

# ANALISIS SISTEM PEMBAGIAN BEBAN ANTAR GENERATOR

**Ramayulis Nasution, Armansyah, Yusmartato**

Dosen Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UISU-Medan

[ramayulis@ft.uisu.ac.id](mailto:ramayulis@ft.uisu.ac.id); [armansyah@ft.uisu.ac.id](mailto:armansyah@ft.uisu.ac.id); [yusmartato@ft.uisu.ac.id](mailto:yusmartato@ft.uisu.ac.id)

## Abstrak

Untuk mencapai suatu operasi yang optimum dan dapat melayani beban yang berkembang, adakalanya diharuskan memparalelkan satu atau lebih generator dengan maksud memperbesar kapasitas daya yang dibangkitkan, disamping untuk menjaga kontinuitas pelayanan daya terhadap beban. Dengan memparalel generator ini diharapkan beban yang dipikul masing-masing generator seimbang, sehingga generator-generator tersebut tetap beroperasi pada keadaan sinkron. Oleh karena itu kemampuan mesin-mesin untuk menaikkan output secara cepat dari beban nol hingga beban penuh merupakan hal yang sangat penting. Jika keluaran lebih tinggi dari permintaan beban maka kecepatan mesin-mesin pembangkit akan cenderung bertambah dan frekuensi akan naik, demikian juga sebaliknya. Hal ini disebabkan karena permintaan energi listrik dipenuhi dari energi kinetik mesin-mesin. Untuk mencapai operasi yang optimum dan dapat melayani beban yang berkembang, ada kalanya diharuskan memparalelkan dua atau lebih generator dengan maksud memperbesar kapasitas daya yang dibangkitkan disamping untuk menjaga kontinuitas pelayanan daya apabila ada generator yang harus dihentikan, misalnya pada saat perawatan atau perbaikan. Perubahan besar beban yang dipikul oleh masing-masing generator akan diikuti juga oleh perubahan frekuensi dari kedua generator (frekuensi bersama).

**Kata-Kata Kunci :** Generator, Operasi, Daya, Beban, Frekuensi

## I. Pendahuluan

Sejalan dengan kebutuhan akan energi listrik baik kapasitas kecil maupun besar dengan kemajuan teknologi dewasa ini secara realistis peranan listrik dalam suatu industri semakin meningkat sebagai suatu bentuk energi, lebih jauh lagi pembangkitan listrik akan didasarkan pada pemanfaatan secara efektif bentuk-bentuk energi yang tersedia, dikembangkan dan dimanfaatkan tepat pada waktunya untuk menghasilkan suplai-suplai daya.

Suplai listrik pada suatu areal industri dilandaskan pada kemampuann mengontrol beban setiap saat agar output generator sesuai dengan tegangan dan frekuensi yang ditetapkan, disamping penyediaan daya yang optimum.

Kemampuan pembangkit mengontrol beban pada saluran merupakan salah satu faktor untuk mendapatkan tegangan dan frekuensi yang tepat. Aplikasi berbagai rele dan peralatan lainnya untuk menghasilkan sistem proteksi yang memadai merupakan prioritas dari keandalan suatu sistem pembangkit.

Selanjutnya perawatan (*maintenance*) yang baik serta pengetahuan mengenai prosedur-prosedur dalam memparalelkan generator, serta perkiraan kemampuan masing-masing generator dalam memikul beban diharapkan menjadikan suatu sistem penyediaan energi listrik dapat dikatakan memadai.

Dalam suatu sistem tenaga listrik, adakalanya generator yang digunakan untuk mensuplai energi listrik ke beban tidak mencukupi (tidak dapat memenuhi) energi listrik yang dibutuhkan beban, dikarenakan beban yang besar. Hal ini dapat diatasi dengan memparalelkan generator.

Paralelisasi generator dimaksudkan untuk memperbesar daya masukan (*input*) dari generator-generator tersebut sehingga diharapkan pada akhirnya dapat mencukupi kebutuhan beban.

## II. Tinjauan Pustaka

Pada taraf tertentu pengendalian daya aktif dan frekuensi pada suatu kesatuan pembangkit (generator) mempunyai hubungan dengan pengendalian daya reaktif dan tegangan. Oleh karena itu kemampuan mesin-mesin untuk menaikkan keluaran (*output*) secara cepat dari beban nol hingga beban penuh merupakan hal yang sangat penting . Jika keluaran (*output*) lebih tinggi dari permintaan beban maka kecepatan mesin-mesin pembangkit akan cenderung bertambah dan frekuensi akan naik, demikian juga sebaliknya. Hal ini disebabkan karena permintaan atas energi listrik dipenuhi dari energi kinetik mesin-mesin.

