

POWER MANAGEMENT PLN-GENSET PADA BANK INDONESIA CABANG BANJARMASIN

Setia Graha⁽¹⁾

⁽¹⁾ Staff Pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin

Ringkasan

Energi listrik sangat diperlukan bagi keperluan perkantoran, perindustrian, mall dan disemua tempat yang memerlukan energi listrik. Sumber energi listrik utama berasal dari Perusahaan Listrik Negara yang dikenal dengan PLN, daerah Banjarmasin sering terjadinya pemadaman aliran listrik sehingga diperlukan energi listrik yang dihasilkan oleh generator sendiri. Pemindahan aliran listrik antara sumber PLN dan Genset diperlukan suatau alat switch yang saling interlok satu sama lain dikenal dengan Change Over Switch (COS).

Semakin besarnya keperluan pemakaian daya listrik untuk mencukupi kebutuhan daya pada saat terjadinya pemadaman listrik di perlukan beberapa pembangkit listrik hal ini adalah generator, untuk memperbesar kemampuan daya generator diperlukan sistem paralel genset yang dapat mengatur beban dan memanagermet besaran daya yang harus di suplai sesuai keperluan beban.

Kata kunci : *load sharing, sinkron*

1. PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya keperluan daya listrik baik di bidang industri maupun gedung perkantoran dan rumah tangga, sumber listrik di suplai oleh Perusahaan Listrik Negara yang dikenal dengan PLN maupun dari generator sendiri. Energi listrik yang diperlukan untuk penambahan beban yang besar di perlukan beberapa generator yang di paralel atau di sinkron dengan tujuan untuk memperbesar kapasitas daya suplai yang dihasilkan oleh generator, sehingga keperluan beban tercapai sesuai yang di inginkan. untuk menjaga suatu kualitas daya dari generator yang kondisi paralel diperlukan satu pembagian beban (load sharing) untuk mengatur keperluan beban yang di suplai oleh masing-masing generator

2. DASAR TEORI

Generator sinkron

Secara umum generator sinkron mempunyai kumparan stator dan kumparan rotor yang akan menghasilkan energi listrik. Generator sinkron merupakan mesin sinkron yang mengubah dari energi mekanik ke energi listrik. Energi mekanik berupa putaran rotor yang digerakan oleh penggerak mulai (prime mover) yang akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang

sama dengan putaran rotor, hubungan antara kecepatan putar dengan putaran rotor disebut dengan frekuensi, persamaan antara kecepatan putar medan magnet dengan frekuensi listrik pada stator adalah :

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (1)$$

Dimana :

f = frekuensi listrik (Hz)

p = jumlah kutub

n = kecepatan putar rotor (rpm)

medan putar yang dihasilkan pada rotor akan di induksikan pada kumparan jangkar yang menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Perubahan fluks magnetik akan menghasilkan ggl induksi pada ujung kumparan terdapat dalam persamaan :

$$E_{\text{eff}} = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_m \cdot N \quad (2)$$

Dimana :

E_{eff} = ggl induksi efektif (Volt)

p = jumlah kutub

f = frekuensi listrik (Hz)

Φ_m = fluks magnetik (weber)

n = kecepatan putar rotor (rpm)

N = jumlah lilitan

Regulasi tegangan generator sinkron

Regulasi tegangan merupakan perubahan tegangan jepit atau tegangan terminal pada

generator sinkron dalam keadaan tanpa beban dengan beban penuh. Regulasi tegangan dinyatakan dengan persamaan :

$$\% \Delta V = \left| \frac{E_0 - V}{V} \right| \times 100\% \quad (3)$$

Persamaan diatas E_0 merupakan tegangan tanpa beban dan V adalah tegangan dengan beban

Segitiga daya

Efisiensi dari satu instalasi tenaga listrik dukur dari faktor daya atau dikenal dengan istilah $\cos \phi$, dalam sistem sinusoidal besaran $\cos \phi$ menunjukan level dari daya reaktif yaitu $0 \leq \cos \phi \leq 1$ persamaan faktor daya dapat dilihat sebagai berikut.

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad (4)$$

Dimana daya nyata dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \text{ (watt)} \quad (5)$$

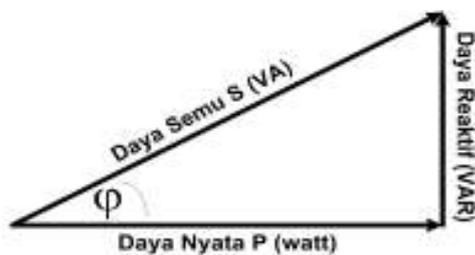
Sama halnya dengan daya semu dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ (VA)} \quad (6)$$

Sedangkan daya reaktif dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi \text{ (VAR)} \quad (7)$$

Ketiga persamaan diatas dapat digambarkan dengan metode segitiga daya



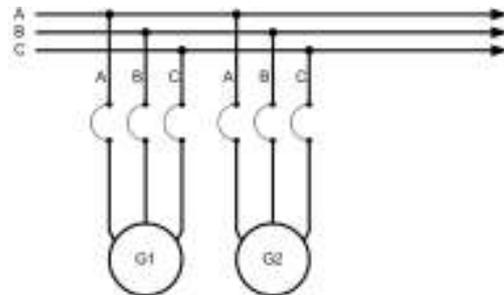
Gambar 1 Segitiga daya

Pernyataan diatas mendefinisi hubungan power factor dengan sudut fasa. Sudut fasa semakin mendekati 1 akan mengecilkan daya reaktif yang dihasilkan.

