiga tegangan outputnya berbeda phase  $120^0$  pada masing-masing phase. (Teknik Dasar Generator, 2013: 8-9)





Gambar 2.4 Prinsip Kerja Generator Arus Bolak-Balik (AC) Tiga phase 120<sup>0</sup> (Sumber: Teknik Dasar Generator, 2013: 9)

Besar tegangan generator tersebut bergantung pada: kecepatan putaran (N), Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluk (Z), banyaknya fluk magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet (f).

#### 4. Jumlah Kutub Generator AC

Jumlah kutub. Jumlah kutub generator arus bolak-balik tergantung dari kecepatan rotor dan frekuensi dari ggl yang dibangkitkan. Hubungan tersebut dapat ditentukan dengan persamaan:

$$f = \frac{p \cdot n}{120}$$

dimana :  $f$  = frekuensi tegangan yang diinduksikan (Hz)

$p$  = jumlah kutub pada rotor

$n$  = kecepatan rotor (Rpm)

## 5. Generator Berbeban dan Tidak Berbeban

### a. Generator Berbeban

Generator berbeban adalah generator yang bekerja diberi beban listrik (daya).

Generator berbeban diberi beban yang stabil dan berubah-ubah. Bila generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan (V) akan berubah-ubah pula, hal ini disebabkan adanya kerugian tegangan pada:

#### 1) Resistansi Jangkar $X_a$

Resistansi jangkar/phase  $R_a$  menyebabkan terjadinya tegangan jatuh (kerugian tegangan) /phase  $I.R_a$  yang se-phase dengan arus jangkar.

#### 2) Reaktansi Bocor Jangkar

Reaktansi bocor jangkar terjadi saat arus mengalir melalui penghantar jangkar, sebagian fluks yang terjadi tidak mengimbas pada jalur yang telah ditentukan, hal seperti ini disebut fluks bocor.

#### 3) Reaksi Jangkar

Reaksi jangkar terjadi karena adanya arus yang mengalir pada kumparan jangkar saat generator dibebani sehingga menimbulkan terjadinya fluks jangkar ( $\Phi_A$ ) yang berintegrasi dengan fluks yang dihasilkan pada kumparan medan rotor ( $\Phi_F$ ), sehingga akan dihasilkan suatu fluks resultan sebesar: Persamaan tegangan pada generator adalah:

$$E_a = V + I.R_a + j I.X_s$$

$$X_s = X_m + X_a$$

Dengan :  $E_a$  = Tegangan induksi pada jangkar (Volt)

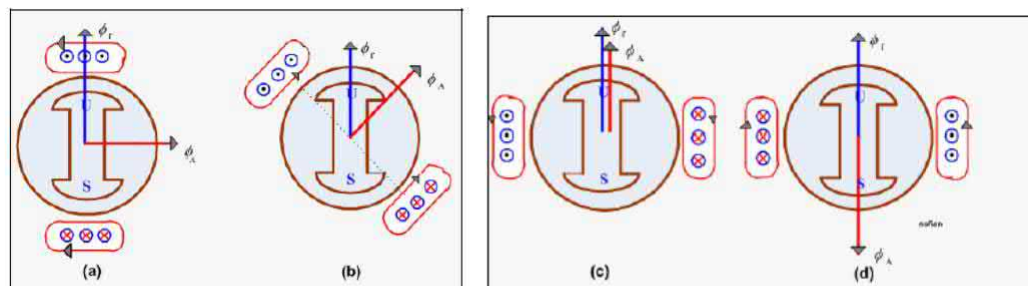
$V$  = Tegangan Output (Volt output)

$R_a$  = Resistansi Jangkar (Ohm)

$X_s$  = Reaktansi Sinkron

Berikut Model Reaksi Jangkar Generator:

- Gambar (a) memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat generator dibebani tahanan (resistif) sehingga arus jangkar  $I_a$  se-phase dengan GGL  $E_b$  dan  $\phi_A$  akan tegak lurus terhadap  $\phi_F$ .
- Gambar (b) memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat generator dibebani tahanan (kapasitif) sehingga arus jangkar  $I_a$  mendahului GGL  $E_b$  sebesar  $\theta$  dan  $\phi_A$  terbelakang terhadap  $\phi_F$  dengan sudut  $(90 - \theta)$ .
- Gambar (c) memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat dibebani tahanan (kapasitif murni) yang mengakibatkan arus jangkar  $I_a$  mendahului GGL  $E_b$  sebesar  $90^\circ$  dan  $\phi_A$  akan memperkuat  $\phi_F$  yang berpengaruh terhadap pemagnetan.
- Gambar (d) memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat arus diberi beban tahanan (induktif murni) sehingga mengakibatkan arus jangkar  $I_a$  terbelakang dari GGL  $E_b$  sebesar  $90^\circ$  dan  $\phi_A$  akan memperlemah  $\phi_F$  yang berpengaruh terhadap pemagnetan.



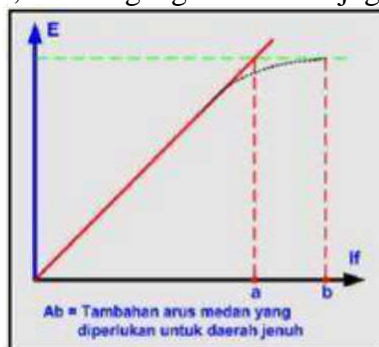
Gambar 2.5 Model Kondisi Reaksi Jangkar Generator (Sumber: Sumardjati prih, Buku SMK Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3, 2008:436)

b. Generator Tanpa Beban (Beban Nol)

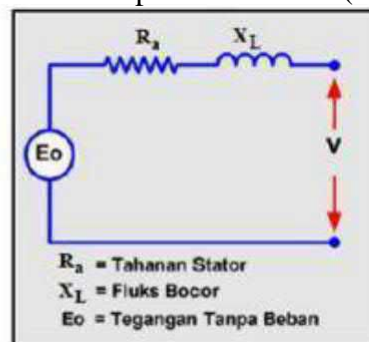
Generator tanpa beban (beban nol) adalah generator sinkron yang difungsikan sebagai generator dengan mesin diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan ( $I_f$ ), maka pada kumparan jangkar stator terjadi induksi tegangan tanpa beban ( $E_o$ ), yaitu dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_o = 4,44 \cdot K_d \cdot K_p \cdot f \cdot \phi_m \cdot T \text{ Volt}$$

Dimana dalam keadaan generator tanpa beban arus jangkar tidak akan mengalir pada stator, sehingga tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar generator (Generator berbeban). Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan ( $I_f$ ). Bila besarnya arus medan dinaikkan, maka tegangan keluaran juga akan naik sampai titik saturasi (titik jenuh).



Gambar 2.6.a.



Gambar 2.6.b.

(Sumber: Sumardjati prih,

Buku SMK Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3, 2008:435)

Berikut gambar dari penjelasan diatas: Gambar 2.6.a. Kurva kondisi generator tanpa beban; gambar 2.6.b. Rangkaian ekuivalen kondisi generator tanpa beban.

## **B. Sinkronisasi Generator AC**

### 1 Pengertian Sinkronisasi Generator AC

Sinkronisasi generator AC adalah operasi parallel pusat-pusat tenaga listrik, yang pada dasarnya merupakan proses penggabungan/memparallelkan kerja dua generator atau lebih pada tegangan listrik AC. Baik pada saat sebuah generator dengan jaringan PLN maupun penambahan unit generator dengan generator lain. Dengan tujuan untuk memperoleh daya sebesar jumlah daya pada generator tersebut dengan syarat-syarat tertentu. Dan tujuan sinkronisasi adalah meningkatkan keandalan dan kapasitas sistem tenaga listrik.

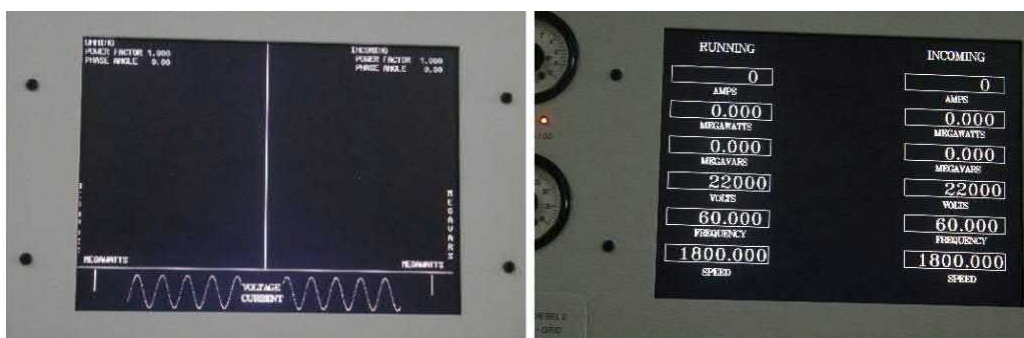
### 2 Syarat Sinkronisasi Generator AC

Adapun syarat-syarat sinkronisasi generator AC sebagai berikut beserta penjabarannya:

#### a. Mempunyai Tegangan Kerja Yang Sama.

Mempunyai tegangan kerja yang sama pada saat diparalel atau disinkronisasi dengan beban kosong *power factor* adalah 1. Dengan *power factor* 1 berarti tegangan antara 2 generator menjadi sama. Pada saat generator bekerja parallel perubahan arus eksitasi (penguatan arus) akan mengubah *power factor*, jika arus eksitasi diperkuat maka nilai *power factor* akan membesar mendekati 1. Dan jika 2 sumber tegangan kerja berasal dari sumber yang sifatnya statis misal dari baterai atau transformator maka tidak akan ada arus antara keduanya. Namun karena 2 sumber merupakan sumber tegangan kerja yang sama yaitu dinamis (generator) maka *power factor* akan terjadi deviasi (penyimpangan).

Deviasi tersebut naik dan turun secara periodik bergantian dan berlawanan. Hal ini terjadi karena adanya sedikit perbedaan sudut phase yang sesekali bergeser karena *power factor* gerak dinamis dari penggerak generator. Hal itu bisa dibuktikan dengan membaca secara bersamaan hasil Rpm dari misal kedua generator tersebut dalam keadaan sinkron generator 1 mempunyai kecepatan putar 1800 Rpm dan generator lain terdapat perbedaan selisih.



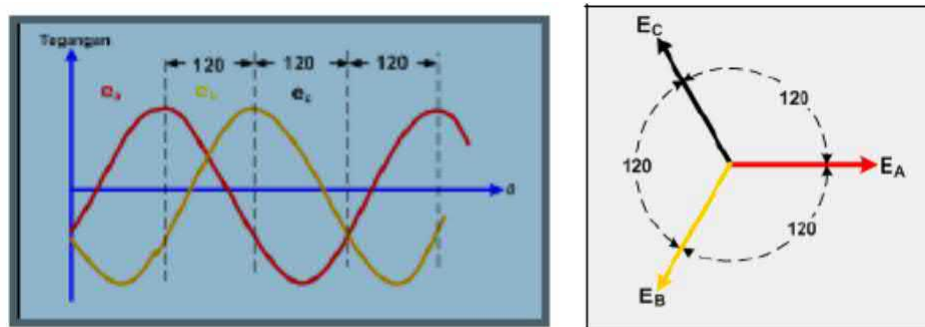
Gambar 2.7 Tegangan Kerja Yang Sama Power Factor 1 Dan Rpm 1800  
(Sumber: DAC #490 Laboratorium Teknik Elektro, UNNES)

b. Mempunyai Urutan Phase Yang Sama.

Mempunyai urutan phase yang sama yaitu arah putaran dari ketiga phase. Arah dalam dunia industri dikenal dengan nama CW (*Clock Wise*) yang artinya searah dengan arah jarum jam, sedangkan yang berlawanan dengan arah jarum jam disebut CCW (*Counter Clock Wise*). Hal ini dapat diukur dengan alat phase indikator. Dimana jika pada saat mengukur jarum bergerak berputar ke kanan dinamakan CW dan apabila jarum ke kiri dinamakan CCW. Disamping itu juga dikenal dengan urutan phasa ACB dan CBA. ABC identik dengan CW dan CBA identik dengan CCW. Perlu diketahui bahwa dalam banyak generator mencantumkan simbol R,S,T,N ataupun L1,L2,L3,N namun tidak selalu berarti

bahwa urutan CW/ABC itu berarti RST ataupun L1,L2,L3 jika diukur urutan STR, TRS, L3,L2,L1 itu juga termasuk CW/ABC.

Sebagai contoh, jika kabel penghantar yang keluar dari generator diseragamkan semua berwarna hitam dan tidak ada kode sama sekali, apakah kita bisa membedakan secara visual atau parameter listrik bahwa penghantar itu phasanya R, S, atau T tentu tidak. Kita hanya membedakan arah urutannya saja CW atau CCW.



Gambar 2.8.a Urutan Phase ABC  
(Sumber: Sumardjati prih, Buku SMK Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3, 2008:430)



Gambar 2.8.b *Phase Sequence Indicator* (Alat Pendeteksi Urutan Phase)

c. Mempunyai Frekuensi Kerja Yang Sama.

