

# Analisa Sistem Tenaga Listrik Di Minahasa Dalam Menghindari Padam Total

Hardiyanto Labulu<sup>(1)</sup>, Ir. Fielman Lisi, MT.<sup>(2)</sup>, Maickel Tuegeh, ST., MT.<sup>(3)</sup>

(1) Mahasiswa, (2) Pembimbing 1, (3) Pembimbing 2.

Jurusan Teknik Elektro-FT, UNSRAT, Manado-95115, Email: hardylabulu@gmail.com

## Abstrak

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan dan penggunaan tenaga listrik oleh masyarakat, maka sangat dibutuhkan penyediaan tenaga listrik yang kontinu dengan kuantitas dan kualitas yang memadai, sehingga pemadaman tenaga listrik tidak perlu terjadi pada keseluruhan sistem, namun sistem kelistrikan Minahasa Manado dan Bitung sering padam total apabila terjadi salah satu mesin pembangkit trip.

Dari hasil penelitian jelas menunjukkan bahwa terjadinya padam total sistem Minahasa Manado dan Bitung bila terjadi salah satu mesin pembangkit trip, diakibatkan terjadinya kekurangan daya yang tersedia dimana daya yang dibangkitkan lebih kecil dari pada beban sistem.

Berdasarkan penelitian bahwa terjadinya padam total bila salah satu mesin pembangkit trip, adalah diakibatkan oleh waktu gangguan yang sangat cepat yang tidak dapat diatasi oleh operator pengatur beban untuk mengurangi beban sistem, hal ini disebabkan belum tersedianya ( Automatic Frekwensi Load Shedding) dengan menggunakan Under Frequency Relay.

**Kata kunci :** Beban Lebih, Frekwensi, Gangguan Mesin, Padam Total.

## Abstract

*Along with the increasing need for and use of electric power by the people , it is necessary that a continuous supply of electric power with an adequate quantity and quality , so that the power outage does not need to occur in the entire system , but the electrical system Minahasa Manado and Bitung often extinguished completely if there is one a generator trip .*

*From the research results clearly indicate that the total system outages Minahasa Manado and Bitung in case one of the generators trip , caused shortages of available power where power generated is less than the system load .*

*Based on the research that the total extinguished when one generator trip , is caused by a very rapid disruption that can not be resolved by the operator to reduce the regulatory burden of system load , this is due to the unavailability ( Automatic Frequency Load Shedding ) with menggunakan Under Frequency Relay.*

**Keywords :** Engine Trouble, Frequency, Off to Total, Over Load.

## I. PENDAHULUAN

Tenaga listrik saat ini sudah menjadi kebutuhan pokok manusia pada dewasa ini, dalam era pembangunan sumber tenaga listrik adalah salah satu masalah yang menjadi perhatian pemerintah, dimana tenaga listrik merupakan salah satu sarana

Mengingat pentingnya tenaga listrik dalam meningkatkan taraf hidup masyarakat, terlebih pada saat menyongsong era Pembangunan Jangka Panjang ke 2 (PJP 2) yaitu era tinggal landas, dimana pembangunan lebih banyak mengarah pada peningkatan industri sehingga pembangunan ketenagalistrikan perlu dilakukan. Suatu sistem tenaga listrik terdapat berbagai komponen seperti ; generator, transformator, transmisi, dan distribusi yang terhubung menjadi satu sistem. Walaupun komponen-komponen itu di buat dengan cermat, namun gangguan mungkin saja terjadi baik disebabkan oleh alam ataupun kegagalan operasi pada salah satu komponen dari sistem tersebut.

Terjadinya gangguan pembangkit yang sering menyebabkan terjadinya padam total merupakan kendala operasi yang serius yang memerlukan pemecahan, oleh karena pentingnya penyediaan tenaga listrik yang kontinu, maka padam total yang seharusnya tidak perlu terjadi harus dihindari. Perlu pula diperhatikan bahwa terjadi padam total pada sistem kelistrikan Minahasa merupakan akibat dari berkurangnya daya tersedia pembangkit bila salah satu mesin *trip*, dimana hal ini tidak perlu terjadi bila manajemen operasi sistem kelistrikan Minahasa telah terkoordinasi dengan baik.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Umum

Perkembangan pemakaian tenaga listrik oleh konsumen, berkembang seiring dengan kebutuhan masyarakat akan tenaga listrik. Untuk keperluan penyediaan tenaga listrik bagi para konsumen, diperlukan berbagai peralatan listrik yang dihubungkan satu sama lain yang mempunyai inter-relasi dan secara keseluruhan membentuk suatu sistem tenaga listrik. Yang dimaksud dengan sistem tenaga listrik disini adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk yang satu sama lain dihubungkan oleh jaringan transmisi sehingga merupakan sebuah kesatuan interkoneksi.

Biaya operasi dari sistem tenaga listrik pada umumnya merupakan bagian biaya yang terbesar dari biaya suatu perusahaan listrik.

Secara garis besar biaya operasi dari suatu sistem tenaga listrik terdiri dari biaya investasi pembayaran, biaya operasional, biaya bahan bakar/minyak lumas dan material operasi dan biaya pemeliharaan.

Keempat biaya tersebut di atas, biaya bahan bakar pada umumnya adalah biaya yang terbesar. Untuk PLN biaya bahan bakar adalah  $\pm 60\%$  dari biaya operasi secara keseluruhan.