Kerja paralel generator

Paralel generator sinkron dapat dikatakan dengan mengabungkan dua buah generator atau lebih secara bersamaan,

sistem kerja paralel ini bertujuan untuk mendapatkan daya yang lebih besar, untuk efisiensi hal ini untuk menghemat biaya pemakaian operasional dan biaya pembelian kapasitas generator, dan menjamin kontinyutas ketersediaan daya listrik. Sitem paralel generator disebut juga dengan sinkronisasi generator

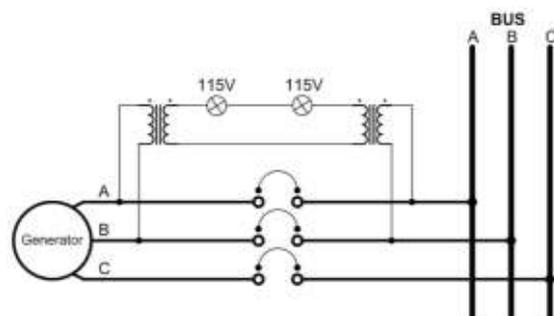


Gambar 2 Generator kondisi paralel

Sebelum generator dapat di paralel kondisi sinkron harus memenuhi persyaratan yaitu :

1. Tegangan antara generator harus mempunyai besaran amplitudo yang sama,
2. Frekuensi antara generator harus mempunyai frekuensi yang sama,
3. Sudut fasa kedua generator harus sama
4. Urutan fasa antara generator harus sefasa

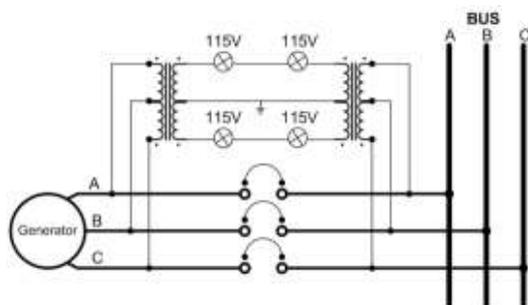
Sistem paralel generator dapat dilakukan dengan dua cara yaitu manual dan otomatis. Sinkronisasi secara manual mengandalkan peralatan dan ketelitian seorang operator ketika kedua atau beberapa generator aman untuk di paralel. Peralatan yang harus ada pada kondis manual paralel adalah synchroscope, dobel volt meter, dobel frekuensi meter, lampu indikator kondisi paralel generator.



Gambar 3 Indikator lampu sama fasa

Pada gambar 3 menunjukkan salah satu metode yang menggunakan dua lampu 115 Vac untuk memeriksa apakah dua tegangan

berada dalam sefasa atau keluar dari fasa. Ketika tegangan berada dalam fasa, lampu akan dipadamkan, dan ketika tegangan berada di luar fasa, lampu akan terang.



Gambar 4 indikator lampu rotasi fasa dan sama fasa

Pada gambar 4 menunjukkan metode lain, menggunakan empat lampu 115 Vac, yang akan memeriksa rotasi fasa serta beda fasa seperti sebelumnya, ketika tegangan berada difasa, semua lampu akan dimatikan, dan ketika tegangan berada di luar fasa, semua lampu akan menyala. Jika pasang lampu bergantian terang dan gelap (dengan dua lampu gelap sementara dua lainnya terang) mengindikasikan urutan fasa tidak sama.

Sinkronisasi secara otomatis dilakukan dengan memonitor tegangan dari salah satu atau dua fasa output generator dan tegangan fasa-fasa yang sama dari bus aktif. Unit-unit kecil biasanya menggunakan satu fasa dan sistem pembangkit besar biasanya menggunakan dua atau tiga fasa.

sinkronisasi secara otomatis bekerja melalui pengaturan kecepatan dioperasikan dengan motor potensiometer. potensiometer digunakan untuk kecepatan mesin yang akan menghasilkan frekuensi listrik, potensiometer ini berfungsi mengatur frekuensi listrik untuk mencocokkan fasa generator mendekati dengan yang ada pada aktif bus. Waktu untuk sinkronisasi bervariasi dari 1/2 detik ke atas. Sinkronisasi tergantung pada seberapa dekat kecepatan governor dan seberapa dekat sinkronisasi itu cocok dengan frekuensi generator terhadap aktif bus.

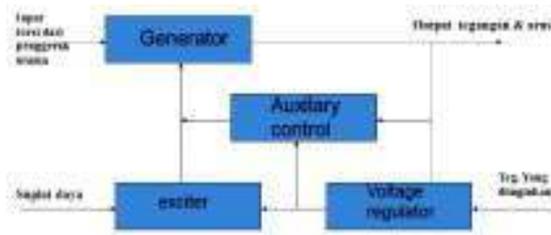
Governor yang bagus dapat membandingkan frekuensi secara akurat, sering mengakibatkan pengaturan frekuensi yang sangat lambat. Ketika ini terjadi, waktu yang dibutuhkan untuk pengaturan frekuensi dapat mengakibatkan waktu sinkronisasi cepat. Metode ini kemudian diperbaiki. Synchronizer akan mengatur unit frekuensi dengan bus, setelah frekuensi itu cocok sinyal pengaturan

kecepatan menyesuaikan kecepatan generator untuk sekitar 0,5% di atas kecepatan sinkron. Motor potensiometer akan mengatur kecepatan kemudian kembali ke sekitar 0,2% di bawah kecepatan sinkron. Tindakan ini diulang sampai sinkronisasi sudut fasa terjadi dan pemutus sirkuit itu kemudian ditutup. Sebuah sinkronisasi modern yang membandingkan frekuensi dan fasa dari dua tegangan, dan mengirimkan sinyal koreksi ke titik penjumlahan governor mengendalikan penggerak utama generator.