Didalam dunia industri dikenal 2 buah sistem frekuensi yaitu 50 Hz dan 60 Hz. Dalam operasionalnya sebuah genset bisa saja mempunyai frekuensi yang fluktuatif (berubah-ubah), karena adanya faktor-faktor tertentu. Pada jaringan

distribusi dipasang alat pembatas frekuensi yang membatasi frekuensi pada minimal 48,5 Hz dan maksimal 51,5 Hz. Namun pada genset-genset pabrik *over* (melebihi) frekuensi dibatasi sampai 55 Hz sebagai *over speed*. Pada saat hendak parallel, dua buah genset tertentu tidak mempunyai frekuensi yang sama. Jika mempunyai frekuensi yang sama persis maka genset tidak akan bisa diparalel karena sudut phasanya belum *—match—*(belum sama), dan salah satu harus sedikit atau dilebihi sedikit untuk mendapatkan sudut phasa yang tepat. Setelah dapat disinkronkan dan berhasil sinkron, baru kedua genset tersebut mempunyai frekuensi yang sama.



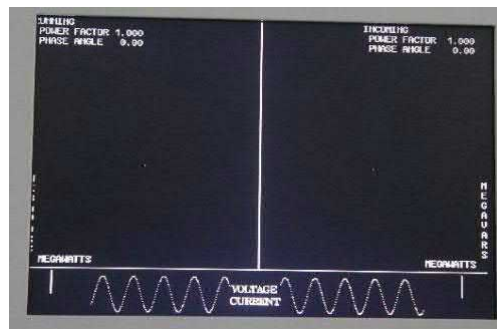
Gambar 2.9 Frekuensi Kerja Yang Sama (Hasil Proses Sinkronisasi Generator)  
(Sumber: DAC #490 Laboratorium Teknik Elektro, UNNES)

d. Mempunyai Sudut Phase Yang Sama.

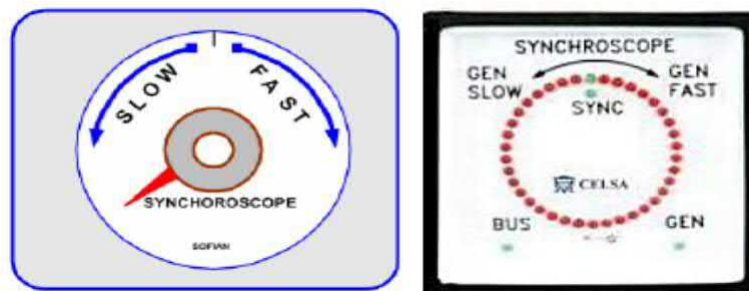
Mempunyai sudut phase yang sama bisa diartikan kalau kedua phase genset mempunyai sudut phase yang berhimpit sama atau 0 derajat. Dalam kenyataannya tidak memungkinkan mempunyai sudut yang berhimpit karena genset yang berputar meskipun dilihat dari parameternya mempunyai frekuensi yang sama, namun jika dilihat menggunakan *synchronoscope* pasti bergerak labil (tidak teratur) ke kiri dan ke kanan, dengan kecepatan sudut radian yang ada sangat sulit



untuk mendapatkan sudut berhimpit dalam jangka waktu 0,5 detik. *Breaker* membutuhkan waktu tidak kurang dari 0,3 detik untuk *close* pada saat ada perintah *close*.



Gambar 2.10.A Sudut Phase Yang Sama (0 Derajat)  
(Sumber: DAC #490 Laboratorium Teknik Elektro,



Gambar 2.10.B Synchroscope (Alat Pendeteksi Sudut Phase)  
(Sumber: Electricityguide.Info Dan Takowa.Fi Sumardjati Parih,Buku SMK Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3, 2008: 444)

### 3 Kendala/Pengaruh Sinkronisasi Generator AC

#### a. Jika Tegangan Kerja Tidak Sama.

Tegangan kerja tidak sama terjadi apabila salah satu generator yang akan diparalel mempunyai tegangan kerja yang lebih tinggi dari generator lain/PLN, maka begitu *breaker close* (saluran terkunci atau terkoneksi) generator tersebut mempunyai *power factor* yang rendah. Hasil paralel atau sinkronisasi generator tidak membahayakan karena *power factor* di PLN masih induktif dan berdaya

besar. Sebaliknya jika generator itu mempunyai tegangan yang lebih rendah maka *power factor* akan bersifat kapasitif dan mempunyai kecenderungan akan terjadi *reverse power* (membalikkan tegangan/tenaga). *Reverse power* dibatasi pada level 5% dari daya nominal.

b. Jika Urutan Phase Tidak Sama.

Urutan Phase tidak sama sistem ABC diparalel dengan sistem CBA, maka akan terjadi selisih tegangan sebesar 2 kali tegangan nominal. Hal ini bisa di deteksi dengan diukur secara manual menggunakan voltmeter.

c. Jika Frekuensi Kerja Tidak Sama.

Frekuensi kerja tidak sama diparalelkan maka terjadi beberapa hal ringan sampai berat. Sebagai contoh generator 1 mempunyai frekuensi 49 Hz dan generator 2 mempunyai frekuensi 50 Hz. Dengan melihat *synchroscope* maka terlihat jelas hasil selisih antara kedua generator tersebut.

d. Jika Sudut Phase Tidak Sama.

Sudut phase tidak sama akan menyebabkan perbedaan sesaat antara phase satu dengan yang lain tanpa adanya *reverse power* (membalikkan tegangan). Namun juga sangat berbahaya jika perbedaan sudutnya terlalu besar, *engine* (mesin) akan mengalami tekanan sesaat yang besar.

#### 4 Kelebihan dan Kekurangan Sinkronisasi Generator AC.

##### a. Kelebihan Sinkronisasi Generator AC:

- 1) Mendapatkan daya listrik yang lebih besar (penggabungan 2 generator atau lebih).
- 2) Nilai efisiensi (menghemat biaya pemakaian operasional dan menghemat biaya pembelian bahan bakar).
- 3) Mempermudah penentuan kapasitas generator dalam menentukan kapasitas daya yang akan digunakan.
- 4) Menjaga kontinuitas pelayanan energi listrik, apabila salah satu generator akan diistirahatkan atau diperbaiki.
- 5) Menambah masa pemakaian generator.
- 6) Beban yang diterima generator tidak terlalu melebihi kapasitas (telah rata terbagi).
- 7) Lebih stabil untuk menerima beban yang berubah-ubah.

##### b. Kekurangan Sinkronisasi Generator AC:

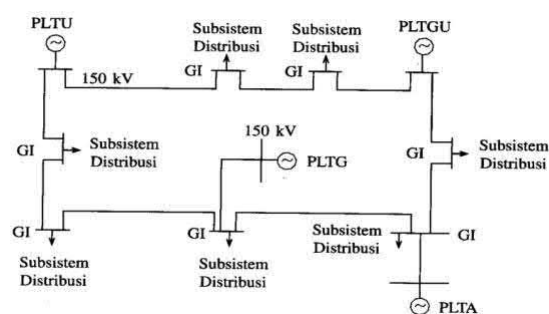
- 1) Panel untuk menyinkronkan kedua generator atau lebih generator mahal (lebih memakan ruangan yang lebih besar).
- 2) Biaya *standby* generator lebih mahal karena untuk mempertahankan performa generator agar tetap bekerja.
- 3) Rangkaian sinkronisasi/ parallel generator cenderung rumit (butuh pengecekan).

- 4) Sulit dalam pemeliharaannya (*maintenance* rutin), harus dalam keadaan sinkron setiap saat.
- 5) Polusi suara (kebisingan) lebih besar karena memiliki 2 generator atau lebih.
- 6) Jika salah satu generator mati, maka total kebutuhan daya tidak bisa terpenuhi secara maksimal.

### C. Sistem Interkoneksi

#### 1. Pengertian Sistem Interkoneksi

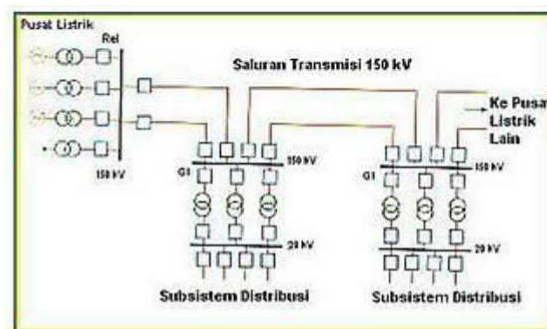
Sistem Interkoneksi adalah sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat tenaga listrik (pembangkit) dan gardu (GI) yang saling terhubung (terinterkoneksi) antara satu dengan yang lain melalui saluran transmisi dan melayani beban yang ada pada seluruh transmisi dan melayani beban yang ada pada seluruh gardu induk (GI). Berikut gambar sistem interkoneksi dengan 4 buah pusat listrik dan 7 buah Gardu Induk dengan tegangan transmisi 150 KV :



Gambar 2.11 Sistem Interkoneksi Dengan 4 Buah Pusat Listrik Dan 7 Buah Gardu Induk Dengan Tegangan Transmisi 150 KV  
(Sumber: Muslim H. Supari, Buku Teknik Pembangkit Tenaga Listrik Jilid 2, 2008: 235)

## 2. Prinsip Dasar Sistem Interkoneksi

Prinsip dasar sistem interkoneksi adalah suatu daerah yang memerlukan beban listrik yang kapasitasnya lebih besar dari kapasitas bebannya maka daerah tersebut perlu adanya penambahan suplay daya lebih dari 2 stasiun tenaga listrik yang mempunyai jarak yang cukup jauh. Bertujuan agar diperoleh sistem penyaluran tenaga listrik yang baik, maka diperlukan sistem interkoneksi. Dengan sistem interkoneksi diharapkan tidak terjadi pembebanan lebih pada salah satu stasiun pembangkit tenaga listrik dan kebutuhan beban bisa disuplay dari kedua stasiun secara seimbang.



Gambar 2.12 Sistem Interkoneksi (Pusat Pembangkit Listrik)  
2 Buah Gardu Induk (GI) & Subsistem Distribusinya  
(Sumber: Muslim H.Supari, Buku Teknik Pembangkit Listrik Jilid 1, 2008: 21)

Gambar diatas menunjukkan sebagian dari sistem interkoneksi yang terdiri dari pusat tenaga listrik, dua buah GI (Gardu Induk) beserta subsistem distribusinya. Operasi pusat-pusat listrik dalam sistem interkoneksi akan saling mempengaruhi satu sama lain, maka perlu adanya koordinasi operasi. Koordinasi operasi ini dilakukan oleh pusat pengatur beban.

Koordinasi operasi tersebut meliputi :

- a. Koordinasi dalam pemeliharaan.
- b. Pembagian beban secara ekonomis.
- c. Pengaturan frekuensi.
- d. Pengaturan tegangan.
- e. Prosedur mengatasi gangguan.

Sistem interkoneksi pada umumnya untuk pusat tenaga listrik diatas 100 MW.

### 3. Tujuan, Keuntungan dan Manfaat dari Sistem Interkoneksi

#### a. Tujuan dari Sistem Interkoneksi.

Tujuan dari sistem interkoneksi antara lain: untuk menjaga kontinuitas penyediaan tenaga listrik, karena apabila salah satu pusat pembangkit listrik mengalami gangguan masih terdapat suplay dari pusat pembangkit lain yang terhubung secara interkoneksi. Tujuan lainnya juga untuk saling memperingan beban yang di tanggung oleh suatu pusat pembangkit listrik.

#### b. Keuntungan dari Sistem Interkoneksi.

Keuntungan dari sistem interkoneksi antara lain: memperbaiki dan mempertahankan keandalan sistem interkoneksi (komponen yang bekerja sesuai fungsinya), harga operasional relatif rendah sehingga menjadikan harga per KWH yang diproduksi lebih murah. Hal ini dilakukan dengan asumsi bahwa pembangunan pembangkit dengan kapasitas yang besar akan menekan harga listrik.

c. Manfaat dari Sistem Interkoneksi.

Manfaat dari sistem interkoneksi antara lain:

- 1) Meningkatkan keandalan dan mutu pasokan tenaga listrik.
- 2) Meningkatkan efisiensi operasi tenaga listrik.
- 3) Fleksibilitas transfer daya antar sub-sistem (saat inspeksi, gangguan pembangkit serta variasi musim).
- 4) Optimalisasi pemakaian energi primer setempat.

4. Kendala/ Gangguan Sistem Interkoneksi (Sistem Tenaga Listrik).

a. Faktor-Faktor Penyebab Gangguan.

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang melibatkan banyak komponen dari sistem pembangkit tenaga listrik. Oleh karena itu, ada beberapa faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, antara lain sebagai berikut:

- Faktor Manusia

Faktor ini terjadi karena menyangkut dari faktor manusia yaitu karena kesalahan teknis atau kelalaian dalam memberikan perlakuan atau tindakan terhadap kerja sistem tenaga listrik. Salah satunya menyambung rangkaian, membaca rangkaian dan sistem, serta salah hal dalam melakukan kalibrasi suatu pengaman dan sebagainya.

- Faktor Internal

Faktor ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari sistem. Misalnya usia pakai peralatan yang sudah aus (ketuaan), rusak dan sebagainya. Hal ini dapat menyebabkan gangguan karena bisa mengurangi sensitivitas relai pengaman, dan juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.