Untuk mencapai operasi yang optimum dan dapat melayani beban yang berkembang, ada kalanya diharuskan memparalelkan dua atau lebih generator dengan maksud memperbesar kapasitas daya yang dibangkitkan disamping untuk menjaga kontinuitas pelayanan daya apabila ada generator yang harus dihentikan, misalnya pada saat perawatan atau perbaikan.

Pada dasarnya mesin sinkron mempunyai karakteristik utama yakni :

1. Mampu beroperasi pada kecepatan dan frekuensi yang konstan.
2. Kemampuan keduanya untuk beroperasi pada faktor daya (pf) mendahului (*leading*) atau tertinggal (*lagging*)

Generator dijalankan paralel dengan generator sinkron yang lain mampu memproduksi daya pada batas-batas yang diinginkan dan sesuai dengan permintaan daya.

Ada beberapa keuntungan generator dihubungkan paralel yaitu :

1. Kapasitas daya yang besar  
Untuk mendapatkan kapasitas terpasang dalam suatu unit pembangkit, beberapa unit generator diparalel, operasi dari generator-generator diatur menurut waktu dan disesuaikan di atas permintaan energi listrik. Dengan cara ini memungkinkan generator dioperasikan mendekati kapasitas beban penuh agar mesin mempunyai efisiensi maksimum. Oleh karena itu biaya operasi dapat diturunkan.
2. Perawatan  
Untuk perawatan rutin pada stasiun pembangkit suatu unit harus dimatikan, untuk suatu periode tertentu. Dengan cara memparalelkan generator maka dapat diharapkan agar biaya setiap per-unit pembangkit lebih kecil dari pada kapasitas beberapa unit.
3. Pengadaan dan penghematan  
Beberapa stasiun pembangkit yang dihubungkan pada suatu jaringan adalah menguntungkan dan ekonomis. Dengan demikian beban puncak pada suatu stasiun pembangkit dapat dikurangi serta dihentikan pada saat permintaan daya rendah.
4. Kontinuitas pelayanan daya  
Beberapa pembangkit yang dihubungkan paralel berbeda dengan menghubungkan beberapa stasiun pembangkit dan ini memungkinkan tetap terjaminnya kontinuitas pelayanan daya kepada konsumen. Dalam hal gangguan pada salah satu unit pembangkit untuk perbaikan mesin dapat dihentikan dan suplai daya masih dapat terjamin kepada konsumen tanpa turunnya tegangan saluran.

### 2.1. Kerja Paralel Antar Generator

Pasokan listrik ke beban dimulai dengan menghidupkan satu generator, kemudian secara sedikit demi sedikit beban dimasukkan sampai dengan kemampuan generator tersebut selanjutnya menghidupkan lagi generator berikutnya dan memparalelkan dengan generator pertama untuk memikul beban yang lebih besar lagi. Saat generator kedua diparalelkan dengan generator pertama yang sudah memikul beban diharapkan terjadinya pembagian beban yang semula ditanggung generator pertama sehingga terjadi kerjasama yang meringankan sebelum beban-beban berikutnya dimasukkan, biasanya beban terbagi sebanding dengan nilainya. Jadi semakin besar mesin maka semakin besar bagian beban yang ditanggungnya.

Pembagian beban yang layak antara generator dapat dilakukan dengan menyetel uap masuk kepada penggerak mula pada generator (dalam hal pembangkit listrik tenaga uap). Salah satu pengatur

penggerak mula dibuka seraya yang lain ditutup sedikit. Dengan cara ini frekuensi sistem dipertahankan konstan seraya beban digeser dari suatu mesin ke mesin yang lainnya. Penyetelan uap masuk ini diatur oleh peralatan atau katup yang digerakkan oleh governor yang menerima sinyal dari perubahan frekuensi listrik yang stabil pada 50 Hz, yang ekuivalen dengan perubahan putaran (rpm) mesin penggerak utama generator listrik. Bila beban listrik naik maka frekuensi akan turun sehingga governor harus memperbesar masukan uap kemesin penggerak utama untuk menaikkan frekuensinya sampai dengan frekuensi listrik kembali kenormalnya. Sebaliknya bila beban turun maka frekuensi akan naik sehingga governor tiap mesin-mesin pembangkit harus mengurangi masukan uap penggerak utamanya sehingga putarannya turun sampai putaran normalnya atau frekuensinya kembali normal 50 Hz. Bila tidak ada governor maka mesin-mesin penggerak utama generator akan mengalami *overspeed* bila beban turun mendadak atau mengalami *overload* bila beban listrik naik.

Faktor daya setiap sistem distribusi AC tergantung pada beban. Maka generator yang bekerja sendiri harus bekerja pada faktor daya dari beban yang dicatunya. Tetapi jika dua atau lebih generator bekerja paralel, faktor daya masing-masing ditentukan oleh medan eksitasinya. Secara umum besarnya medan eksitasi yang layak untuk generator yang bekerja paralel adalah besarnya pembangkitan masing-masing generator yang akan diperlukan jika generator tersebut mengaliri beban itu sendiri pada tegangan dan frekuensi yang sama.