AVR (Automatic Voltage Regulator)

AVR berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan baik secara single running maupun kondisi paralel dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan output generator. Prinsip kerja dari AVR adalah mengatur arus penguatan (excitacy) pada exciter. Apabila tegangan output generator di bawah tegangan nominal tegangan generator maka AVR akan memperbesar arus penguatan (excitacy) pada exciter. Dan juga sebaliknya apabila tegangan output Generator melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan (excitacy) pada exciter. Dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan output Generator akan dapat distabilkan. AVR secara otomatis dikarenakan dilengkapi dengan peralatan seperti alat yang digunakan untuk pembatasan penguat minimum ataupun maximum yang bekerja secara otomatis. Dengan eksitasi secara terpisah AVR dioperasikan dengan mendapat satu daya dari permanen magnet generator (PMG) dengan tegangan 110V, 20A, 400Hz. Serta mendapat sensor dari potensial transformer (PT) dan current transformer (CT). Secara umum avr mempunyai bagian utama yaitu suatu kontrol untuk memonitor tegangan output generator, komponen kontrol untuk nilai set poin eksitasi dan kontrol pembanding tegangan output dengan set point untuk memberikan perintah menambah atau mengurangi arus pada eksitasi. Avr bekerja dengan menggunakan prinsip dasar error detection atau deteksi error tegangan, jika output tegangan generator tinggi maka sinyal error akan positif dan akan mengurangi arus eksitasi begitu pula sebaliknya, apabila tegangan sama dengan set poin maka error signal kan 0 dan ketika memberikan perintah eksitasi, blok diagram sistem eksitasi pada generator sinkron ditunjukkan pada gambar 5 Blok diagram

pengontrolan sistem eksitasi, dimana output tegangan dan arus generator masuk ke voltase regulator dan dilanjutkan proses sensing di auxiliary control yang telah di berikan nilai tegangan eksitasi sesuai dengan set poinnya, auxiliary control mengatur eksitasi agar tidak terjadi over eksitasi pada belitan medan di generator. Eksiter sendiri harus mempunyai suplay daya yang cukup untuk kumparan medan.

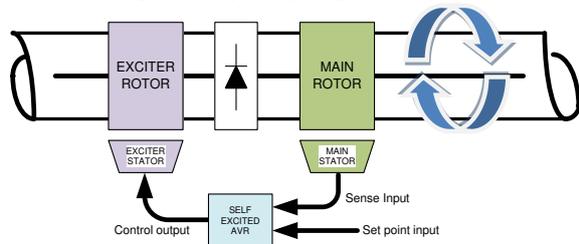


Gambar 5 Blok diagram pengontrolan sistem eksitasi.

Fungsi AVR antara lain :

1. Menjaga kesetabilan tegangan output generator
2. Mengatur pembagian daya semu rektif saat kerja paralel
3. Memberikan pengaturan arus esitasi dalam kondisi gangguan supaya tidak keluar dari sinkronisasi
4. Menurunkan tegangan dengan cepat apabila generator terlepas dari beban yang akan mengakibatkan terjadinya over voltage.

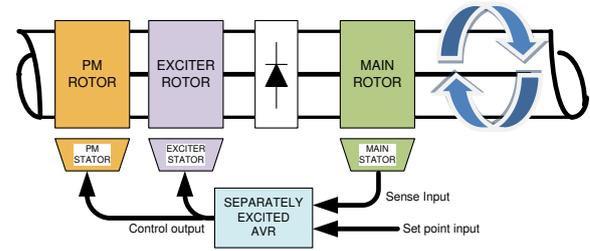
AVR mempunyai dua dasar sitem eksitasi yaitu self excitation (eksitasi sendiri) dan separate excitation (eksitasi terpisah). Slef excitation mengambil sensor langsung dari output generator. Tegangan output generator yang masuk ke slef excited avr dengan cara disearahkan dan diproses selanjutnya memberi kan arus medan pada kumparan medan untuk memperbaiki output generator sesuai dengan set poin yang diharapkan.



Gambar 6 Self exciter

Separate excitation (eksitasi terpisah) mempunyai magnet permanen pada rotor

(PMG), permanen magnet menginduksi ke sirkit kontrol avr.



Gambar 7 Separate excitation

Governor

Perangkat penting yang mengontrol output kecepatan atau daya output baik itu mesin disel, turbin, disebut dengan governor. Governor merupakan satu alat pengaturan kecepatan penggerak mula (prime mover) dengan mengontrol bahan bakar (atau bahan bakar uap) untuk mempertahankan kecepatan (atau beban) pada tingkat yang diinginkan.

Semua governor memiliki komponen dasar:

1. Suatu cara untuk mengatur kecepatan yang diinginkan. (Driver menetapkan set poin kecepatan yang diinginkan)
2. Sebagai sensor kecepatan yang sebenarnya. (driver mengacu pada speedometer).
3. Sebuah cara untuk membandingkan kecepatan yang sebenarnya untuk kecepatan yang diinginkan. (Driver membandingkan dua kecepatan.)
4. Menstabilkan kecepatan mesin

Governor mengatur lajunya bahan bakar dengan memanfaatkan umpan balik secara loop dalam sistem kontrol yang mengontrol jumlah bahan bakar untuk mengontrol kecepatan mesin. Geovernor bertugas untuk mengatur kecepatan mesin dengan cara membandingkan kecepatan aktual dengan kecepatan yang diinginkan (kecepatan setpoint)

Droop

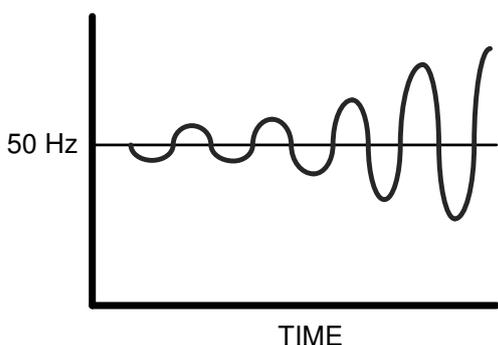
Droop memiliki banyak kegunaan dan aplikasi dalam kontrol mesin. mesin kontrol kecepatan akan tidak stabil dalam banyak kasus. Droop didefinisikan sebagai penurunan pengaturan kecepatan pada kenaikan beban. Droop dinyatakan sebagai persentase dari pengaturan kecepatan asli dari tidak ada beban ke beban penuh. Persen direkomendasikan normal droopi adalah 3% sampai 5%. Minimal 2,5% diperlukan untuk menjaga stabilitas kecepatan governor droop. Droop dihitung dengan rumus berikut

$$\% \text{ Droop} = \frac{n_{NL} - n_{FL}}{n_{FL}} \times 100\% \quad (8)$$

Jika, penurunan setelan kecepatan kenaikan terjadi, governor menunjukkan droop negatif. droop negatif akan menyebabkan ketidakstabilan di governor.