- Faktor Eksternal

Faktor ini meliputi gangguan-gangguan yang berasal dari lingkungan di sekitar sistem. Meliputi cuaca, gempa bumi, pohon tumbang, banjir, sambaran petir, kebakaran dan lain sebagainya. Disamping itu juga ada kemungkinan faktor dari gangguan binatang, misalnya gigitan tikus, burung, kelelawar, ular dan sebagainya.

b. Jenis Gangguan

Jika ditinjau dari sifat dan penyebabnya, jenis gangguan ini dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1) Tegangan lebih (*Over Voltage*) Tegangan yang merupakan gangguan akibat tegangan pada sistem tenaga listrik lebih besar dari seharusnya. Gangguan tegangan ini lebih dapat terjadi karena adanya kondisi eksternal dan internal pada sistem berikut:

- Kondisi Internal

Kondisi ini terjadi karena isolasi akibat perubahan yang mendadak dari kondisi rangkaian atau karena resonansi. Misalnya operasi hubung singkat pada saluran tanpa beban, perubahan beban yang mendadak, operasi pelepasan pemutus



tenaga yang mendadak akibat hubungan singkat pada jaringan, kegagalan isolasi dan sebagainya.

- Kondisi Eksternal

Kondisi ini terjadi akibat adanya sambaran petir. Perir terjadi disebabkan oleh terkumpulnya muatan listrik, yang mengakibatkan bertemunya muatan positif dan negatif. Pertemuan ini mengakibatkan terjadinya beda tegangan antara awan bermuatan positif dengan muatan negatif, atau awan bermuatan positif atau negatif dengan tanah. Bila beda tegangan ini cukup tinggi, maka akan terjadi loncatan muatan listrik dari awan ke awan atau dari awan ke tanah.

## 2) Hubung Singkat

Hubung singkat adalah suatu kejadian terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban), sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat ini merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran udara 3 fasa. Meskipun semua komponen peralatan listrik selalu diisolasi dengan isolasi padat, cair (minyak), udara, gas, dan sebagainya. Namun karena usia pemakaian, keausan, tekanan mekanis, dan sebab-sebab gangguan lain maka kekuatan isolasi pada peralatan listrik bisa berkurang atau bahkan hilang sama sekali. Hal ini mudah menimbulkan hubung singkat.

Gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik 3 phase diantaranya sebagai berikut:

- a) Satu phase dengan tanah.
- b) Phase dengan phase.
- c) 2 phase dengan tanah.
- d) Phase dengan phase dan pada waktu yang bersamaan dari phase ke 3 dengan tanah.
- e) 3 phase dengan tanah.
- f) Hubung singkat 3 phase.

### 3) Beban Lebih (*Overload*)

Beban lebih merupakan gangguan yang terjadi akibat konsumsi energi listrik (daya) yang melebihi energi listrik yang dihasilkan pada pembangkit. Gangguan beban lebih sering terjadi terutama pada generator dan transformator daya. Ciri dari beban lebih adalah terjadinya arus lebih pada komponen. Arus lebih ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebihan sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada isolasi pada rangkaian.

### 4) Daya Balik (*Reserve Power*)

Daya balik merupakan suatu gangguan berubahnya fungsi generator menjadi motor (beban) pada sistem pembangkit listrik. Gangguan ini terjadi pada sistem tenaga listrik yang terintegrasi (*Interconnected system*). Pada kondisi normal

generator-generator yang tersambung secara paralel akan bekerja secara serentak dalam membangkitkan tenaga listrik. Namun karena sesuatu sebab, misalnya gangguan hubung singkat yang terlalu lama, gangguan medan magnet, dan sebagainya, maka akan terjadi ayunan putaran rotor sebagian dari generator pada sistem tersebut. Ayunannya bisa lebih cepat atau lebih lambat dari putaran sinkron.

Hal ini menyebabkan sebagian generator menjadi motor dan sebagian berbeban lebih. Dengan demikian terjadi aliran tenaga listrik yang berbalik, yaitu generator yang seharusnya menghasilkan tenaga listrik, justru berbalik menjadi motor yang menyerap tenaga listrik. Kejadian ini akan terjadi pada sistem tegangan tinggi atau ekstra tinggi yang lebih luas, misalnya pada sistem tenaga listrik terintegrasi (Jawa-Bali).

Cara untuk mengatasi gangguan ini adalah dengan melepas generator yang terganggu atau melepas daerah yang terjadi hubung singkat secepat mungkin. Gangguan ini dapat membahayakan generator itu sendiri atau membahayakan sistemnya. Untuk mengamankan gangguan di atas biasanya pada penyerentakan generator telah dilengkapi dengan relai daya balik (*reserve power relay*).

## 5. Pencegahan Gangguan Pada Sistem Interkoneksi

Sistem tenaga listrik dikatakan baik apabila dapat mencatu dan menyalurkan daya tenaga listrik ke konsumen dengan tingkat keandalan yang tinggi. Keandalan tersebut meliputi kelangsungan, stabilitas, dan harga per KWH yang terjangkau

oleh konsumen. Pemadaman listrik sering terjadi akibat gangguan yang tidak bisa diatasi oleh sistem pengamannya. Keadaan ini akan sangat mengganggu kelangsungan penyaluran tenaga listrik. Naik turunnya kondisi tegangan dan catu daya listrik dapat merusak peralatan listrik.

Menurut J. Soekarto (1985), pencegahan gangguan pada sistem tenaga listrik bisa dikategorikan menjadi 2 langkah yaitu:

a. Usaha Memperkecil Terjadinya Gangguan

Cara yang ditempuh untuk memperkecil gangguan antara lain sebagai berikut:

- 1) Membuat isolasi yang baik untuk semua peralatan;
- 2) Membuat koordinasi isolasi yang baik antara ketahanan isolasi peralatan dengan penangkal petir (*Arrester*);
- 3) Membuat kawat tanah dan membuat tahanan tanah pada kaki menara sekecil mungkin, serta selalu mengadakan penecekan pada peralatan tersebut;
- 4) Membuat perencanaan yang baik untuk mengurangi gangguan pengaruh luar mekanis atau menghindari sebab-sebab gangguan karena binatang, polusi, kontaminasi dan lainnya.
- 5) Menghindari kemungkinan kesalahan operasi, yaitu dengan membuat prosedur tata cara operasional (*standing operational procedur*) dan membuat jadwal pemeliharaan rutin;
- 6) Memasang kawat tanah pada SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) dan gardu induk untuk melindungi terhadap sambaran petir;

7) Memasang *lightning arrester* (penangkal petir) untuk mencegah kerusakan pada peralatan akibat sambaran petir.

b. Usaha Mengurangi Kerusakan Akibat Gangguan

Beberapa cara usaha untuk mengurangi pengaruh akibat gangguan, antara lain sebagai berikut:

- 1) Mempertahankan stabilitas sistem selama terjadi gangguan, yaitu dengan memakai pengatur tegangan otomatis yang cepat dan karakteristik kestabilan generator yang memadai.
- 2) Membuat data/pengamatan gangguan yang sistematis dan efektif, misalnya dengan menggunakan alat pencabut gangguan untuk mengambil langkah-langkah pencegahan lebih lanjut.
- 3) Mengurangi akibat gangguan, misalnya dengan membatasi arus hubung singkat, caranya dengan menghindari konsentrasi pembangkitan atau dengan memakai impedansi pembatas arus, pemasangan tahanan, atau reaktansi untuk sistem pentanahannya sehingga arus gangguan satu fase terbatas. Pemakaian peralatan yang tahan atau andal terhadap terjadinya arus hubung singkat.

## D. Unjuk kerja Pembagian Daya

### 1. Pengaturan Tegangan

Pengaturan tegangan (regulasi tegangan) VR adalah perubahan tegangan pada terminal alternator antara beban keadaan nol ( $V_{NL}$ ) dengan beban penuh ( $V_{FL}$ ). Keadaan ini memberikan gambaran batasan drop tegangan yang terjadi pada generator, yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

Dimana : VR = Regulasi tegangan (*voltage regulation*)

$V_{NL}$  = Tegangan tanpa beban (*no load voltage*)

$V_{FL}$  = Tegangan beban penuh (*full load voltage*)

Dari rumus persamaan diatas menjelaskan bahwa generator-generator sekarang dirancang dan dibuat untuk mempunyai pengaturan tegangan yang bervariasi, dimana akibat dari adanya variasi arus jangkar atau variasi beban yang menimbulkan turunnya tegangan (*voltage drop*) pada kumparan jangkar yang bervariasi pula. Turun atau jatuhnya tegangan impedansi tersebut tergantung pada besar arus dan faktor daya beban. Pengaturan arus eksitasi (penguatan terhadap arus) dan tegangan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

### 2. Pengaturan Putaran

Pengaturan putaran pada unjuk kerja pembagian daya adalah salah satu faktor yang penting yang memberikan pengaruh yang besar terhadap tegangan yang

terjadi oleh generator arus bolak-balik (*alternating current*). Kecepatan putar generator tersebut harus sebanding dengan frekuensi listrik yang dihasilkan oleh generator arus bolak-balik. Dalam hal ini, rotor sebagai bagian yang bergerak terdiri atas rangkaian-rangkaian elektromagnetik, sehingga medan magnet rotor akan bergerak sesuai dengan arah putar rotor. Untuk menjaga putaran yang konstan, maka pada penggerak mula (*prime mover*) dilengkapi governor. Governor adalah alat yang berfungsi mengatur putaran tetap konstan pada keadaan yang bervariasi.

Besar kecepatan putaran generator dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p}$$

Dimana: n = kecepatan putaran (rpm)  
 f = frekuensi (Hz)  
 p = jumlah kutub

persamaan diatas tegangan dan arus bolak balik (AC) yang dihasilkan oleh generator umumnya mempunyai frekuensi antara 50-60 Hz. Sedangkan untuk menentukan jumlah pasang kutub (p) atau kecepatan putaran rpm (n), besarnya frekuensi harus sebanding dengan jumlah kutub dan kecepatan putaran generator.

### 3. Pengaturan Frekuensi

Pengaturan frekuensi adalah salah satu karakteristik pada pembagian daya yang penting untuk dijaga kestabilannya. Pentingnya menjaga frekuensi berkaitan dengan upaya untuk menyediakan sumber energi yang berkualitas bagi konsumen.

Sumber energi sebagai pasokan energi yang memiliki frekuensi yang berkualitas baik akan menghindarkan peralatan elektronik konsumen dari kerusakan. Umumnya peralatan tersebut dirancang untuk dapat bekerja secara optimal pada batasan frekuensi 50-60 Hz.

Sistem tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik bagi para pelanggan konsumen dengan nilai frekuensi yang praktis dan konstan. Penyimpangan frekuensi dari nilai nominal harus selalu dalam batas toleransi yang diperbolehkan (50-60 Hz). Daya aktif mempunyai hubungan erat dengan nilai frekuensi dalam sistem tenaga listrik, sedangkan beban sistem yang berupa daya aktif maupun daya reaktif yang selalu berubah sepanjang waktu. Sehubungan hal tersebut, maka harus disesuaikan antara daya aktif yang dihasilkan dalam sistem pembangkitan dengan beban daya aktif yang dibutuhkan. Penyesuaian daya aktif ini dilakukan dengan cara mengatur besarnya kopel penggerak generator (pengaturan frekuensi generator).

Berikut cara pengaturan pada generator :

a. Pengaturan daya aktif (dari sisi generator)

Frekuensi pada sistem tenaga listrik dapat diatur dengan melakukan pengaturan daya aktif yang dihasilkan oleh generator. Pengaturan daya aktif ini erat kaitannya dengan kenaikan jumlah bahan bakar yang digunakan pada beban untuk menaikkan daya aktif. Pengaturan bahan bakar ini dilakukan dengan menggunakan governor. Sehingga pada pengaturan daya aktif berkaitan dengan kerja governor (alat yang berfungsi untuk mengatur putaran pada unit generator).



b. *Load Shedding* (Pelepasan Beban)

Jika terdapat gangguan dalam sistem yang menyebabkan daya tersedia namun tidak dapat melayani beban., misalnya karena unit pembangkit terlalu besar hingga jatuh (trip), maka untuk menghindari kejadian tersebut perlu dilakukan pelepasan beban. Keadaan beban yang terlalu besar (trip) bisa dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat. Sehingga menyebabkan generator-generator yang lain dipaksa bekerja. Jika hal ini berlangsung terus menerus, maka dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada batang kopel generator karena dipaksa bekerja. Untuk itu diperlukan alat untuk mendeteksi penurunan frekuensi pada sistem yang secara tiba-tiba (alat relay under frekuensi).

c. Pengalihan Daya Pada Saluran

Pangalihan daya pada saluran adalah cara lain untuk mengatur frekuensi pada sistem tenaga listrik yaitu dengan mengatur pengiriman daya aktif pada daerah yang memiliki kerapatan beban yang tinggi (beban dibagi untuk tiap unit pembangkit).