Jika eksitasi dan generator yang bekerja paralel dengan generator yang lain dinaikkan melampaui harga normal eksitasinya, faktor dayanya berubah menuju tertinggal (*lagging*) dan keluaran arusnya bertambah tanpa perubahan yang berarti pada kilowatt. Sama halnya generator kurang dieksitasi faktor dayanya menjadi lebih mendahului (*leading*) dan keluaran arusnya bertambah tanpa mengubah keluaran kilowatnya. Arus bertambah dalam kedua hal tersebut tidak dicatukan kebeban tetapi bersirkulasi diantara generator yang terhubung kesistem sehingga menambah kerugian dan menurunkan kapasitas kemampuan. Oleh sebab itu diinginkan pengoperasian generator pada faktor daya yang sama, agar arus sirkulasinya minimum. Jadi perubahan eksitasi medan menyebabkan perubahan beban amper tetapi bukan beban kilowatt. Pembagian beban kilowatt antara generator sinkron harus dilakukan dengan menyetel kembali pengaturan penggerak mula. Tegangan sistem yang dicatu oleh beberapa generator yang diparalelkan dapat dinaikkan atau diturunkan dengan menambah atau mengurangi eksitasi medan semua generator demikian pula dengan frekuensi sistem dapat dinaikkan atau diturunkan dengan menambah atau mengurangi kecepatan penggerak mula.

**2.2. Sinkronisasi Antar Generator**

Kerja dari sebuah generator yang dihubungkan paralel dengan generator yang lain atau menggabungkannya pada suatu busbar bersama, dikenal dengan mensinkronkan generator. Untuk mencapai sinkronisasi yang tepat dari generator-generator paralel, beberapa kondisi berikut harus dipenuhi meliputi :

1. Urutan fasa tiap generator harus sama dengan fasa tiap-tiap busbar
2. Tegangan terminal generator harus sama dengan tegangan terminal pada busbar dan sefasa.
3. Frekuensi generator-generator harus sama dengan frekuensi busbar (sistem)

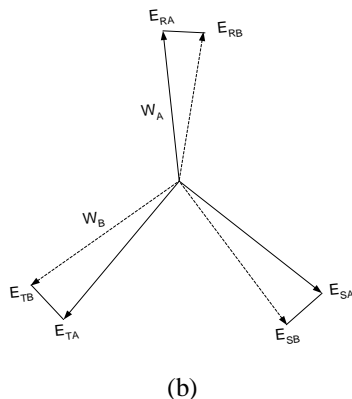
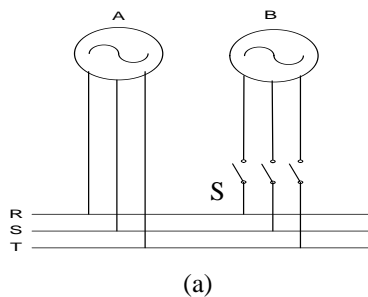
Pada Gambar 1 (a), menunjukkan hubungan diagram dari dua generator yang bekerja paralel pada suatu busbar bersama. Gambar 1 (b), memperlihatkan diagram fasor dengan tegangan generator.

$$E_{RA} = E_{RB}, E_{SA} = E_{SB}, E_{TA} = E_{TB}$$

Di mana:

$E_{RA} = E_{SA} = E_{TA} =$  Adalah tegangan line antara fasa R S T pada generator A

$E_{RB} = E_{SB} = E_{TB} =$  Adalah tegangan line antara fasa R S T pada generator B



**Gambar 1. (a) Generator A dan B yang Diparalelkan (b) Diagram Fasor Tegangan antara Generator A dan B**

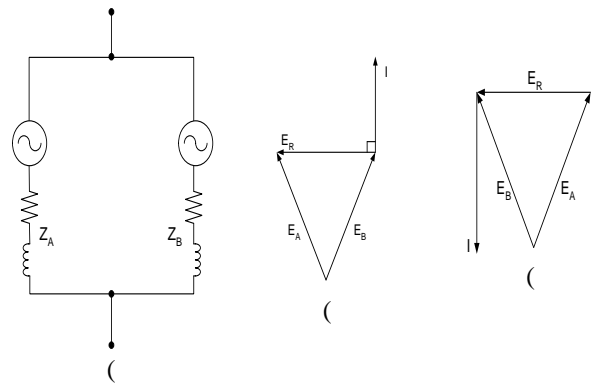
Jika tegangan fasor generator A dianggap *stationer*, maka generator B berputar pada kecepatan

relatif ( $\omega_A - \omega_B$ ) dan dengan adanya tegangan resultan sepanjang :

$$E_{RA} - E_{RB}, E_{YA} - E_{YB}, E_{BA} - E_{BB}$$

Sehingga tegangan tersebut mendekati nol selama putaran relatif. Jika saklar S ditutup (Gambar 1. (a)) pada tegangan mesin nol, maka kedua generator ini telah terparalel dengan generator yang lain (sinkron) tanpa adanya aliran arus besar karena tegangan resultan pada jangkar (*armature*) generator. Pada saat kedua mesin mencapai sinkron, maka kedua mesin tersebut telah mempunyai tegangan terminal dan kecepatan yang sama. Setiap kecenderungan salah satu mesin untuk berputar lebih cepat segera terjadi suatu momen puntir perlawanan atau momen puntir sinkronisasi karena sirkulasi arus.