Dalam sistem tanpa droop, peningkatan beban akan menyebabkan mesin melambat. Governor akan merespon dengan meningkatkan bahan bakar sampai putaran mesin telah kembali ke kecepatan aslinya.

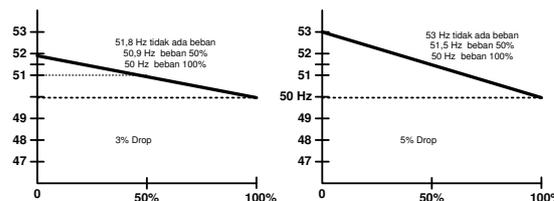
Karena sifat gabungan inersia dan lag kekuatan, kecepatan mesin akan terus meningkat melebihi pengaturan kecepatan aslinya, menyebabkan overshoot yang dalam hal kecepatan. Governor akan merespon untuk mengurangi kecepatan untuk mengoreksi overshoot. Ini akan over-correct kecepatan dalam arah lain yang menyebabkan under-correct di kedua arah (ketidak stabilan) akan memperkuat sampai mesin mengalami overspeed.



Gambar 8 Curva respon governor tanpa droop

Masalah ketidak stabilan dapat dihilangkan dengan droop. Dengan meningkatnya beban, pengaturan kecepatan menurun. Ketika governor bergerak untuk mengoreksi penurunan kecepatan yang disebabkan oleh beban yang meningkat, maka akan memperbaiki ke pengaturan kecepatan yang lebih rendah. Pengaturan ini mencegah seting kecepatan yang lebih rendah.

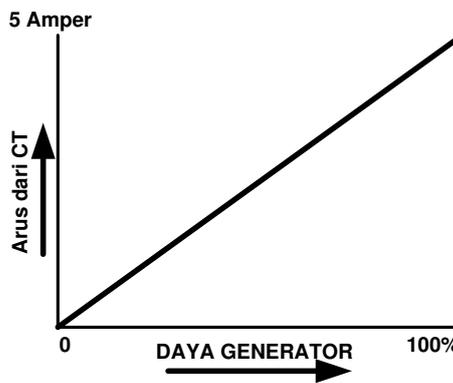
Droop adalah fungsi garis lurus, dengan referensi kecepatan tertentu untuk setiap posisi bahan bakar. Sebuah droop governor menurunkan kecepatan referensi dari 3% menjadi 5% dari referensi, dari tidak ada beban ke beban penuh, droop governor 3% dengan kecepatan referensi 1236 rpm tanpa beban akan memiliki kecepatan referensi 1200 rpm pada penuh beban



Gambar 9 Curva droop 3% dan 5%

Load Sensing

Sensor beban generator adalah transformator arus (CT) untuk sensor beban. transformator arus (CT) ditempatkan di seluruh output daya yang berasal dari generator. Sebagai beban diterapkan pada generator, arus bolak balik (AC) mengalir melalui garis generator dan menginduksi arus ke CT. Arus dalam CT meningkat secara proporsional dengan beban pada generator dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 10 Generator load sensor

Arus yang diinduksi dari CT kemudian diubah menjadi tegangan dc di sensor beban. Namun, karena hanya daya nyata yang akan digunakan dalam menentukan output sensor beban, transformator potensial juga terhubung ke output daya dari mesin generator.

Load sharing

Suatu alat pembagi beban (Load Sharing) merupakan peralatan otomatis yang menyeragamkan operasi governor dalam menaikkan atau menurunkan power mesin atau daya generator pembangkit listrik sesuai dengan perubahan bebannya, dan sangat diperlukan bila memiliki lebih dari dua generator dengan karakteristik yang berbeda yang beroperasi secara paralel.

Dengan alat pembagi beban generator, maka setiap generator mempunyai faktor penggunaan (beban maksimum dibagi kapasitas generator) yang sama dan kecil

yang berarti bagus. 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.

Load Sharing merupakan suatu sistem dalam pengoperasian pembangkit yaitu pembagian beban secara bersama oleh beberapa generator atau lebih, adapun tujuan dari system load sharing ini adalah untuk menjaga kontinuitas (kelancaran) tenaga listrik dan sebagai proteksi untuk pengamanan dari generator itu sendiri 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.

Otomatis paralel dengan generato

Modul GCP 30 harus diposisikan ke sistem otomatis semua parameter antara lain :start power (Parameter 97), stop power (Parameter 100), start delay (Parameter 98),stop delay (Parameter 99), and the frequency set point value (Parameter 8) semuanya dikonfigurasi untuk semua generator yang akan menggunakan load sharing. Satu parameter "Load-dependent stop/start on terminal 3/5" (Parameter 95 and/or Parameter 96) dikonfigurasi posisi ON dan parameter "Load sharing" (Parameter 90) and/or "var sharing" (Parameter 92) juga dikonfigurasi ON, dengan catatan semua generator mempunyai rated power yang sama (Parameter 21). menentukan kondisi otomatis star/on mesin yang kedua pada generator dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$D = \frac{(A \cdot B) - C}{B} \quad (9)$$

Dimana :