4. Karakteristik Beban Pembagian Daya

Dalam sistem tenaga listrik arus bolak-balik (AC), jenis karakteristik beban pembagian daya diklarifikasikan menjadi 3 macam, yaitu:

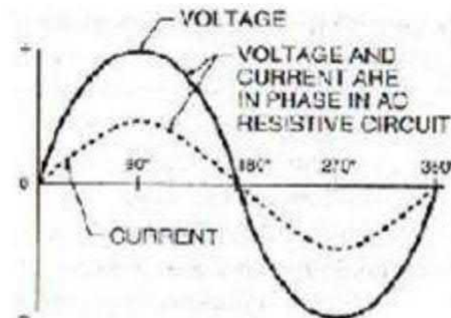
a. Beban Resistif (R)

Beban resistif (R) yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm (*resistance*) seperti elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar atau beban lainnya. Beban resistif hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu. Tegangan dan arus sefasa. Persamaan daya ini sebagai berikut:  $P = V.I$

Dengan:  $P$  = daya aktif yang diserap beban (watt)

$V$  = Tegangan yang digunakan (volt)

$I$  = Arus yang mengalir pada beban (A)



Gambar 2.13 Rangkaian Beban Resistif Gelombang AC  
(Sumber: Kadafi Muhamar, Perencanaan Sistem Tenaga Listrik, Tanpa Tahun: 20)



Gambar 2.14 Grafik Arus Dan Tegangan Pada Beban Resistif  
(Sumber: Kadafi Muhamar, Perencanaan Sistem Tenaga Listrik, Tanpa Tahun: 21)

b. Beban Induktif (L)

Beban induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti coil, transformator dan solenoida. Beban ini

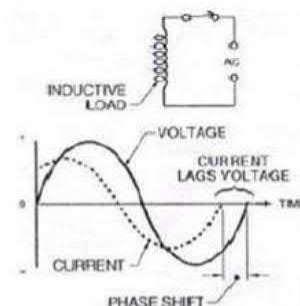
dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat *lagging* (arus tertinggal tegangan). Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban induktif ini menyerap daya aktif dan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:  $P = V.I.\cos \phi$

Dengan : P= Daya aktif yang diserap beban (watt)

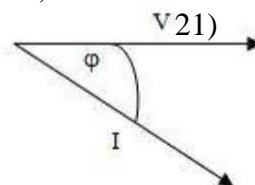
V= Tegangan yang digunakan (volt)

I= Arus yang mengalir pada beban (A)

$\phi$  = sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2.15 Rangkaian Induktif Gelombang AC  
(Sumber: Kadafi Muhamar, Perencanaan Sistem Tenaga Listrik, Tanpa Tahun: 22)



Gambar 2.16 Grafik Arus Dan Tegangan Pada Beban Induktif  
(Sumber: Kadafi Muhamar, Perencanaan Sistem Tenaga Listrik, Tanpa Tahun: 22)

Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif ( $X_L$ ), dapat menggunakan persamaan rumus:

$$X_L = 2\pi fL$$

Dengan :  $X_L$  = reaktansi induktif

$f$  = frekuensi (Hz)

$L$  = induktansi (Henry)

c. Beban Kapasitif (C)

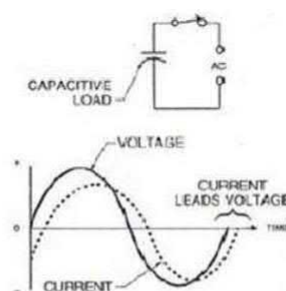
Beban kapasitif (C) yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Beban kapasitif ini menyebabkan arus *leading* (arus mendahului tegangan) terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk menghitung beban reaktansi kapasitif ( $X_C$ ), dapat menggunakan rumus:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

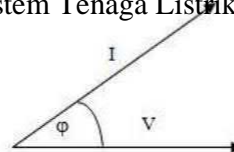
Dengan :  $X_C$  = reaktansi kapasitif

$f$  = frekuensi (Hz)

$C$  = kapasitansi (Farad)



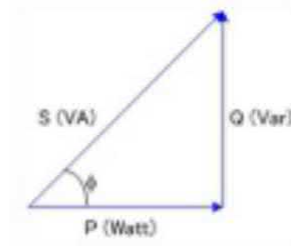
Gambar 2.17 Rangkaian Beban Kapasitif Gelombang AC (Sumber: Kadafi Muhamar, Perencanaan Sistem Tenaga Listrik, Tanpa Tahun: 22)



Gambar 2.18 Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Kapasitif (Sumber: Kadafi Muhamar, Perencanaan Sistem Tenaga Listrik, Tanpa Tahun: 23)

### 5. Segitiga Daya (*Triangle power*)

Segitiga daya (*triangle power*) adalah segitiga yang menggambarkan hubungan matematik antara tipe-tipe daya yang berbeda yaitu: daya aktif (watt), daya reaktif (var) dan daya semu (va) berdasarkan prinsip trigonometri. Berikut gambar konsep segitiga daya:



Gambar 2.19 segitiga daya (*triangle power*) listrik

(Sumber: <http://www.listrik-praktis.com/2015/09/memahami-dengan-mudah-konsep-segitiga-daya.html>)

$$\text{Dimana: } S^2 = P^2 + Q^2$$

$$S = I \cdot V$$

$$P = S \cdot \cos \phi$$

$$Q = S \sin \phi$$

$$\cos \phi = \text{faktor daya} = P/S$$

a. Daya Aktif (P) adalah daya yang sesungguhnya dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah W (watt) dan dapat diukur dengan menggunakan alat ukur wattmeter. Daya aktif juga bisa disebut daya nyata yang merupakan daya aktif yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya. Berikut persamaan rumus daya aktif (P):

Fasa ke netral (1 fasa)

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

Fasa ke Fasa (3 fasa)

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

Dimana : P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (ampere)

$\cos \phi$  = Faktor daya

b. Daya Reaktif (Q) adalah daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet atau daya yang ditimbulkan oleh beban yang bersifat induktif. Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt.Ampere.Reaktif). Untuk menghemat daya reaktif dapat memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban yang bersifat induktif. Hal ini sering dilakukan pada pabrik-pabrik yang menggunakan motor-motor listrik. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya. Berikut persamaan rumus daya reaktif (Q):

Fasa ke netral (1 fasa)

$$Q = V.I.\sin \phi \quad \text{atau} \quad Q = V.I.\sin \phi . j$$

Fasa ke fasa (3 fasa)

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi \quad \text{atau} \quad Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi . j$$

Dimana : Q = Daya reaktif (VAR)

I = Arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

$\sin \phi$  = Faktor Daya

c. Daya Semu (S) adalah daya yang dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus listrik. Daya semu merupakan daya yang diberikan oleh PLN kepada konsumen. Satuan daya semu adalah VA (Volt Ampere). Beban yang bersifat daya semu

adalah beban yang bersifat resistansi ( $R$ ), dimana tegangan dan arus listrik sefasa perbedaan sudut fasa adalah  $0^\circ$  dan memiliki nilai faktor daya adalah 1. Berikut persamaan daya semu ( $S$ ):

Fasa ke netral (1 fasa)

$$S = V \cdot I$$

Fasa ke fasa (3 fasa)

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

Dimana :  $S$  = Daya semu (VA)

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

#### 6. Faktor Daya (*Power Factor*)

Faktor daya (*power faktor*) sering ditulis juga dengan sebutan  $\cos \phi$  daya.

Merupakan salah satu bagian yang cukup penting dalam pengoperasian generator listrik. Karena menurunnya faktor daya ( $\cos \phi$ ), akan berakibat menurunnya nilai efisiensi pembangkitan dalam menampung beban kerja, serta akan memperbesar kemungkinan terjadinya kerusakan pada sistem pembangkit tenaga listrik (generator), sehingga perlu adanya usaha untuk memperbaiki faktor daya tersebut.

Tujuan adanya pengukuran faktor daya ( $\cos \phi$ ) adalah memberikan penunjukan secara langsung nilai dari selisih fasa yang timbul antara arus dan tegangan (menunjukkan sudut  $\cos \phi$ ).

Untuk itu perlu adanya menghitung nilai faktor daya ( $\cos \phi$ ) dengan menggunakan rumus:

$$\cos \phi = \frac{P}{V.I} \quad \text{Atau} \quad \cos \phi = P/S$$

Dengan: P = daya (W)

V = tegangan (V)

I = arus listrik (A)

Dalam sistem tenaga listrik dikenal 3 jenis faktor daya yaitu faktor daya *unity*, faktor daya terbelakang (*lagging*) dan faktor daya mendahului (*leading*) yang ditentukan oleh jenis beban yang ada pada sistem pembangkit tenaga listrik.

a. Faktor Daya *Unity*

Faktor daya unity adalah faktor daya yang dalam keadaannya saat nilai  $\cos \phi$  adalah satu ( $\cos \phi = 1$ ) dan tegangan sephase dengan arus. Faktor daya *unity* akan terjadi bila jenis beban adalah resistif murni.



Gambar 2.20 Arus Sephase Dengan Tegangan

(Sumber: <http://muhammadrizal22.blogspot.co.id/2012/04/faktor-daya.html>)

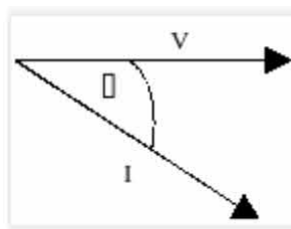
Pada gambar 2.20 menjelaskan bahwa nilai  $\cos \phi$  sama dengan 1, yang menyebabkan jumlah daya nyata yang dikonsumsi beban sama dengan daya semu.



b. Faktor Daya Terbelakang (*Lagging*)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah faktor daya dalam keadaannya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut:

- 1) Beban/ peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif.
- 2) Arus ( $I$ ) terbelakang dari tegangan ( $V$ ),  $V$  mendahului  $I$  dengan sudut  $\cos \phi$ .



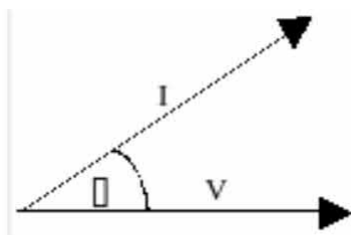
Gambar 2.21 Arus Tertinggal Dari Tegangan Sebesar Sudut  $\cos \phi$   
(Sumber: <http://muhammadrizal22.blogspot.co.id/2012/04/faktor-daya.html>)

Pada gambar 2.21 menjelaskan bahwa arus tertinggal dari tegangan maka daya reaktif mendahului daya semu, beban membutuhkan atau menerima daya reaktif dari sistem.

c. Faktor Daya Mendahului (*Leading*)

Faktor daya mendahului adalah faktor daya yang dalam keadaannya saat memiliki kondisi- kondisi sebagai berikut:

- 1) Beban/ peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif .
- 2) Arus mendahului tegangan,  $V$  terbelakang dari  $I$  dengan sudut  $\cos \phi$



Gambar 2.22 Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut  $\cos \phi$   
(Sumber: <http://muhammadrizal22.blogspot.co.id/2012/04/faktor-daya.html>)

Pada gambar 2.22 menjelaskan bahwa arus mendahului tegangan maka daya reaktif tertinggal dari daya semu, maka beban memberikan daya reaktif kepada sistem.

### ***E. DAC #490 Electrical Generation Fundamentals***

#### ***1. Definisi Peralatan DAC #490 Electrical Generation Fundamental***

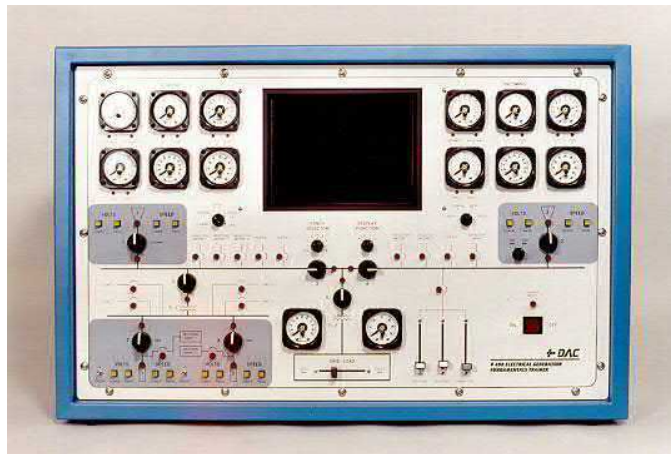
Peralatan DAC #490 *Electrical generation fundamentals* adalah Peralatan simulator yang dirancang untuk mendemonstrasikan prinsip-prinsip pembangkitan tenaga listrik (termasuk sinkronisasi generator). Peralatan simulasi ini menggambarkan hubungan yang harus dimiliki oleh operator (pengguna/manusia) agar dapat mengoperasikan peralatan pembangkit dengan percaya diri. Simulator DAC #490 memiliki tampilan plasma gas (*Display Function*) digunakan untuk membaca hasil pembangkitan. Tampilan simulator tersebut mencakup tampilan sinaps dan tampilan grafis. Tampilan sinaps menampilkan tampilan sudut fasa, perbedaan fasa antara *display running and incoming* (sumber yang berjalan dan yang masuk). Sedangkan tampilan grafis menampilkan tentang bagaimana beban dibagi oleh 2 mesin dengan berbagai ukuran yang di tunjukkan dengan kurva karakteristik generator. Menampilkan hubungan antara beban nyata (MW) dan beban reaktif (MVAR) yang ditampilkan menggunakan meter dan diagram bergambar segitiga daya pada layar tampilan plasma gas.