Dalam Gambar 2. (a) memperlihatkan sirkuit-sirkuit ekivalen dari dua generator yang dioperasikan paralel dengan tegangan  $E_A = E_B$  dan tanpa beban luar.



**Gambar 2. (a) Dua Generator Diparalel, (b) Mesin A Mendahului Mesin B, (c) Mesin B Mendahului Mesin A**

Jika generator A mencoba untuk meraih kecepatan terhadap generator B, maka diagram fasor dalam Gambar 2. (b), didapat :

$$I = \frac{E_R}{Z_A + Z_B} \quad (\text{Ampere})$$

Arus I yang bersirkulasi ketinggalan (*lagging*) dari tegangan  $E_R$  dengan sudut :

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_A}{R_A}$$

Dan seperti kebanyakan mesin  $X \gg R$ , sudut ini mendekati  $90^\circ$ . Arus ini merupakan arus yang dibangkitkan oleh generator A, karena mesin A merupakan pembangkit daya yang cenderung memperlambatnya serta mesin B menerima daya dari mesin A sehingga putarannya menjadi cepat. Dengan demikian mesin A dan mesin B tetap pada kecepatan yang sama (keadaan sinkron).

Dalam Gambar 2. (c) menunjukkan keadaan ketika mesin B mencoba meraih kecepatan atas mesin A, sehingga kualitas suatu mesin untuk kembali kekeadaan operasi semula setelah gangguan yang bersifat sementara ditentukan berdasarkan daya atau momen sinkronisasi. Hal yang terpenting dari sinkronisasi generator yaitu apabila impedansi mesin-mesin sebagian besar induktif maka daya untuk momen puntir untuk mengembalikan keadaan semula akan lebih mudah, dan jika sebagian besar impedansi resistif maka akan sulit mempertahankan mesin pada keadaan sinkron.

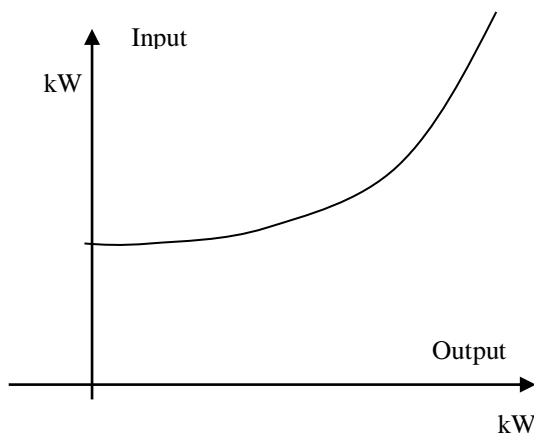
**2.3 Sistem Pembagian Beban Antar Generator**

Pada umumnya generator memproduksi daya tidak tergantung pada yang terpasang tetapi tergantung pada beban yang terpakai yang dihubungkan paralel (dua atau lebih). Pengaturan beban dilakukan dengan sistem manual atau oleh operator. Berbagai metode diterapkan untuk dapat mengatur beban generator agar tetap seimbang, metode-metode tersebut seperti pengelompokan beberapa unit pembangkit yang dibagi dalam dua unit atau dengan mengatur pembebanan pada generator paralel.

Semua metode-metode yang diterapkan pada sistem pembangkit yaitu untuk mendapatkan operasi yang ekonomis dimana beban yang terpakai sama dengan beban yang diproduksi oleh generator. Dengan demikian pemakaian masukan uap ke penggerak mula sesuai dengan daya yang terpakai dan frekuensi serta tegangan konstan.

**2.4 Pembebanan Pada Generator Paralel**

4. Suatu generator dapat dikatakan terbebani ekonomis apabila output listrik generator maksimum dari input minimum penggerak mula (*prime mover*). Perbandingan antara input dan output merupakan operasi yang ekonomis pada generator sehingga mencapai yang maksimum. Dalam Gambar 3, terlihat hubungan antara input-output dari masing-masing generator yang dijalankan paralel.