A = generator rated power

B = number of closed GCB

C = isolated reserve power

D = generator power level that a generator is started

Untuk perhitungan stop/off generator kedua dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut:
Power level stop = [(n - 1).A] - C - H (10)

Dimana :

A = generator rated power

N = number of generators needed for load

C = isolated reserve power

H = generator hysteresis

Untuk menentukan tingkat beban generator individu shut down tingkat daya harus dibagi dengan jumlah generator secara paralel. Ketika individu untuk beban generator turun di bawah level stop generator, perintah stop akan dikeluarkan dan generator akan memberi beban untuk generator yang tersisa, persamaan sebagai berikut:

$$level\ stop = \frac{power\ level}{jumlah\ paralel\ generator} \quad (11)$$

Perhitungan star dan stop secara otomatis hanya berlaku untuk modul GCP 30

Managemen kontrol waktu

Salah satu metode paling sederhana dan paling efektif dalam perhitungan energi dengan waktu yang dilalui dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$energi\ (Rp) = P \cdot (T1 - T2) \cdot \frac{1}{\cos\ \varphi\ beban} \cdot A \quad (12)$$

dimana :

P = daya nyata (watt)

T1 = waktu sebelum operasi (jam)

T2 = waktu setelah operasi (jam)

A = Istimasi nilai uang (/kwh)

Konsumsi bahan bakar

Mengetahui nilai konsumsi solar untuk Generator Set (Genset) yang terdapat dalam persamaan sebagai berikut :

$$Q = k \cdot P \cdot t$$

Dimana :

k = 0,21(faktor ketetapan konsumsi solar per kilowatt per jam)

P = Daya Genset (KVA=KiloVoltAmpere)

t = waktu (jam)

Q = Laju konsumsi bahan bakar (liter/jam)

Efisiensi generator

Efisiensi generator merupakan perbandingan antara daya output generator berbanding lurus dengan daya input mekanis generator sebagai sebuah persamaan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (14)$$

Dimana

η = efisiensi generator

P_{out} = Daya output generator (watt)

P_{in} = Daya mekanik output generator (watt)

Selanjutnya, dengan hukum kekekalan energi (perlu diketahui bahwa energi hanyalah produk dari daya dikalikan dengan waktu), daya input mekanis sama dengan daya output

listrik ditambah dengan kerugian sehingga di peroleh persamaan :

$$P_{in} = P_{out} + P_{losses} \quad (15)$$

Dimana :

P_{in} = Daya mekanik output generator (watt)

P_{out} = Daya output generator (watt)

P_{losses} = Daya output generator (watt)

3. PENGUMPULAN DATA

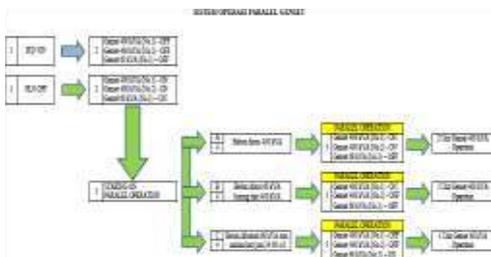
Tabel 1 Spesifikasi Generator

URAIAN	Kapasitas Genset		
	60 kVA	400 kVA	400 kVA
Merek	Stamford	Stamford	Stamford
Frame/Core	UC I224E1	HCI434F	HCI434F
Base Rating kVA	60	1	1
Base Rating kW	48	400	400
Frequency	50	320	320
Rpm	1500	50	50
Voltage	380	1500	1500
Phase	3	380	380
Ampere base rate	91,2	3	3
PF	0,8	607,8	607,8
Rating	Cont	0,8	0,8
Excitation Volt	49,5	Cont	Cont
Excitation Current	2,15	42	42
Ambient temperatur °C	40	2,3	2,3
Insulation Class	Class H	40	40
Enclsure	IP23	Class H	Class H
Stator winding	311	IP23	IP23
Stator connection	S Star	311	311
AVR	SX440	S Star	S Star
Mounting type	DMB15	MX341	MX341
Cooling Method	TC01		
Weight	270 kg		

Dari table 1 menunjukan 3 unit generator dengan 1 unit kapasitas 60 kVA dan 2 unit 400kVA dengan pengoperasian kerja generator jika sumber PLN padam adalah :

1. Antara jam 07:00 s/d 24:00 daya beban diatas 400 kVA dua unit genset aktif/bekerja dan daya beban dibawah 400 kVA hanya satu unit aktif/bekerja.
2. Beban dibawah 60 kVA hanya 60 kVA saja aktif/bekerja kondisi ini terjadi pada malam hari diatas jam 24:00 s/d 07:00

Sistem operasi genset dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 11 Sistem kerja generator

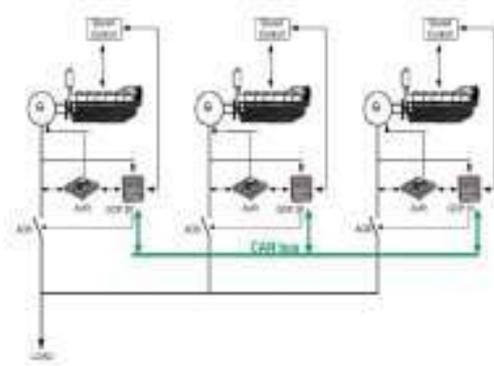
Pada gambar 11 posisi off generator apabila sumber dari listrik Negara tidak padam, jika padam antara jam 07:00 s/d 24:00 maka

ketiga generator akan starting dan menghasilkan listrik. Nilai beban diatas 400 kVA generator bekerja 2 unit total 400kVA jika di bawah 400 kVA hanya 1 unit saja yang aktif. Untuk generator 60 kVA difungsikan pada waktu 24:00 s/d 07:00 pagi saja. Sistem paralel ketiga generator di control dalam satu modul yaitu GCP30 dari woodward. Modul ini berfungsi untuk papalel generator juga sebagai proteksi dan load sharing terhadap beban yang dipakai