Simulator DAC #490 juga dapat menampilkan berbagai beban seperti: beban induktif, resistif dan kapasitif yang dapat (digunakan/diaktifkan) dan dimatikan

(tidak digunakan), dimana untuk memperkuat efek beban reaktif dan juga dapat menampilkan proses faktor daya dapat berubah. Simulator ini bertujuan untuk mendukung proses belajar siswa/mahasiswa dalam berbagai demonstrasi, latihan praktek siswa dan program belajar eksperimen mandiri melalui berbagai simulasi pembangkitan.

Berikut fitur DAC #490 *Electrical Generation Fundamentals*:

- a. DAC #490 yaitu lemari baja dengan sutra (halus) disaring panel muka.
- b. Memiliki komputer internal 486 dengan analog dan digital I/O, untuk memungkinkan kontrol analog yang realitis (nyata), terdapat meter analog serta keluaran layar plasma gas digital.
- c. Analog meter menampilkan nilai ampere, megawatt, megavars, kilovolt, frekuensi dan kecepatan.
- d. Realistis (wajar, nyata) saklar (*switch*) kontrol tiga posisi.
- e. Kontrol pemutus saling terkait dengan saklar selektor sinkron dan tampilan sudut fasa.
- f. Terdapat sambungan VGA eksternal, memungkinkan tampilan layar lebar atau monitor.
- h. Menyatu secara internal dan terdapat pegangan.
- i. Ukuran keseluruhan 34''W x 22IH x 9 —D (70 lbs/pound).



Gambar 2.23 DAC #490 *Electrical Generation Fundamentals*  
 (Sumber: <http://www.dac-3d.com/dactrng/PRODELEC/490PHOT2.HTM>)

## 2. Instruksi Aturan Pakai Keselamatan dan Pencegahan DAC

#490 Instruksi aturan pakai peralatan DAC #490 sebagai berikut :

- a. Operator harus membaca petunjuk penggunaan, cara penyimpanan, pencegahan kerusakan serta peringatan yang di tandai oleh produk DAC #490.
- b. Cabut produk DAC #490 dari stopkontak sebelum membersihkan, jangan gunakan pembersih cair atau pembersih aerosol (parfum, minyak wangi dll). Gunakan saja kain lembab untuk membersihkannya.
- c. Jangan menggunakan produk ini didekat air dan jangan menggunakan komponen yang tidak direkomendasikan oleh produsen karena dapat menyebabkan kerusakan/bahaya.
- d. Tidak menempatkan produk ini dalam keranjang yang tidak stabil, berdiri atau meja karena produk bisa jatuh dan dapat menyebabkan produk rusak.

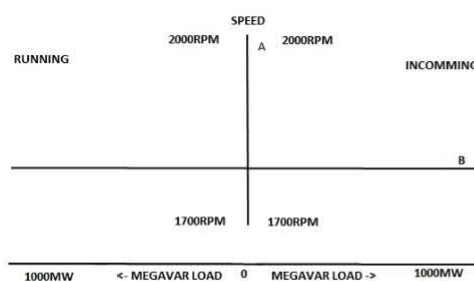
- e. Slot atau pembuka dalam kabin berada dibelakang dan bawah disediakan untuk ventilasi udara jika terjadi panas akibat penggunaan terlalu lama (untuk melindungi dari efek panas).
- f. Produk ini harus dioperasikan menggunakan sumber jenis listrik yang sesuai dengan *name plate* (label). Jika anda belum yakin tentang sumber daya yang tersedia, hubungi *dealer* atau pihak perusahaan listrik setempat.
- g. Produk ini dilengkapi dengan 3 tipe kawat grounding, steker memiliki ketiga (grounding) pin. Steker ini hanya cocok dengan stopkontak jenis grounding. Ini adalah bentuk fitur keselamatan. Jika kesulitan atau tidak dapat memasang steker ke stopkontak hubungi *dealer* atau montir listrik. Jangan abaikan ini karena bentuk tujuan dari keselamatan peralatan.
- h. Pastikan kabel yang digunakan mempunyai nilai ampere produk dengan ampere stopkontak sama/sesuai yaitu melebihi 15 ampere.
- i. Jangan biarkan benda apapun berada diatas produk dan jangan mencari/meletakkan peralatan dibawah produk atau lantai karena bisa terinjak, berceceran atau bahkan rusak.
- j. Untuk perlindungan tambahan produk ini saat terjadi badai petir atau ketika ditinggalkan atau tidak digunakan untuk jangka waktu yang lama cabut produk dari stopkontak. Hal ini dapat mencegah kerusakan pada produk karena petir dan *powerline* (saluran listrik) lonjakan.

- k. Jangan memasukkan benda apapun ke dalam produk melalui slot kabin karena dapat menyentuh titik tegangan berbahaya atau mengakibatkan risiko sengatan listrik. Jangan tumpahkan cairan apapun ke dalam produk.
- l. Cabut produk dari stopkontak dan mintalah melayani ke teknisi ahli di bawah jika terjadi kondisi sebagai berikut:
- Ketika kabel daya atau konektor rusak atau terbakar
  - Jika adanya cairan tumpah ke dalam produk
  - Jika produk telah terkena hujan atau air
  - Jika produk telah terjatuh atau kabin telah rusak

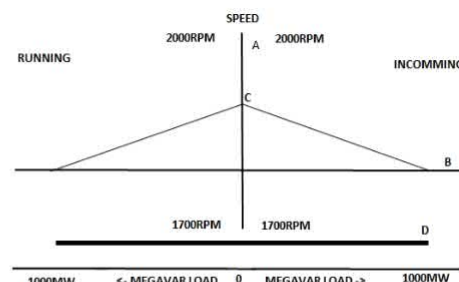
### 3. Tampilan Plasma (*Display Function*) DAC #490

Tampilan plasma DAC #490 merupakan tampilan yang digunakan untuk menggmabarkan secara grafis prinsip-prinsip pembangkit listrik. Tampilan plasma DAC #490 mempunyai 4 posisi hasil (*Display Function*) adalah sebagai berikut :

A – *Function A* menggambarkan kurva karakteristik generator untuk penggerak utama yang dipilih pada meter *running and incoming*. Kurva ini adalah representasi bergambar tentang bagaimana beban sebenarnya (beban nyata) yang dibagi.



Gambar 2.24a. *Display Function A*  
Tanpa Beban



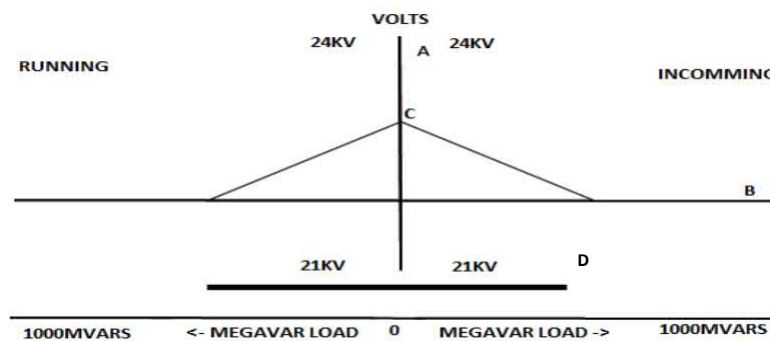
Gambar 2.24b. *Display Function A*  
Berbeban

(Sumber: Modul DAC #490 *Electrical Generation Fundamentals*, Hal: 26-27)

Keterangan: Tampilan plasma (*display function*) pada posisi A (beban nyata).

- Sumbu A: sumbu vertikal mewakili kecepatan penggerak utama,
- Sumbu B: sumbu horizontal tipis menunjukkan bahwa kedua mesin berada pada kecepatan 1800 RPM,
- Sumbu C: sumbu miring menunjukkan garis kecepatan beban mesin,
- Sumbu D: sumbu horizontal berat di bagian bawah layar adalah representasi grafis dari beban.

B – *Function B* menggambarkan kurva karakteristik generator untuk penggerak utama yang dipilih pada meter *running and incoming*. Kurva ini adalah representasi bergambar tentang bagaimana beban reaktif yang dibagi.



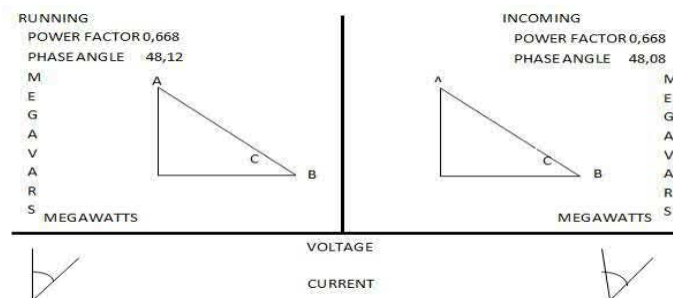
Gambar 2.25 *Display Function B*  
(Sumber: Modul DAC #490 *Electrical Generation Fundamentals*, Hal:31)

Keterangan: Tampilan Plasma *Display Function* pada posisi B (beban reaktif).

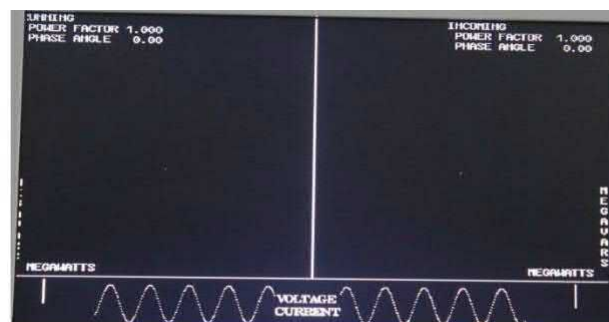
- Sumbu A: sumbu vertikal menunjukkan tegangan output generator,
- Sumbu B: sumbu horizontal tipis menunjukkan bahwa kedua mesin memasok tegangan 22 KV ke bus,

- Sumbu C: sumbu miring menunjukkan pengaturan tidak ada beban dari regulator tegangan.
- Sumbu D: sumbu horizontal tebal dibagian bawah dekat layar plasma menunjukkan representasi grafik beban reaktif.

C – *Function C* menggambarkan segitiga daya untuk penggerak utama yang dipilih pada meter *running and incomming*. Segitiga data adalah representasi bergambar tentang bagaimana beban reaktif dan beban nyata menentukan faktor daya. Hubungan fasa antara tegangan dan arus juga di ditampilkan.



Gambar 2.26a. Segitiga daya *Display Function C* berbeban



Gambar 2.26b. Segitiga daya dengan faktor daya 1

(Sumber: Modul DAC #490 *Electrical Generation Fundamentals*, Hal:35)

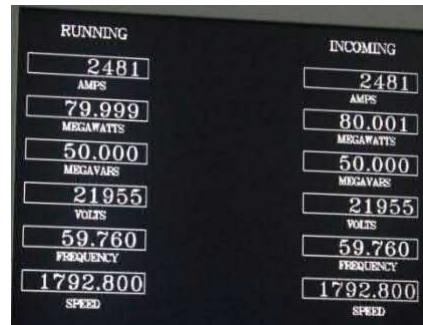
Keterangan: Tampilan plasma *display function* pada posisi C (segitiga daya)

- Sumbu A: sumbu vertikal adalah megavars (beban reaktif),



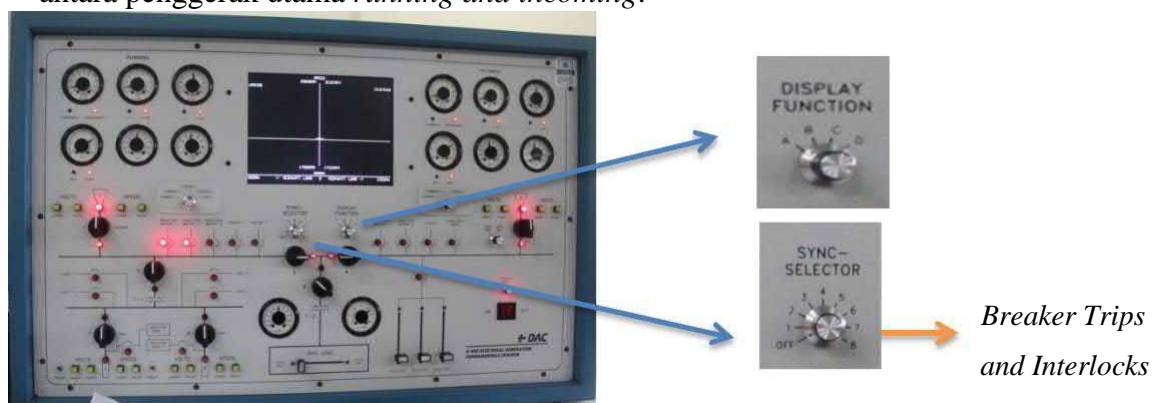
- Sumbu B: sumbu horizontal adalah megawatt (beban nyata),
- Sumbu C: sumbu miring sudut antara adalah faktor daya.

D – *Function D* menyediakan pembacaan digital yaitu ampere, megawatt, megavars, volts, frekuensi, dan kecepatan.



Gambar 2.27 *Display Function D*  
(Sumber: DAC #490 Laboratorium Teknik Elektro, UNNES)

Tampilan plasma diatas bisa digunakan jika saklar *sync-selector* pada DAC #490 berada pada posisi OFF. Jika saklar *sync-selector* dipilih ke posisi 1 sampai 8, tampilan layar plasma akan berubah untuk menunjukkan *synchroscope* dua gelombang sinus yang ditampilkan untuk mewakili perbedaan fasa dan frekuensi antara penggerak utama *running and incoming*.