**Gambar 3. Grafik Hubungan antara Daya Input dan**

**2.5 Daya Output pada Suatu Mesin**

Untuk pembebanan yang ekonomis pada generator yang dijalankan paralel, beban total pada sistem adalah Q watt dan beban yang seimbang pada dua generator  $Q_a$  dan  $Q_b$  watt, maka :

$$Q = Q_a + Q_b$$

Selanjutnya dengan menganggap input masing-masing generator  $P_a$  dan  $P_b$ , sehingga total input prime mover menjadi :

$$P = P_a + P_b$$

Di mana  $P_a$  dan  $P_b$  menyatakan input masing-masing prime mover. Dengan menganggap koefisien  $Q_a$  sama dengan nol sehingga:

$$\frac{dP}{dQ_a} = \frac{dP_a}{dQ_a} + \frac{dP_b}{dQ_a} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_a}{dQ_a} &= - \frac{dP_b}{dQ_a} \\ &= - \frac{dP_b}{dQ_b} \times \frac{dQ_b}{dQ_a} \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas menjadi :

$$Q_b = Q - Q_a$$

Dengan membandingkan persamaan di atas dengan  $Q_a$  :

$$\frac{dQ_b}{dQ_a} = 0 - 1 = -1$$

Substitusi persamaan didapat :

$$\frac{dP_a}{dQ_a} = \frac{dP_b}{dQ_b}$$

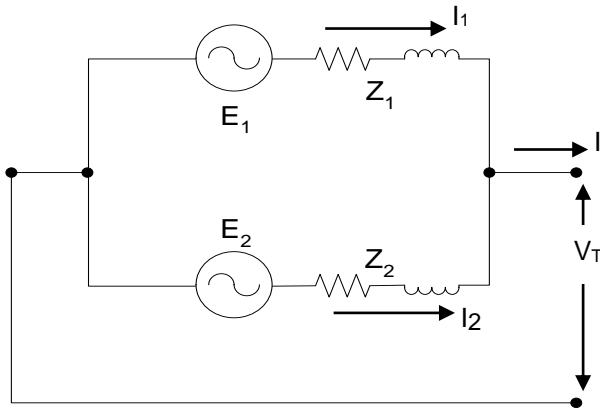
Di mana:

- P = Daya aktif total dari kedua generator (KW)
- Q = Daya reaktif total dari kedua generator (KVAR)
- $P_a$  = Daya aktif total dari generator A (KW)
- $P_b$  = Daya aktif total dari generator B (KW)
- $Q_a$  = Daya reaktif total dari generator A (KVAR)
- $Q_b$  = Daya reaktif total dari generator B (KVAR)

Dengan demikian bahwa pada kondisi total, input dua generator minimum akan tetap sama pada batas-batas kenaikan beban dari dua generator.

**2.6 Pembagian Beban Antar Generator**

Dalam Gambar 3. menunjukkan gambar dua buah mesin yang dijalankan paralel dan mempunyai kecepatan yang sama.



**Gambar 4. Rangkaian Paralel dari Dua Generator yang Dihubungkan Paralel**

Misalkan  $V_1$  dan  $V_2$  adalah tegangan terminal masing-masing generator yang sama besarnya, jadi dapat dituliskan sebagai:

$$V_1 = V_2 = V$$

Dengan tegangan terminal total ( $V_T$ ) dan impedansi total generator ( $Z_T$ ), maka arus  $I$  (ampere) yang dihasilkan generator-generator tersebut adalah :

$$I = I_1 + I_2$$

Atau:

$$I = \frac{V_T}{Z_T}$$

Karena:

$$V_T = \left[ \frac{E_1 - V}{Z_1} + \frac{E_2 - V}{Z_2} \right] Z_T$$

Maka:

$$V_T = \left[ \frac{E_1}{Z_1} + \frac{E_2}{Z_2} \right] Z_T - V \left[ \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right] Z_T$$

Didapat:

$$\frac{E_1}{Z_1} = I_{SC1}$$

Dan:

$$\frac{E_2}{Z_2} = I_{SC2}$$

Bila diketahui :

$$\frac{1}{Z_T} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}$$

Sehingga:

$$\frac{E}{Z_0} = I_{SC}$$

Di mana:

$$V = Z_0 \times I_{SC}$$

Maka:

$$I_1 = \frac{E_1 - V}{Z_1}$$

Dan:

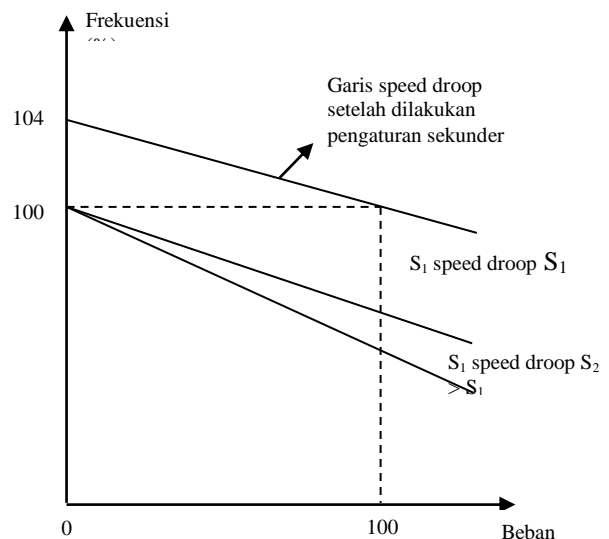
$$I_2 = \frac{E_2 - V}{Z_2}$$

**2.7 Pengaruh Speed Droop Terhadap Pembagian Beban**

Pengaturan penyediaan daya aktif dilakukan dengan pengaturan besarnya kopel mekanis yang diperlukan untuk memutar generator dengan pengaturan pemberian uap masuk pada turbin uap yang dilakukan oleh governor unit pembangkit, dalam hal pembangkit listrik tenaga uap.

Sifat governor yang dapat stabil tetapi tidak dapat mengembalikan nilai frekuensi ke nilai frekuensi semula disebut bahwa governor mempunyai speed droop. Speed droop merupakan salah satu karakteristik governor yang perlu diperhatikan dalam hal pengaturan frekuensi sistem. Gambar 5. menggambarkan karakteristik speed droop dari governor.

Apabila pada beban 100 % (penuh) dikehendaki frekuensi 100 % dan untuk itu frekuensi pada beban nol harus 104 % maka dikatakan governor mempunyai speed droop sebesar 4%. Speed droop sesungguhnya merupakan hasil umpan balik dari gerakan penambahan uap yaitu dengan Bergeraknya titik C dan D ke atas yang juga menyeret titik B keatas dan akhirnya menutup aliran tekanan minyak yang mengangkat pengisap titik C.



**Gambar 5. Karakteristik Speed Droop dari Governor**

**IV. Analisa**

**4.1 Spesifikasi Unit Pembangkit (Generator) di PT. Telkom Divre – I Medan**

**Generator I**

Merek : Deutz  
 Tipe : TA 4002 V56  
 Daya : 625 KVA  
 Ampere : 925 Amp  
 Tegangan : 400 Volt  
 Putaran : 1500 rpm  
 Cos φ : 0,8 / 50 Hz

**Generator II**

Merek : Deutz  
 Tipe : DKBN 100 M/900  
 Daya : 900 KVA  
 Ampere : 1.299 Amp  
 Tegangan : 400 Volt  
 Putaran : 1.500 rpm  
 Cos φ / Freq : 0,8 / 50 Hz

**4.2 Perhitungan Pembagian Beban Antar Generator**

A. Dua buah Generator Sinkron bekerja paralel dan mensuplai beban total 640 KW. Kapasitas masing-masing Generator, untuk Generator I adalah 625 KVA dan Generator II adalah 900 KVA, dengan faktor daya 0,8 tertinggal. Jika frekuensi dari Generator I turun secara bertahap dari 50 Hz pada kecepatan tanpa beban menjadi 49,5 Hz pada saat berbeban, dan pada Generator II frekuensinya turun dari 50 Hz menjadi 49 Hz. Berapakah besar beban yang dilayani oleh masing-masing Generator.

**Penyelesaian:**

$$P_1 = 625 \text{ KVA} = 625 \times 0,8 = 500 \text{ KW}$$

$$P_2 = 900 \text{ KVA} = 900 \times 0,8 = 720 \text{ KW}$$

Pada Gambar 6 menunjukkan karakteristik frekuensi/beban dari kedua Generator. Garis AB mewakili Generator 1 dan garis AD mewakili Generator 2. Pada saat Generator diparalelkan maka kedua frekuensinya harus sama. Garis MN digambar pada frekuensi  $x$  yang di-ukur pada titik A (Frekuensi awal)

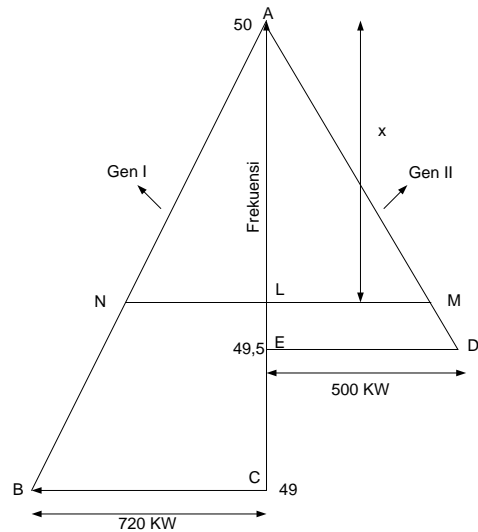
$$\text{Total beban} = NL + LM = 640 \text{ KW}$$