Gambar 12 Modul GCP 30

Modul ini mengontrol tegangan keluar generator stabil dengan cara memberikan bias tegangan pada avr dan mengontrol putran mesin melalui speed control untuk mengerjakan governor dalam pengaturan bahan bakar. Komunikasi antara modul GCP 30 menggunakan CANbus, kordinasi ketiga generator tersebut adalah



Gambar 13 sistem lengkap GCP 30

Dalam modul GCB 30 ada beberapa parameter yang harus disesuaikan dengan spesifikasi generator untuk hasil paralel yang diharapkan. Disamping parameter kapasitas generator dan sistem proteksi yang harus di masukan juga parameter untuk perintah management daya untuk melaksanakan

perintah buka dan tutup CB. Parameter tersebut adalah

- Generator minimum load = 15kW
- Reated power generator =320 kW
- Number of closed CB = 1
- Reserve power isolated power = 96 kW
- Hysteresis add-on/off = 5 kW
- Generator reting = 320x2 =640 kW

Pengamatan disaat padamnya aliran listrik selam 4 jam atau 240 menit dimana beban yang dikeluarkan oleh generator dalah :

1. Kondisi paralel Genset selam 20 menit.
 Generator 1 60kVA = 0 kW
 Generator 2 400kVA = 172 kW = 215 kVA
 Generator 3 400kVA = 172 kW = 215 kVA
2. Kondisi paralel genset selama 45 menit.
 Generator 1 60kVA = 0 kW
 Generator 2 400kVA = 208 kW = 260 kVA
 Generator 3 400kVA = 208 kW = 260 kVA
3. Kondisi paralel genset selama 175 menit
 Generator 1 60kVA = 0 kW
 Generator 2 400kVA = 284 kW = 355 kVA
 Generator 3 400kVA = 284 kW = 355 kVA

Besarnya daya yang di keluarkan sebanding dengan laju bahan bakar yang digunakan. Berikut table laju konsumsi bahan bakar sesuai spesifikasi mesin yang digunakan:

Tabel 2 Konsumsi bahan bakar mesin 60 kVA

Engine Speed	Fuel Consumption			
	1500 rev/min		1800 rev/min	
	g/kWh	l/hr	g/kWh	l/hr
At standby power	TBA	15,6	TBA	17,9
At prime power	TBA	14,1	TBA	15,7
At 75% of prime power	TBA	10,5	TBA	12,3
At 50% of prime power	TBA	7,3	TBA	8,7

Table 3 Konsumsi bahan bakar mesin 400 kVA

Engine Speed	Fuel Consumption (based on net power)			
	1500 rev/min		1800 rev/min	
	g/kWh	l/hr	g/kWh	l/hr
Standby power	202	94	200	90
110% prime power	205	93	203	92
100% prime power	206	85	204	84
75% prime power	210	65	209	65
50% prime power	218	46	220	46

4. ANALISIS DATA

Daya output generator

Kondisi pada jam 07:00 s/d 24:00 daya output generator 400kVA bekerja 2 unit adalah :

$$P_{Out} = S \times \text{Cos } \varphi$$

$$P_{Out} = 400 \text{ kVA} \times 0,8 = 320 \text{ kW}$$

Kondisi 2 unit paralel adalah :
 $P_{Out} = 320 \text{ kW} \times 2 = 640 \text{ kW}$

Kondisi jam 24:00 s/d 07:00 genertor 60 kVA bekerja dengan daya sebesar :

$$P_{Out} = S \times \text{Cos } \varphi$$

$$P_{Out} = 60 \text{ kVA} \times 0,8 = 48 \text{ kW}$$

Kapasitas Beban

Dari data didapat kondisi generator 400kVA bekerja saat sumber PLN padam selama 4 jam diadapat suatu data sebagai berikut :

Tabel 4 Pemakaian daya saat PLN Padam

No	Generator	DAYA		t menit
		kW	kVA	
1	Genset 1 (60 KVA)	0	0	20
	Genset 2 (400 kVA)	172	215	
	Genset 3 (400kVA)	172	215	
2	Genset 1 (60 KVA)	0	0	45
	Genset 2 (400 kVA)	208	260	
	Genset 3 (400kVA)	208	260	
3	Genset 1 (60 KVA)	0	0	175
	Genset 2 (400 kVA)	284	355	
	Genset 3 (400kVA)	284	355	

Table 4 menunjukan perubahan daya yang dihasilkan beban dalam waktu tertentu

1. Saat 20 menit total daya terserap oleh beban sebesar 344 kW atau 430 kVA
2. Kondisi 45 menit daya bertambah sebesar 416 kW atau 320 kVA
3. Kondisi 175 menit daya bertambah mencapai 586 kW atau 568 kW atau 710 Kva

Efesiensi generator

Efesiensi yang di hasilkan dengan daya 344 kW selama 20 menit adalah :

$$\% \eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} = \frac{344 \text{ kW}}{640 \text{ kW}} \times 100\% = 53,75\%$$

dalam kondisi sharing :

$$P_{Output} = \frac{P_{output}}{2} = \frac{344 \text{ kW}}{2} = 172 \text{ kW}$$

$$\% \eta = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} = \frac{172 \text{ kW}}{320 \text{ kW}} \times 100\% = 53,75\%$$

Sehingga efesiesnsi total daya maupun setiap generator sebesar 53,75% atau 0,5375.