Gambar 2.28 *Display Function* dan *sync-selector* DAC #490  
(Sumber: DAC #490 Laboratorium Teknik Elektro, UNNES)

#### 4. Saklar Penggerak Sinkronisasi (*Sync- Selector Switch*) DAC #490

Saklar penggerak sinkronisasi (*sync-selector switch*) DAC #490 merupakan saklar yang digunakan untuk *breaker* (tombol) untuk penghubung/pemutus. Setiap *breaker* pemutus saling terkait dengan tombol *sync-selector* untuk mencegah mematikan *breaker* pemutus saat saklar selektor sinkron berada pada posisi yang salah. Meter *running and incoming* secara otomatis akan menampilkan parameter yang benar untuk *breaker* pemutus yang dipilih, parameter (*sync-selector*) ini berbeda dari pilihan yang dipilih oleh *display function A – D*.

#### 5. *Breaker Trips and Interlocks*

*Breaker Trips and Interlocks* adalah display plasma saklar *sync-selector* yang menunjukkan berubahnya hasil *synchroscope* (sinkronisasi) pada peralatan DAC #490. *Breaker Trips and Interlocks* mempunyai *breaker* 1 sampai 8 posisi layar plasma yang menunjukkan hasil yang berbeda-beda yang akan dijelaskan sebagai berikut :

- *Breaker 1* : - Saling bertautan dengan *sync-selector* (sinkronisasi)
  - Overspeed trip 1980 RPM
  - Perjalanan arus- waktu terbalik 35 KA
  - Pemutus saklar harus berada diposisi trip pemutus ke turbin
  - Dibawah/ over tidak ada tegangan beban perjalanan tampilan display B 24 KV& 21 KV
  - Under/ over tidak ada beban kecepatan trip pada RPM display A 2000 RPM & 1700 RPM

- *Breaker 2* : - saling bertautan dengan *sync-selector* dan *synchroscope*  
 harus berada dalam  $\pm 13,5$  derajat dari 12 jam kecuali bus sudah mati.
  - Perjalanan turbin mekanik 2 akan mengantar pemutus dan turbin.
  - *Swicth* (tombol) pemutus harus berada dalam posisi perjalanan mulai turbin.
  - *Reverse power trip* (mengembalikan kekuatan perjalanan).
  - *Overspeed trip* 1980 RPM atau 3960 RPM
  - *Over current trip*- waktu terbalik 35 KA atau 17,5 KA
  - Dibawah/ melebihi tidak ada beban tegangan jatuh 24 KV & 21KV
  - Dibawah/ melebihi tidak melebihi kecepatan jatuh di display A 2000 RPM & 1700 RPM atau 3400 RPM & 4000RPM.
- *Breaker 3* : - *Interlocked* (pengunci) dengan *sync-selector* dan sinkronisasi  
 harus berada dalam  $\pm 13,5$  derajat dari 12 jam.
- *Breaker 4* : - *Interlocked* (pengunci) dengan *sync-selector* dan sinkronisasi  
 harus berada dalam  $\pm 13,5$  derajat dari 12 jam.
- *Breaker 5* : - *Interlocked* (pengunci) dengan *sync-selector* dan sinkronisasi  
 harus berada dalam  $\pm 13,5$  derajat dari 12 jam.
- *Breaker 6* : - *Interlocked* (pengunci) dengan *sync-selector* dan sinkronisasi  
 harus berada dalam  $\pm 13,5$  derajat dari 12 jam.

- *Breaker 7* : - *Interlocked* (pengunci) dengan *sync-selector* dan sinkronisasi harus berada dalam  $\pm 13,5$  derajat dari 12 jam.
  - Diesel 1 mekanik perjalanan akan perjalanan pemutus dan turbin.
  - Saklar pemutus harus berada dalam posisi jatuh/trip untuk menyalakan diesel.
  - *Reverse power trip* (mengembalikan kekuatan perjalanan).
  - Perjalanan *overspeed* 990 RPM.
  - Perjalanan arus -waktu terbalik 1000 A.
  - Dibawah/ melebihi tidak ada beban tegangan jatuh 4540 V & 3970 V.
  - Dibawah/ melebihi tidak ada beban kecepatan jatuh di display A 1000 RPM & 850 RPM.
- *Breaker 8* : - *Interlocked* (pengunci) dengan *sync-selector* dan sinkronisasi harus berada dalam  $\pm 13,5$  derajat dari 12 jam.
  - perjalanan mekanik 2 diesel akan mengantar pemutus dan turbin.
  - *Reverse power trip* (mengembalikan kekuatan perjalanan).
  - perjalanan *overspeed* 900 RPM.

- perjalanan arus- waktu terbalik 1000 A.
- Di bawah/ melebihi tidak ada beban tegangan jatuh 4540 V & 3970 V.
- Dibawah/ melebihi tidak ada beban kecepatan jatuh di dispaly A 1000 RPM & 850 RPM.

## **F. Sistem Operasi Unjuk Kerja Sinkronisasi Generator AC**

### *1. Load Sharing dan Load Switching*

#### *a. Load Sharing*

*Load sharing* (pembagian beban) adalah alat pembagi beban yang otomatis menyeragamkan operasi governor (alat yang berfungsi mengatur putaran tetap konstan pada keadaan yang bervariasi), dalam menaikkan atau menurunkan power mesin atau daya generator pembangkit sesuai dengan perubahan bebannya dimana sangat penting diperlukan bila memiliki lebih dari dua generator dengan karakteristik yang berbeda yang akan beroperasi secara paralel. Dengan alat pembagi beban generator, maka setiap generator mempunyai faktor penggunaan (beban maksimum bagi kapasitas generator) yang sama dan kecil yang berarti baik. Perubahan beban akibat pemasukan atau pengeluaran generator dari sistem paralel generator-generator akan dirasakan sama oleh setiap generator dalam sistem tersebut, tanpa *overload* atau *overspeed*. Alat pembagi beban generator hanya bisa diterapkan pada generator set-engine yang mempunyai governor dan

bisa dikembangkan untuk sistem kontrol yang lebih lanjut seperti kontrol dengan distributed control system (DCS). Singkatnya *Load Sharing* merupakan suatu sistem dalam pengoperasian pembangkit yaitu pembagian beban secara bersama oleh beberapa generator atau lebih.

Adapun tujuan dari sistem load sharing ini adalah untuk menjaga kontinuitas (kelancaran) tenaga listrik dan sebagai proteksi untuk pengamanan dari generator itu sendiri sehingga apabila terjadi penurunan atau kenaikan beban. Atau dapat juga dikatakan Fungsi dari *Load Sharing* ini yaitu Agar Generator pada saat sinkron dapat mensupply beban dengan seimbang dengan generator lain maka masing masing generator dianjurkan untuk memiliki load sharing terutama untuk sistem automatic.

#### b. *Load Switching*

*Load Switching* adalah suatu bentuk tindakan perpindahan beban yang terjadi secara otomatis maupun manual untuk mengamankan operasi dari unit-unit pembangkit dari kemungkinan terjadinya kelebihan beban (*overload*). Perpindahan beban secara otomatis dilakukan karena jumlah pasokan daya berkurang dan dilakukan dengan cara mendeteksi frekuensi atau dengan melihat kondisi sumber daya pembangkit yang beroperasi tidak mencukupi kebutuhannya (kemampuan pembangkitan lebih kecil dari pada kebutuhan jumlah beban).

## 2. Lepas Sinkron, Dinamika dan Stabilitas Beban Listrik

### a. Lepas Sikron (*loss of synhcron*)

Lepas sinkron (*loss of synhcron*) adalah gangguan pada sistem pembangkit tenaga listrik adanya gangguan disistem pembangkit akibat perubahan beban mendadak (*suddenly load*), perpindahan beban (*switching*), hubung singkat, dan peristiwa yang cukup besar akan menimbulkan ketidakstabilan sistem. Apabila peristiwa ini terjadi cukup lama dan melampaui batas-batas ketidakstabilan generator, generator akan kehilangan kondisi paralel yang menghasilkan arus puncak yang tinggi dan penyimpangan frekuensi operasi yang keluar dari seharusnya. Pada kondisi ini generator harus dilepas dari sistem.

### b. Dinamika dan stabilitas beban listrik

Dinamika dan stabilitas beban listrik adalah kestabilan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari sistem untuk menjaga kondisi operasi yang seimbang dan kemampuan sistem tersebut untuk kembali ke kondisi operasi normal ketika terjadi gangguan. Dari definisi di atas jelas bahwa pada dasarnya sistem dikatakan stabil apabila mampu mengatasi atau meredam osilasi dengan cepat saat terjadi gangguan sehingga dengan cepat kembali pada operasi normal.

Kestabilan sistem tenaga listrik terbagi dalam kestabilan *steady state* dan kestabilan transient. Kestabilan peralihan berhubungan dengan gangguan besar yang terjadi secara tiba-tiba, seperti gangguan hubung singkat, pemutusan saluran, pemindahan atau pemutusan beban. Sedangkan kestabilan *steady state*

berhubungan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali pada kondisi operating point-nya setelah terjadi perubahan beban kecil seperti perubahan daya atau beban yang gradual.

Berikut syarat dinamika dan stabilitas beban listrik :

a). *Reliability*,

b). *Quality*

c). *Stability*.

- *Reliability* adalah kemampuan suatu sistem untuk menyalurkan daya atau energi secara terus menerus.
- *Quality* adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk menghasilkan besaran-besaran standart yang ditetapkan untuk tegangan dan frekuensi.
- *Stability* adalah kemampuan dari sistem untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami suatu gangguan.

Dalam sistem tenaga listrik yang baik maka ketiga syarat tersebut harus dipenuhi yaitu sistem harus mampu memberi pasokan listrik secara terus menerus dengan standar besaran untuk tegangan dan frekuensi sesuai dengan aturan yang berlaku dan harus segera kembali normal bila sistem terkena gangguan. Untuk jaringan yang sangat kompleks dimana beberapa pembangkit saling terkoneksi satu sama lain maka keluaran daya listrik berupa besaran seperti tegangan dan frekuensi haruslah diperhatikan agar tidak ada pembangkit yang kelebihan beban dan pembangkit yang lain bebannya kecil.



Sistem tenaga listrik mempunyai variasi beban yang sangat dinamis dimana setiap detik akan berubah-ubah, dengan adanya perubahan ini pasokan daya listrik tetap dan harus disupply dengan besaran daya yang sesuai, bila pada saat tertentu terjadi lonjakan atau penurunan beban yang tidak terduga maka perubahan ini sudah dapat dikategorikan ke dalam gangguan pada sistem tenaga listrik yakni kondisi tidak seimbang antara pasokan listrik dan permintaan energi listrik akibat adanya gangguan baik pada pembangkit ataupun pada sistem transmisi sehingga mengakibatkan kerja dari pembangkit yang lain menjadi lebih berat. Untuk itu diperlukan satu penelaahan kestabilan agar pembangkit yang terganggu tidak terlepas dari sistem. Analisis kestabilan biasanya digolongkan kedalam tiga jenis, tergantung pada sifat dan besarnya gangguan yaitu : a).

Kestabilan keadaan tetap (*Steady State Stability*)

b). Kestabilan Dinamis (*Dynamic Stability*)

c). Kestabilan Peralihan (*Transient Stability*)

- Kestabilan keadaan tetap

Kestabilan keadaan tetap adalah : kemampuan sistem tenaga listrik untuk menerima gangguan kecil yang bersifat gradual, yang terjadi disekitar titik keseimbangan pada kondisi tetap.

- Kestabilan Dinamis

Kestabilan Dinamis adalah : kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali ke titik keseimbangan setelah timbul gangguan yang relatif kecil secara tiba-tiba dalam waktu yang lama. Analisa kestabilitas dinamis lebih

komplek karena juga memasukkan komponen kontrol otomatis dalam perhitungannya

- Kestabilan Peralihan

Kestabilan Peralihan adalah : kemampuan sistem untuk mencapai titik keseimbangan / sinkronisasi setelah mengalami gangguan yang besar sehingga sistem kehilangan stabilitas karena gangguan terjadi diatas kemampuan sistem. Analisis kestabilan peralihan merupakan analisis yang utama untuk menelaah perilaku sistem daya misalnya gangguan yang berupa :

- a. Perubahan beban yang mendadak karena terputusnya unit pembangkit.
- b. Perubahan pada jaringan transmisi misalnya gangguan hubung singkat atau pemutusan saklar (*switching*).

Sistem daya listrik masa kini jauh lebih luas, ditambah interkoneksi antar sistem yang rumit dan melibatkan beratus-ratus mesin yang secara dinamis saling mempengaruhi melalui perantara jala-jala tegangan extra tinggi, mesin-mesin ini mempunyai sistem penguatan yang berhubungan. Kisaran masalah yang dianalisis banyak menyangkut gangguan yang besar dan tidak lagi memungkinkan menggunakan proses kelinearan. Masalah kestabilan peralihan dapat lebih lanjut dibagi kedalam ||Kestabilan ayunan pertama (*first swing*) dan ayunan majemuk (*multi swing*).