Maka sesuai dengan persamaan, kita peroleh hubungan:

$$\frac{NL}{720} = \frac{x}{1} \rightarrow NL = 720 x$$

Dengan cara yang sama:  $\frac{LM}{500} = \frac{x}{0.5}$

$\rightarrow ML = 1000 x$



**Gambar 6. Karakteristik Pembagian Beban antara Dua Buah Generator yang bekerja Paralel dengan Settingan Frekuensi yang Berbeda**

$$NL + LM = 640 \text{ KW}$$

$$720 x + 1000 x = 640$$

$$1720 x = 640$$

$$\rightarrow x = 0,372$$

Frekuensi dari kedua Generator adalah :

$$50 - 0,372 = 49,63 \text{ Hz}$$

Maka pembagian bebannya adalah:

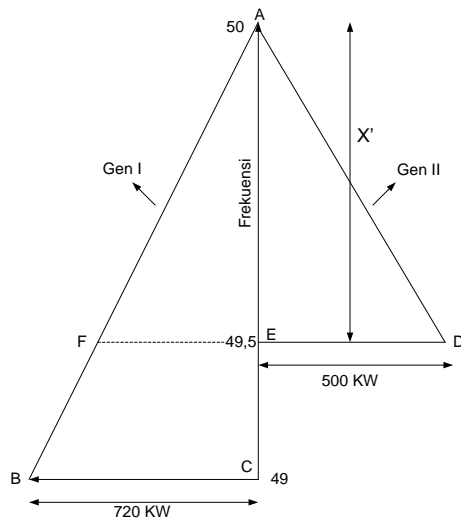
$$NL = 720 \times 0,372 = 267,84 \text{ KW} \rightarrow \text{Generator II}$$

$$LM = 1000 \times 0,372 = 372,00 \text{ KW} \rightarrow \text{Generator I}$$

$$639,84 \text{ KW} \sim 640 \text{ KW}$$

B. Dengan mengambil data-data pada contoh di atas, berapakah beban maksimum yang dapat dilayani tanpa membebani salah satu generator

**Penyelesaian:**



**Gambar 7. Karakteristik Pembagian Beban antara Dua Buah Generator yang bekerja Paralel dengan Penggunaan beban yang Maksimum**

Untuk memperoleh beban maksimum, Garis DE dipanjangkan sehingga memotong AB di F. Jadi beban maksimumnya adalah DF

$$\frac{EF}{720} = \frac{x'}{1}$$

$$EF = \frac{720}{1} \cdot x' \rightarrow \text{Dimana } x' = 50 - 49,5 = 0,5$$

Jadi :  $EF = \frac{720}{1} \cdot 0,5 = 360 \text{ KW}$

Maka beban maksimumnya (DF) = 500 + 360 = 860 KW

**4.3 Analisis Perhitungan Pembagian Beban antar Generator**

Dalam menganalisis sistem pembagian beban antar generator dalam hal ini digunakan contoh perhitungan dengan menggunakan karakteristik frekuensi – beban. Berdasarkan Contoh 1 di atas dapat dilihat pembagian beban oleh masing-masing generator.

Perhitungan pada Contoh 1 ini menggunakan data dari Tabel 4.2 (yaitu pada hari Jum’at, 2 Mei 2008, jam 10:00). Dari data Tabel 4.2, dilihat bahwa pembagian bebannya: Untuk Generator 1 = 280 KW dan untuk Generator 2 = 360 KW, dimana frekuensi generatonya masing-masing adalah 49,5 Hz untuk Generator 1 dan 49 Hz untuk Generator 2 (frekuensi pada saat kedua generator)dalam keadaan berbeban).

Dapat dilihat dari Contoh 1 dengan data yang sama dalam Tabel 4.2, diperoleh bahwa resultan frekuensi dari kedua generator adalah:  $f_r = 50 - X$ , dimana X adalah selisih dari frekuensi awal generator dengan frekuensi pada saat generator

diparalelkan. Dalam hal ini nilai  $X = 0,372$ . Jadi,  $f_r = 50 - 0,372 = 49,63 \text{ Hz}$ .

Selanjutnya, dari hasil perhitungan pada Contoh 1 diperoleh pembagian generatonya, yaitu: 267,84 KW untuk Generator 1, dan 372,00 KW untuk Generator 2. Dalam hal ini terdapat perbedaan hasil perhitungan dengan data berdasarkan hasil riset. Namun yang menjadi acuan disini adalah data yang tertera dalam Tabel 4.2

Selain itu juga mungkin disebabkan adanya perbedaan metode perhitungan yang dilakukan dibandingkan dengan data yang sebenarnya yang menggunakan alat ukur dalam penentuannya. Perhitungan yang dilakukan merupakan pendekatan alternatif dalam menentukan pembagian beban antar Generator.