Efesiesnsi yang di hasilkan dengan daya 416 kW Selama 45 menit adalah

$$\% \eta = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} = \frac{416 \text{ kW}}{640 \text{ kW}} \times 100\% = 65\%$$

dalam kondisi sharing :

$$P_{\text{Output}} = \frac{P_{\text{output}}}{2} = \frac{416 \text{ kW}}{2} = 208 \text{ kW}$$

$$\% \eta = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} = \frac{208 \text{ kW}}{320 \text{ kW}} \times 100\% = 65\%$$

Sehingga efesiesnsi total daya maupun setiap generator sebesar 65% atau 0,65

Efesiesnsi yang dihasilkan dengan daya 586 kW selama 175 menit sebesar

$$\% \eta = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} = \frac{568 \text{ kW}}{640 \text{ kW}} \times 100\% = 89\%$$

dalam kondisi sharing :

$$P_{\text{Output}} = \frac{P_{\text{output}}}{2} = \frac{568 \text{ kW}}{2} = 284 \text{ kW}$$

$$\% \eta = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} = \frac{284 \text{ kW}}{320 \text{ kW}} \times 100\% = 89\%$$

ehingga efesiesnsi total daya maupun setiap generator sebesar 89% atau 0,89

Dari peritugan di peroleh suatu data dalam tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 5 Efesiesnsi generator

No	Generator	Total	Efesiesnsi
		kW	η
1	Genset 2 (400 kVA)	344	54%
	Genset 3 (400kVA)		
2	Genset 2 (400 kVA)	416	65%
	Genset 3 (400kVA)		
3	Genset 2 (400 kVA)	568	89%
	Genset 3 (400kVA)		

Printah start engine ke dua

Generator akan memerintahkan CB menutup atau membuka saat kondisi beban berada pada set poin.

Generator minimum load = 15kW
 Reated power generator =320 kW=A
 Number of closed CB = 1=B
 Reserve power isolated power = 96 kW=C
 Hysteresis add-on/off = 5 kW = H
 Generator reting = 320x2 =640 kW
 Dengan persamaan (9) didapat level generator star :

$$D = \frac{(A \cdot B) - C}{B} = \frac{(320 \cdot 1) - 96}{1} = \frac{224}{1} = 224 \text{ kW}$$

jika setelah generator mencapai beban 224 kW maka generator yang lain akan kondisi starting dan melakukan proses paralel generator

Perintah stop engine

Power level stop = [(n - 1). A] - C - G
 Power level stop = [(2 - 1). 320] - 96 - 5
 Power level stop = 219 kW

$$\text{level stop} = \frac{\text{power level}}{\text{jumlah paralel generator}}$$

$$\text{level stop} = \frac{219}{2} = 109,5 \text{ kW}$$

Kondis masing masing generator mendapatkan beban sebesar 109,5 kW maka perintah mematikan salah satu genset.

Perhitungan pemakaian bahan bakar

Perhitungan menggunakan table 3

1. Beban ke dua genset posisis paralel 344kW

$$S = \frac{P}{\text{Cos } \varphi} = \frac{344 \text{ kW}}{0,8} = 430 \text{ kVA}$$

Karena kondisi paralel maka daya setiap genset menyuplai :

$$S = \frac{430 \text{ kVA}}{2} = 215 \text{ kVA}$$

Sehingga konsumsi bahan bakar didapat :

$$Q = \frac{215}{300} \times 75 = 53,75 \text{ liter/jam}$$

Untuk pemakaian secara paralel sehingga dua unit genset :

$$Q = 2 \times 53,75 = 107,5 \text{ liter/jam}$$

Digunakan selama 20 menit adalah

$$Q = \frac{20}{60} \times 107,5 = 35,83 \text{ liter/jam}$$

Menggunakan dua generator :

$$Q = 2 \times 17,91 = 35,82 \text{ liter/jam}$$

2. Beban ke dua genset posisis paralel 416kW

$$S = \frac{P}{\text{Cos } \varphi} = \frac{416 \text{ kW}}{0,8} = 520 \text{ kVA}$$

Karena kondisi paralel maka daya setiap genset menyuplai :

$$S = \frac{520 \text{ kVA}}{2} = 260 \text{ kVA}$$

Sehingga konsumsi bahan bakar didapat :

$$Q = \frac{260}{300} \times 75 = 64,99 \text{ liter/jam}$$

Untuk pemakaian secara paralel sehingga dua unit genset :

$$Q = 2 \times 64,99 = 129,98 \text{ liter/jam}$$

Digunakan selama 45 menit adalah

$$Q = \frac{45}{60} \times 129,98 = 97,48 \text{ liter/jam}$$

Menggunakan dua generator :

$$Q = 2 \times 48,74 = 97,48 \text{ liter/jam}$$

3. Beban ke dua genset posisis paralel 568kW

$$S = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{568 \text{ kW}}{0,8} = 710 \text{ kVA}$$

Karena kondisi paralel maka daya setiap genset menyuplai :

$$S = \frac{710 \text{ kVA}}{2} = 355 \text{ kVA}$$

Sehingga konsumsi bahan bakar didapat :

$$Q = \frac{355 \text{ kVA}}{400} \times 85 = 75,43 \text{ liter/jam}$$

Untuk pemakaian secara paralel sehingga dua unit genset :

$$Q = 2 \times 75,43 = 150,86 \text{ liter/jam}$$

Digunakan selama 175 menit adalah

$$Q = \frac{175}{60} \times 150,86 = 440 \text{ liter/jam}$$

Menggunakan dua generator :

$$Q = 2 \times 220 = 440 \text{ liter/jam}$$

Dari perhitungan diatas dapat di liat dalam table berikut :

Tabel 6 hasil perhitungan sesuai table 3

No	Generator	DAYA		t menit	Q ₁ liter/jam
		kW	kVA		
1	G 1 (60 KVA)	0	0	20	0
	G 2 (400 kVA)	172	215		17,91
	G 3 (400kVA)	172	215		17,91
2	G 1 (60 KVA)	0	0	45	0
	G 2 (400 kVA)	208	260		150
	G 3 (400kVA)	208	260		150
3	G 1 (60 KVA)	0	0	175	0
	G 2 (400 kVA)	284	355		220
	G 3 (400kVA)	284	355		220
TOTAL PEMAKAIAN BAHAN BAKAR				240	775,82