Kestabilan ayunan pertama didasarkan pada model generator yang cukup

sederhana tanpa memasukkan sistem pengaturannya, biasanya periode waktu yang diselidiki adalah detik pertama setelah timbulnya gangguan pada sistem. Bila pada sistem, mesin dijumpai tetap berada dalam keadaan serempak sebelum berakhirnya detik pertama, ini dikategorikan sistem masih stabil. (Achyanto Djoko, 1986)

### 3. Beban Dinamis dan Beban Kontinyu (*Steady Stater*)

#### a. Beban Dinamis

Beban dinamis adalah beban yang diberikan secara teratur dan terus menerus dalam rentang waktu tertentu. Selain itu juga beban dinamis memiliki beban yang besarnya (intensitasnya) berubah-ubah menurut waktu, sehingga dapat dikatakan besarnya beban merupakan fungsi waktu. Bekerja hanya untuk rentang waktu tertentu saja, akan tetapi walaupun hanya bekerja sesaat akibat yang ditimbulkan dapat merusakkan struktur beban listrik, oleh karena itu beban ini harus diperhatikan didalam merencanakan struktur beban listrik. Fungsi beban dinamis adalah fungsi dari waktu, maka pengaruh terhadap struktur beban listrik juga akan berubah-ubah menurut waktu. Oleh karena itu penyelesaian persoalan beban dinamis harus dilakukan berulang-ulang mengikuti prosedur sejarah pembebanan yang ada.

Contoh-contoh beban dinamis :

- 1). Getaran yang diakibatkan oleh generator.
- 2). Getaran dijembatan yang diakibatkan oleh gerakan kendaraan.

- 3). Getaran yang diakibatkan oleh suara yang keras, seperti : mesin jet, pesawat terbang.
- 4). Angin. Angin dengan kecepatan tinggi dan menerpa suatu bangunan dapat diekivalenkan sebagai suatu gaya yang bekerja sekaligus menggetarkan struktur bangunan.
- 5). Beban Gelombang Air Laut. Gelombang air laut menimpa bangunan pantai seperti pemecah gelombang (*Breakwater*), dermaga , dll. Juga merupakan beban dinamis yang diekivalenkan suatu gaya bekerja pada bangunan-bangunan tersebut. Energi gelombang ini dapat disebabkan adanya tiupan angin yang kencang, maupun gempa bumi yang terjadi didasar laut yang dapat menimbulkan gelombang tsunami.
- 6). Gempa bumi.
- 7). Ledakan bahan peledak atau bom, dll.

b. Beban Kontinyu (*Continous load*)

Beban kontinyu (*Continous load*) adalah beban dalam peralatan yang dalam operasionalnya bekerja secara terus menerus pada kondisi pelayanan normal. Seperti : lampu lalu lintas, lampu-lampu navigasi, pompa bantu, dll.

#### 4. Perbaikan Faktor Daya dan Persamaan Ayunan (*Swing Equation*)

##### a. Perbaikan Faktor Daya

Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu/total daya (VA), atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu/daya total. Faktor daya / faktor kerja menggambarkan sudut fasa antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi. Perbaikan faktor beban ini menggunakan kapasitor.

Kapasitor untuk memperbaiki faktor daya. Faktor daya dapat diperbaiki dengan memasang kapasitor pengkoreksi atau kapasitor bank. Kapasitor bertindak sebagai pembangkit daya reaktif oleh karenanya akan mengurangi jumlah daya reaktif, juga daya semu yang dihasilkan oleh bagian utilitas.

Fungsi utama kapasitor bank :

- Menghilangkan denda/kelebihan biaya (KVArh) -

Menghindari kelebihan beban transformer

- Memberikan tambahan beban transformer -

Memberikan tambahan daya tersedia

- Menghindari kenaikan arus/suhu pada kabel

- Kapasitor bank berfungsi memaksimalkan pemakaian daya (kva) -

Menghemat daya/ efisiensi

- Menghindari drop voltage saluran

- Mengawetkan instalasi & peralatan listrik

- Mengurangi rugi-rugi daya pada instalasi listrik

Sedangkan keuntungan perbaikan daya dengan penambahan kapasitor bank :

1). Bagi konsumen, khususnya perusahaan atau industri :

- diperlukan hanya sekali investasi untuk pembelian dan pemasangan kapasitor serta tidak ada biaya terus menerus ;
- mengurangi biaya listrik bagi perusahaan, sebab :
  - Daya reaktif (kVAR) tidak lagi dipasok oleh perusahaan utilitas sehingga kebutuhan total (kVA) berkurang dan
  - Nilai denda yang dibayar jika beroperasi pada faktor daya rendah dapat dihindarkan.
- Mengurangi kehilangan distribusi (kwh) dalam jaringan/instalasi pabrik.
- Tingkat tegangan pada beban akhir meningkat sehingga meningkatkan kinerja motor.

2). Bagi utilitas pemasok listrik :

- Komponen reaktif pada jaringan dan arus total pada sistem ujung akhir berkurang.
- Kehilangan daya  $I^2 R$  dalam sistem berkurang karena penurunan arus.
- Kemampuan kapasitas jaringan distribusi listrik meningkat, mengurangi kebutuhan untuk memasang kapasitas tambahan.

b. Persamaan Ayunan (*swing equation*)

Persamaan Ayunan (*swing equation*) adalah persamaan yang mengatur putaran/gerakan rotor suatu mesin sinkron didasarkan pada prinsip dalam dinamika yang menyatakan : — momen putar percepatan (*accelerating torque*) adalah hasil kali momen kelembaman  $J$  (*moment of inertia*) rotor dan percepatan

sudutnya  $\frac{d^2\theta_m}{dt^2}$ .

Pengaturan persamaan diferensial dinamis rotor dapat dituliskan sebagai berikut :

$$J \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \text{ Nm}$$

Dengan :

$J$  = Momen kelembaman total dari masa rotor (  $\text{kg.m}^2$  )

$m$  = pergeseran sudut rotor (*angular displacement*) terhadap sumbu yang diam (rad)

= Momen putar percepatan bersih (Nm)

$T_m$  = Momen putar mekanis atau poros (penggerak) yang diberikan oleh penggerak mula dikurangi dengan momen putar perlambatan yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran (Nm)

= momen putar listrik/elektromagnetis (Nm)

Berdasarkan persamaan diatas yaitu diukur terhadap sumbu yang diam maka untuk mendapatkan pengaturan posisi sudut rotor terhadap sumbu yang berputar terhadap kecepatan sinkron dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

= +

Dengan  $\ddot{\delta}_m$  = pergeseran angular rotor atau biasa disebut dengan sudut putaran/sudut daya pergeseran sudut rotor terhadap sumbu yang berputar dengan kecepatan sinkron dalam radian.

Untuk mendapatkan persamaan kecepatan putaran rotor (  $\omega_m$  ) maka persamaan

dapat diturunkan terhadap waktu menjadi : 
$$\omega_m = \frac{d\delta_m}{dt} = \omega_{sm} + \frac{d\delta_m}{dt}$$

Sedangkan untuk mendapatkan persamaan percepatan rotornya maka diturunkan kembali terhadap waktu menjadi :

Dengan substitusi maka persamaan diatas dapat berupa :

$$J \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = T_m - T_e$$

Selanjutnya mengalihkan persamaan tersebut dengan  $\omega_m$  akan menghasilkan :

$$J \omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = \omega_m T_m - \omega_m T_e$$

Karena daya adalah perkalian kecepatan putar dan torsi (momen putar) maka persamaan dapat ditulis kembali dengan persamaan daya :

$$J \omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \text{ MW}$$

Dengan :  $P_m$  adalah masukan daya mekanik (MW)

$P_e$  adalah keluaran daya elektrik (MW)

Persamaan ayunan dalam hubungan sudut daya listrik :

$$J \omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = \frac{2}{p} M \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e$$



Jika persamaan diatas diekspresikan dalam bentuk frekuensi f,

$$\text{Dengan : } \omega_s = 2\pi f$$

dan subscript perunit dihilangkan, sehingga daya dinyatakan dalam satuan perunit

$$\frac{H}{\pi f} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_{m(pu)} - P_{e(pu)}$$

Bila  $\delta$  dinyatakan dalam derajat listrik maka

$$\frac{H}{180 f} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_m - P_e$$

Persamaan diatas dinamakan dengan persamaan ayunan (*swing equation*) yang merupakan persamaan dasar yang mengatur dinamika (gerak) perputaran mesin sinkron dalam studi kestabilan. Selanjutnya persamaan tersebut adalah persamaan differensial orde dua yang dapat dituliskan menjadi dua buah persamaan orde satu dengan :

$$\frac{2H}{\omega} \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e$$

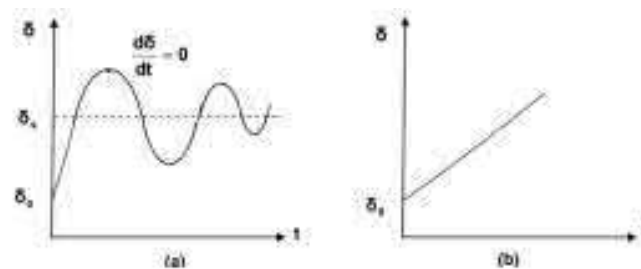
$$\text{Dan } \frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s$$

Persamaan Ayunan menjadi :  $\frac{H}{\pi f} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_m - P_e \text{ (pu)}$

Keterangan : Pada persamaan diatas merupakan persamaan ayunan (*swing equation*) dimana dasar yang mengatur dinamika (gerak) perputaran mesin sinkron dalam kestabilan peralihan. Grafik dalam penyelesaian persamaan diatas disebut —kurva ayunan ( *swing curve*) mesin, dan dengan meneliti kurva ayunan semua mesin dalam sistem daya dapat diselesaikan dalam besaran terhadap waktu.

Gambar sebuah sistem *stable* atau *unstable* yang harus diperhatikan sebagai berikut

:



Gambar 2.29 grafik terhadap  $t$  untuk (a) sistem *stable* & (b) *unstable* (Sumber : Aprilia Vina, dkk. Analisis gangguan 3 fasa pada saluran transmisi terhadap *transient stability* sistem multimesin menggunakan metode runge-kutta orde 5. Hal: 3)

## 5. Overhaul, Overspeed dan Overload

### a) Overhaul

*Overhaul* adalah sistem pemeliharaan pada salah satu tenaga listrik dengan cara membongkar mesin dan membersihkan bagian dalam mesin dan jika ada yang rusak tertentu yang akan diganti.

Istilah *overhaul* adalah merekondisikan mesin yang turun mesin artinya mesinnya harus dilakukan perbaikan untuk dikembalikan pada kondisi semula atau standart nya.

### b) *Overspeed*

*Overspeed* adalah kecepatan lebih pada generator atau putaran lebih pada kondisi operasional turbin. *Overspeed* akan terjadi ketika turbin torsi yang dihasilkan lebih besar dari torsi yang dihasilkan beban. Gaya yang dihasilkan melebihi dari *name plat* atau desain motor jika diteruskan akan melebihi material atau kapasitas motor maka akibatnya rotor akan rusak. Kemungkinan terjadinya *overspeed* :

- ✓ Pada saat *run up*
- ✓ Ketika unit tiba-tiba diputus dari beban

Penyebab *overspeed* :

- ✓ Gangguan pada sistem tenaga listrik sehingga lepas beban.
- ✓ Governor tidak mampu mengembalikan putaran normal.

Akibat nya :

- ✓ Terjadinya *overspeed*
- ✓ Bisa mengakibatkan terjadinya vibrasi → *balancing* pada putaran tertentu.
- ✓ Bisa merusak bearing generator/motor
- ✓ Frekuensi naik

Dan *overspeed* dapat dikurangi secara normal dengan kondisi koordinasi ketika pembukaan *circuit breaker* dan penutupan *steam valve* serta sistem proteksi yang digunakan berfungsi untuk menjaga kecepatan turbin agar tidak melebihi kecepatan maksimum yang mampu ditahan oleh tiap unit generator.

c) *Overload*

*Overload* adalah gangguan beban lebih pada sistem tenaga listrik. Gangguan ini terjadi karena pembebanan pada sistem distribusi yang melebihi kapasitas sistem terpasang. Gangguan beban lebih ini sebenarnya bukan gangguan murni pada sistem tenaga listrik, tetapi bila dibiarkan terjadi gangguan ini mengakibatkan berlangsungnya kerusakan pada peralatan yang dialiri arus listrik. Pada saat gangguan *overload* ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang sebelumnya.

6. Percepatan pembebanan (*acceleration*) & perlambatan pembebanan (*deceleration*)

a). Percepatan Pembebanan (*Acceleration*)

Percepatan Pembebanan (*Acceleration*) adalah perubahan kecepatan dalam satuan waktu beban tertentu. Akselerasi (*acceleration*) sebuah objek (beban) disebabkan karena gaya yang bekerja pada objek (beban) tersebut, seperti yang dijelaskan dalam Hukum Kedua Newton bahwa satuan SI (satuan internasional) untuk akselerasi adalah meter per sekon kuadrat ( $m/s^2$ ).

b). Perlambatan Pembebanan (*Deceleration*)

Perlambatan Pembebanan (*Deceleration*) adalah pengurangan percepatan daya pada sistem tenaga listrik. Deselerasi adalah kebalikan dari akselerasi. Dimana objek daya yang digunakan dalam sistem tenaga listrik melambat.