Sedangkan pada Contoh 2, dapat dilihat besar beban maksimum yang dapat dilayani oleh Generator tanpa membebani salah satu Generator. Pada contoh ini frekuensi sistemnya adalah frekuensi pada garis DF yaitu 49,5 Hz dengan beban maksimumnya adalah 860 KW. Dari keterangan ini, kita dapat menghitung besar beban maksimum yang dipikul masing-masing Generator, yaitu sebagai berikut:

$$NL + ML = 860$$

$$720x + 1000x = 860$$

$$1720x = 860$$

$$x = 0,5$$

→ Dengan  $f_r = 50 - 0,5 = 49,5 \text{ Hz}$

$$NL = 720 \times 0,5 = 360 \text{ KW}$$

$$ML = 1000 \times 0,5 = 500 \text{ KW}$$

Sebenarnya besar beban ini masih dapat dilayani oleh Generator, bahkan lebih besar daripada itu jika kita bandingkan dengan kapasitas Generator. Namun, jika sejumlah besar beban yang dipasang melebihi nilai 860 KW, maka frekuensinya akan lebih kecil dari 49,5 Hz. Dengan kata lain, frekuensi ini merupakan frekuensi kritis dari kedua Generator

Hal ini dapat dibuktikan sebagai berikut:

Misalnya beban yang akan digunakan adalah = 1000 KW, maka:

$$NL + ML = 1000$$

$$720x + 1000x = 1000$$

$$1720x = 1000$$

$$x = 0,581$$

Jadi,  $f_r = 50 - 0,581 = 49,419 \text{ Hz}$

Disini jelas terlihat bahwa frekuensinya yaitu 49,42 dan lebih kecil dari frekuensi kritisnya = 49,5 Hz (untuk beban maksimum 860 KW).

Apabila kita tetap menggunakan beban 1000 KW sesuai dengan Contoh 2 di atas, maka frekuensinya akan turun menjadi 49,42 Hz. Hal ini akan menyebabkan sinkronisasi antara kedua generator terganggu, yang pada akhirnya akan

menyebabkan sistem juga terganggu karena sesuai dengan syarat sinkronisasi, frekuensi kedua generator harus sama.

## V. Kesimpulan Dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Sebagaimana yang telah diuraikan dalam tiap-tiap bab terdahulu, dapat diambil kesimpulan. Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah:

1. Penggunaan generator secara paralel jelas menguntungkan dalam berbagai segi, diantaranya:
  - a. Dengan memparalelkan sejumlah generator, akan dapat menaikkan keandalan dari sistem ketenagalistrikan. Jika gangguan terjadi pada salah satu generator, maka suplai energi listrik ke beban masih dapat dilayani.
  - b. Penggunaan sejumlah generator memungkinkan perawatan berkala pada masing-masing generator.
  - c. Jika hanya satu buah generator saja yang digunakan, dan tidak beroperasi dekat dengan beban penuh, maka generator ini tidak efisien. Dengan kata lain, dengan memparalelkan beberapa generator yang lebih kecil kapasitasnya maka dapat memungkinkan beroperasi sebagian daripadanya. Generator ini beroperasi dekat dengan beban penuh, jadi lebih efisien.
2. Dalam distribusi beban pada generator paralel, jika iniput dari penggerak mula pada generator dijaga agar tetap konstan, tetapi penguatannya berubah, maka output KVA-nya berubah dan buka output KW-nya.
3. Dalam hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa perubahan besar beban yang dipikul oleh masing-masing generator akan diikuti juga oleh perubahan frekuensi dari kedua generator (frekuensi bersama).

### 5.2 Saran

1. Dalam menentukan generator yang akan diparalelkan, hendaknya dihitung terlebih dahulu besar beban yang akan dilayani. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh gambaran nantinya mengenai data-data dan spesifikasi generator yang akan digunakan.
2. Penggunaan alat-alat ukur otomatis, hendaknya lebih ditingkatkan lagi, seperti penggunaan Sinkronoskop yang dapat meningkatkan efektifitas dan ketepatan dalam memparalelkan generator.

### Daftar Pustaka

- [1]. A.E.Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr. Stephen D. Umans Achyanto, Djoko, 1997, *Mesin – Mesin Listrik*, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- [2]. Chapman, Stephen J., 1985, *Electric Machinery Fundamental (International Edition)*, c. Graw Hill Book Company, Singapore.
- [3]. K.L. Narang, 1970, *Solved Problem in Electrical Engineering*, Satya Prakashan, New Delhi.
- [4]. M. Kostenko & L. Piotrovski, 1980, *Electrical Machines (Part Two)*, Peace Publisher, Moscow.
- [5]. S. L. Uppal. 1983, *Electric Power (Revision Edition)*, Khanna Publishers, New Delhi,
- [6]. Theraja B. L, 1980, *A Text Book of Electrical Technology*, S Chand and Company Publisher, Ram Nagar.