Perhitungan menggunakan table 4

- Kondisi paralel Genset selama 20 menit.
Generator 2 400kVA = 172 kW = 215 kVA
 $Q = k . P . t$
 $Q = 0,21 . 215 . 20/60$
 $Q = 15,05 \text{ tliter/jam}$

- Untuk 2 genset $15,05 \times 2 = 30,10 \text{ liter/jam}$
Kondisi paralel genset selama 45 menit.
Generator 2 400kVA = 208 kW = 260 kVA
 $Q = k . P . t$
 $Q = 0,21 . 260 . 45/60$
 $Q = 40,95 \text{ liter/jam}$

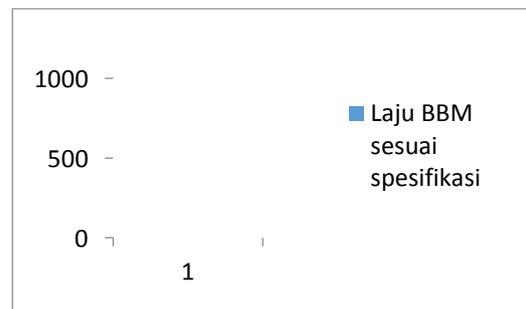
- Untuk 2 genset $40,95 \times 2 = 81,90 \text{ liter/jam}$
Kondisi paralel genset selama 175 menit
Generator 2 400kVA = 284 kW = 355 kVA
 $Q = k . P . t$
 $Q = 0,21 . 355 . 175/60$
 $Q = 217,4375 \text{ liter/jam}$

Untuk 2 genset $217,4375 \times 2 = 434,875 \text{ liter/jam}$
perhitungan diatas dapat di lihat sebagai berikut :

Tabel 6 hasil perhitungan sesuai table 4

No	Generator	DAYA		t menit	Q ₂ liter/jam
		kW	kVA		
1	G 1 (60 KVA)	0	0	20	0
	G 2 (400 kVA)	172	215		15,05
	G 3 (400kVA)	172	215		15,05
2	G 1 (60 KVA)	0	0	45	0
	G 2 (400 kVA)	208	260		40,95
	G 3 (400kVA)	208	260		40,95
3	G 1 (60 KVA)	0	0	175	0
	G 2 (400 kVA)	284	355		217,4375
	G 3 (400kVA)	284	355		217,4375
TOTAL PEMAKAIAN BAHAN BAKAR				240	546,875

Perbedaan perhitungan antara table 3 dan 4 dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 14 Pemakaian bahan bakar selama 4 jam

Perbedaan tersebut bila menggunakan bahan bakar non subsidi dipatok Rp. 10.000,00 maka laju bahan bakar selama 4 jam menghabiskan dana :

- Nilai rupiah laju bahan bakar menggunakan tabel 3 sesuai perhitungan didapat :
 $Rp = Rp 10.000,00 \times 775,82$

- Rp = 7.758.200,00
2. Nilai rupiah laju bahan bakar menggunakan perhitungan didapat :
- Rp = Rp 10.000,00 x 546,875
- Rp = Rp 5.468.750,00

Penghematan yang didapat sebesar :

Rp = Rp 7.758.200,00 – Rp. 5.468.750,00

Rp = Rp 2.289.450,00

Perhitungan diatas menunjukkan bahwa selama terjadinya pemadaman listrik dalam jangka waktu 4 dapat menghemat biaya sebesar Rp. 2.289.450,00. Perhitungan diatas jika di buatkan sutau gambar grafik dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 15 Perbandingan Prsentasi BBM

5 KESIMPULAN

1. Efesiensi generator baik apabila generator di benai sampai dengan beban maksimum generator yang diberikan.
2. Dengan adanya load sharing pada pengontrolan generator di paralel menghasilkan efesiensi yang nilainya sama dengan efesiensi setiap generator, dimana pada beban mencapai 53% dari total daya 640kW atau 800 kVA generator menghasilkan efesiensi 53,73% sama halnya dengan efesiensi setiap generator.
3. Adanya power magement pada modul GCP 30 dapat memberikan sistem paralel generator yang baik dimana dapat dilakukan secara otomatis dengan pembagian beban secara proposional dan pengaturan bahan bakar stabil dan dapat mengurangi pemakaian bahan bakar sebesar 15% dari data konsumsi bahan bakar pada table 3.10
4. Laju bahan bakar yang dikonsumsi mesin disel sangat dipengaruhi oleh daya yang diserap terhadap lamanya waktu saat beroperasi baik posisi paralel maupun tidak.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Boldea Ion,"Synchrononus Generators, The Electric Generator handbook", United state of America,2006.
2. Thumann Albert, Franze Harry ,"Efficient Electrical system Design Handbook", The Fairmont Press, United state of America, 2009.
3. Wang Xi-FAN, Song Yonghua, Irving Malcolm, "Moderen Power Systems Analysis," Springer, 2008.
4. Chomat Miroslav, "Electric Machines And Drives," intech,2011.
5. [Woodward, "Governing Fundamental and Power Management," 2004
6. Woodward, "Application GCP-30 Series Genset Control,"
7. Stamford, "HC AC Generator Instalation, servicing, and Maintenance,".
8. Stamford, "UC AC Generator Instalation, servicing, and Maintenance,".
9. Abdul Kadir, "Distribusi dan utilisasi tenaga listrik",Penerbit Universitas Indonesia, 2006
- 10.Harris Sitorus (2000). Studi tentang pembagian beban pada generator set (2x1.25 MVA) di Tunjungan Plaza II. Diakses tanggal 19 Januari 2012 dari petra.ac.id
- 11.http://dewey.petra.ac.id/jiunkpe_dg_233.html