Deselerasi itu sendiri adalah kecepatan akhir suatu objek dikurangi kecepatan awal, karena kecepatan menurun.

Deselerasi = (kecepatan akhir- kecepatan awal) / waktu

Dengan :  $d = (v_f - v_i) / t$

$d$  = deselerasi

$v_i$  = kecepatan awal

$v_f$  = kecepatan akhir

$t$  = waktu

## 2.2 Kerangka Berfikir

Kerangka Berfikir dalam penelitian ini menggambarkan kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin hari semakin meningkat baik di industri, instansi perusahaan maupun masyarakat. Hal ini menyebabkan permasalahan meningkatnya kebutuhan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik sehari-hari. Oleh sebab itu menimbulkan suatu permasalahan atau pemikiran bagaimana Perusahaan Listrik Negara (PLN) berusaha memberikan pelayanan maksimal untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik sehari-hari. Pelayanan tersebut yaitu memasok kebutuhan listrik secara maksimal yang mempunyai mutu, kontinuitas dan keandalan yang tinggi. Hal ini dapat dicapai dengan cara Perusahaan Listrik Negara (PLN) mempunyai sistem tenaga listrik yang stabil dan konstan dimulai dari pusat pembangkit sampai ke pusat beban dan distribusikan ke pelanggan.

Data proyeksi kebutuhan tenaga listrik di Indonesia 2003-2020 di perhitungkan per 22 wilayah pemasaran listrik PLN yaitu sektor industri, rumah tangga, umum dan lainnya akan mengalami pertumbuhan sebesar 6,5% per tahun dengan pertumbuhan disektor komersial yang tertinggi yaitu 7,3 % per tahun, sektor rumah tangga 6,9 % per tahun (Kebutuhan Listrik Per sektor di Indonesia Tahun 2003 s.d. 2020 ; Sumber: Muchlis dan Darma Permana, hal: 23).

Berdasarkan data diatas untuk memenuhi kebutuhan listrik yang semakin meningkat salah satu solusinya adalah perlu adanya sistem sinkronisasi atau penggabungan antar pembangkit atau generator dan dapat di koneksikan dengan sistem interkoneksi. Tujuan dari sistem sinkronisasi tersebut jika suatu generator/

pembangkit mengalami pembebanan yang melebihi dari kapasitasnya, maka dapat mengakibatkan generator tersebut tidak bekerja secara maksimal atau bahkan generator tersebut akan mengalami kerusakan karena beban lebih. Oleh sebab itu salah satu upaya untuk mengatasi kebutuhan listrik yang meningkat yaitu dengan menjalankan generator dengan generator lain, memparalelkan atau menggabungkan 2 generator atau lebih. Keuntungan dari menggabungkan 2 generator atau lebih dalam satu jaringan listrik tersebut adalah bila salah satu generator tiba-tiba mengalami gangguan, maka generator dapat dihentikan serta pembebanan (pembagian daya) dapat dialihkan pada generator lain, sehingga pemutusan listrik secara total dapat dihindari.

UNNES tepatnya di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik terdapat alat trainer simulasi sinkronisasi generator. Peralatan simulasi tersebut yaitu DAC #490. DAC #490 adalah suatu alat trainer yang bekerja salah satunya untuk melakukan simulasi dalam hal sinkronisasi generator atau pembagian daya pada unit pembangkit listrik. Peneliti akan melakukan eksperimen atau percobaan pengolahan data terhadap alat tersebut salah satunya yaitu melakukan proses sinkronisasi, pembagian daya tiap unit, mengamati respon generator untuk beban induktif, resistif, beban kapasitif, dan menghitung faktor daya yang di hasilkan, serta dapat mengatur tegangan dan frekuensi sesuai prosedur yang dibutuhkan.

### 2.3 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian adalah suatu jawaban yang sifatnya sementara terhadap permasalahan sampai terbukti melalui terkumpul (Suharsimi Arikunto, 2010 : 110). Berdasarkan teori diatas, maka diajukan hipotesis sebagai berikut :

- a. Hipotesis kerja ( $H_a$ ) : Terdapat hasil proses kerja sinkronisasi generator untuk meningkatkan kapasitas daya, melakukan pembagian beban pada tiap unit, dan melakukan penggantian beban (memindahkan daya) ke unit lain dengan menggunakan modul DAC #490.
- b. Hipotesis nol ( $H_0$ ) : Tidak terdapat hasil proses kerja sinkronisasi generator untuk meningkatkan kapasitas daya, melakukan pembagian beban pada tiap unit, dan melakukan penggantian beban (memindahkan daya) ke unit lain dengan menggunakan modul DAC #490.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diteliti dan dilaksanakan dilaboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik UNNES tentang —Unjuk Kerja Pengaturan Pembagian Daya Pada Sinkronisasi Generator ACI dengan trainer *Electrical Generation Fundamentals DAC #490*, maka penelitian dapat disimpulkan dengan dasar : simulasi beban dinamik terhadap sistem tenaga listrik dapat menghasilkan analisis data penelitian tentang analisis perubahan arus (A), perubahan tegangan (V), perubahan daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVAR), selanjutnya perubahan frekuensi (Hz), perubahan kecepatan mekanik (Rpm), serta perubahan *power factor* ( $\cos \varphi$ ) dan *phase angle* ( $0^\circ$ ). Penelitian berikutnya yaitu tentang analisis pembebanan sistem tenaga listrik dengan beban akselerasi (percepatan pembebanan) dan analisis pembebanan dengan beban deselerasi (perlambatan pembebanan) serta analisis data yang terakhir tentang analisis pembebanan yang dipasang alat tambahan kompensator (*capasitor bank*). Dari analisis penelitian tersebut didapat kesimpulan sebagai berikut :

#### 1. Beban dinamik (akselerasi dan deselerasi) tanpa kompensator

Beban dinamik (akselerasi load) tanpa kompensator berdampak pada perubahan saat beban masuk pada sistem tenaga listrik (*on load*) dimana nilai tinggi saat running dan incomming terhadap beban akselerasi :

- Nilai arus running dan incomming saat beban masuk mengalami kenaikan relatif setiap beban masuk,
- Nilai tegangan running dan incomming saat beban masuk mengalami penurunan tegangan kecil,
- Nilai daya aktif dan reaktif running dan incomming saat beban masuk mengalami kenaikan relatif,
- Nilai frekuensi dan kecepatan mekanik running dan incomming saat beban masuk mengalami penurunan kecil,
- dan nilai *power factor* dan *phase angle* running dan incomming saat beban masuk mengalami naik dan turun relatif kecil.

Dengan kata lain beban dinamik (akselerasi load) mengalami perubahan dari kondisi beban masuk hingga beban running incomming mengalami perubahan kecil.

Sedangkan beban dinamik (deselerasi load) tanpa kompensator berdampak pada perubahan saat saat beban masuk pada sistem tenaga listrik (*on load*) dimana nilai tinggi saat running dan incomming terhadap beban deselerasi :

- Nilai arus running dan incomming saat beban masuk mengalami start naik relatif dan kembali turun setiap beban semula,
- Nilai tegangan running dan incomming saat beban masuk mengalami start turun dan naik perlahan-lahan sesuai beban masuk tegangan kecil,

- Nilai daya aktif dan reaktif running dan incomming saat beban masuk mengalami start naik dan perlahan-lahan beban daya turun.
- Nilai frekuensi dan kecepatan mekanik running dan incomming saat beban masuk mengalami start turun dan perlahan-lahan naik,
- dan nilai *power factor* dan *phase angle* running dan incomming saat beban masuk mengalami naik dan turun relatif kecil.

Dengan kata lain beban dinamik (deselerasi load) mengalami perubahan dari kondisi beban masuk hingga beban running incomming mengalami perubahan kecil.

## 2. Beban dinamik dengan kompensator (*capasitor bank*)

Beban dinamik dengan kompensator (*capasitor bank*) berpenerapan terhadap kerja sistem tenaga listrik tidak dapat memperbaiki faktor daya, artinya faktor daya kecil. sehingga *phase angle* dan sudut beban daya mendekati sudut  $90^{\circ}$  (faktor daya lagging) beban tertinggal. Maka kesimpulannya beban dinamik dengan kompensator (*capasitor bank*) memiliki kesimpulan daya reaktif lebih besar dibandingkan daya efektif (daya aktif).

## B. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, disadari peneliti masih banyak kesalahan dan kekurangan, dengan demikian diharapkan adanya penelitian lanjutan guna pengembangan. Oleh sebab itu ada beberapa saran yang harus dilakukan untuk lebih lanjut antara lain :

1. Untuk memperbaiki faktor daya (*power factor* dan *phase angle*) dalam simulasi penelitian menggunakan trainer *Electrical Generation Fundamentals DAC #490* tidak tepat dan hasil tidak efektif bila menggunakan *capasitor bank* yang ada, disarankan menggunakan setting *capasitor bank* yang tersedia (variabel induksi, resistansi dan capacitive).
2. Untuk simulasi dengan judul penelitian —Unjuk Kerja Pengaturan Pembagian Daya Pada Sinkronisasi Generator AC| dengan tranier *Electrical Generation Fundamentals DAC #490* dalam simulasi pembebanan tidak bisa mengoperasikan keseluruhan beban secara bersamaan, maka disarankan untuk proses sinkronisasi dalam analisis pembebanan dengan beban yang dioperasikan bersamaan maka generator yang di sinkronisasikan harus memiliki kapasitas yang lebih (melebihi jumlah total beban keseluruhan yang akan dioperasikan) sehingga tidak mengalami gangguan overload/ gangguan beban lebih.

## DAFTAR PUSTAKA

- Antono Djodi, Khambali M. (2013), *Penerapan Sinkronisasi Jaringan Listrik Tiga Fasa PLN dengan Generator Sinkron Menggunakan Trainer Power Sistem Simulation*.
- Aprilia Vina, dkk. Analisis gangguan 3 fasa pada saluran transmisi terhadap *transient stability* sistem multimesin menggunakan metode runge-kutta orde 5. Hal : 3. Lampung : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- [Arikunto, Suharsimi. \*Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik\*. Edisi Revisi 2010 : 110. Cetakan 14. Jakarta : Rineka Cipta, 2010.](#)
- Ayu Kartika Sari Gamma. 2018 : 4. *Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) Rayon Blora*. Surakarta : 2018. Universitas Muhammadiyah Surakarta : Progam Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik.
- DAC #490 *Electrical Generation Fundamentals* Laboratorium Teknik Elektro, UNNES.
- El, Suhinar. *Cara Memahami Segitiga Daya*. <http://www.listrik-praktis.com/2015/09/memahami-dengan-mudah-konsep-segitiga-daya.html>.
- <https://wimboharyoanindito.wordpress.com/2012/11/29/sinkronisasi-paralel-generator/>
- Insy Ansori, Akhmad. 2013 : 1. *Pembangkit Tenaga Listrik*. <http://insyaansori.blogspot.co.id/2013/09/pembangkit-tenaga-listrik.html>.
- Modul : *Electrical Generation Fundamental Trainer : Electrical Generation Fundamentals #DAC490*. <http://www.dac3d.com/dactrng/PRODELEC/490INFOTEMP.HTM>.
- [Modul : \*User's Manual For Model 490 Electrical Generation Fundamentals Trainer, #490\*](#)
- Modul DAC #490 *Electrical Generation Fundamentals*, Hal: 26-27,31,35.

- Modul: Kadaffi, Muhamar. Tanpa Tahun : 20-23. *Perencanaan Sistem Tenaga Listrik : Karakteristik Beban Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Pusat Pengembangan Bahan Ajar Universitas Mercu Buana. Yogyakarta : Universitas Mercu Buana.
- Muchlis, Moch dan Adhi Darma Permana. *Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang : Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 s.d 2020* : 23.
- Murdana, Muhammad Hajar. FT UI 2010 : 22 . *Pembagian Beban pada Operasi Paralel Generator Set yang Optimal dengan Simulasi Beban Resistif*. Depok : Universitas Indonesia.
- Muslim, Supari, dkk. 2008 : 21. *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional Tahun 2008.
- Muslim, Supari, dkk.2008 : 235. *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik Jilid 2*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional Tahun 2008.
- Nur Ilda dan Wrahatnolo Tri. Tanpa Tahun: 25. *Analisis Pengaruh Gangguan Beban Lebih Pada Inter Bus Transformer (IBT) Terhadap Kinerja Overload Shedding (OLS) Di Subsistem Krian-Gesik*. Surabaya. Universitas Negeri Surabaya : Teknik Elektro Fakultas Teknik UNESA.
- Sekolah Menengah Kejuruan Bidang Keahlian Teknik Telekomunikasi. 2003 : 7-9. *Teknik Dasar Generator*. Yogyakarta : Bagian Proyek Pengembangan Kurikulum Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan Direktorat Jendral Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional 2003. Yogyakarta : Tim Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

Sugiyono. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*. 2011 : 107, 203 . Bandung. Penerbit : Alfabeta.

Sumardjati, Prih dkk. 2008 : 430,434-436, 444. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional Tahun 2008.

Sutarno, Isdiyarto,dkk. *Artikel : Karakteristik Sinkronisasi Generator Daya Besar Tegangan Tinggi 30kV Menggunakan Modul Analizer Trainer 490*. Semarang : 2016. Universitas Negeri Semarang : Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik UNNES.