Mengingat hal-hal tersebut di atas maka operasi sistem tenaga listrik perlu dikelola atas dasar pemikiran manajemen operasi yang baik terutama karena melibatkan biaya operasi yang terbesar dan juga karena langsung menyangkut citra PLN kepada masyarakat. Manajemen operasi sistem tenaga listrik haruslah memikirkan bagaimana menyediakan tenaga listrik

yang seekonomis mungkin dengan tetap memperhatikan mutu dan keadilan.

Karena daya listrik yang dibangkitkan harus selalu seirama/sesuai dengan daya yang dibutuhkan oleh konsumen maka manajemen operasi sistem tenaga listrik harus memperhatikan perkiraan beban, keadaan yang diinginkan, alokasi beban pembangkit yang ekonomis dan syarat-syarat pemeliharaan peralatan.

Keempat hal tersebut di atas seringkali masih harus dikaji terhadap beberapa kendala seperti aliran beban dalam jaringan, daya hubung singkat peralatan dan penyediaan suku cabang/dana.

Memperhatikan kendala-kendala tersebut di atas maka seringkali harus dilakukan pengaturan kembali terhadap rencana pemeliharaan dan alokasi beban. Makin besar suatu sistem tenaga listrik makin banyak unsur yang harus di koordinasikan serta yang harus diamati, sehingga diperlukan perencanaan, pelaksanaan, pengendalian serta analisa operasi sistem yang cermat.

### B. Persoalan-Persoalan Sistem Tenaga Listrik

Pengoperasian sistem tenaga listrik ditemui berbagai persoalan. Hal ini antara lain disebabkan oleh pemakaian tenaga listrik selalu berubah dari waktu ke waktu, dengan biaya bahan bakar yang tinggi serta kondisi alam yang sering mengganggu jalannya operasi.

Berbagai persoalan pokok yang dihadapi dalam pengoperasian sistem tenaga listrik adalah sebagaimana diuraikan sebagai berikut.

#### Pengaturan Frekwensi

Pengaturan frekwensi bertujuan memperkecil variasi frekwensi agar senantiasa berada dalam kisaran yang diijinkan (misalnya  $50 \pm 0.2\text{Hz}$ ). Pada dasarnya pengaturan frekwensi adalah pengaturan pasokan daya nyata dari pembangkit sehingga kebutuhan beban yang acak dapat dipenuhi setiap saat dengan kata lain, mengatur frekwensi dilaksanakan dengan mengatur keluaran daya nyata unit pembangkit agar selalu sesuai dengan kebutuhan beban. Pengaturan frekwensi diperoleh dari pengatur primer yaitu mengoperasikan unit pembangkit dengan mode *free acting governor* dan pengaturan sekunder yang terpusat dari pusat pengatur. Pengaturan sekunder tersebut dilaksanakan dengan perintah *dispatcher* kepada operator unit pembangkit dan pengaturan frekwensi otomatis oleh program *Load Frequency Control (LFC)*.

Sistem tenaga listrik harus dapat memenuhi kebutuhan tenaga listrik konsumen dari waktu ke waktu. Untuk ini daya yang dibangkitkan dalam sistem tenaga listrik harus selalu sama dengan beban sistem, hal ini dapat diamati melalui frekwensi sistem. Yakni bila daya yang dibangkitkan dalam sistem lebih kecil dari pada beban maka frekwensi akan menjadi rendah dan sebaliknya bila daya yang dibangkitkan lebih besar dari beban maka frekwensi akan menjadi lebih besar dari nilai standar, sedangkan pengaturan frekwensi dalam hal ini dilakukan oleh suatu perangkat yang disebut *Governor* sebagai alat pengendali frekwensi.

#### Pemeliharaan Peralatan

Peralatan yang beroperasi dalam sistem tenaga listrik perlu dipelihara secara periodik dan juga perlu segera diperbaiki apabila mengalami kerusakan.

#### Biaya Operasi

Biaya operasi khususnya biaya bahan bakar adalah biaya yang terbesar dari suatu perusahaan listrik sehingga perlu dipakai teknik optimasi untuk menekan biaya ini.

#### Perkembangan Sistem

Beban selalu berubah-ubah sepanjang waktu dan juga selalu berkembang seirama dengan perkembangan kegiatan masyarakat yang tidak dapat dirumuskan secara eksak, sehingga perlu diamati secara terus-menerus agar dapat diketahui langkah pengembangan sistem yang harus dilakukan agar sistem selalu dapat mengikuti perkembangan beban sehingga tidak akan terjadi pemadaman listrik dalam sistem.

#### Gangguan dalam Sistem

Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah suatu yang tidak dapat sepenuhnya dihindari. Penyebab gangguan yang paling besar yang dapat mengakibatkan pemadaman listrik pada sistem adalah petir atau gangguan alam.

#### Tegangan dalam Sistem

Tegangan merupakan salah satu unsur kualitas penyediaan tenaga listrik dalam sistem oleh karenanya sangat perlu diperhatikan dalam pengoperasian sistem.

### C. Rencana Operasi

Masalah yang unik dalam operasi sistem tenaga listrik adalah bahwa, daya yang dibangkitkan/diproduksir idealnya harus selalu sama dengan daya yang dikonsumsi oleh para pemakai tenaga listrik yang secara teknis umumnya dikatakan sebagai beban sistem. Apabila daya yang dibangkitkan lebih kecil dari beban sistem maka frekwensi dan tegangan akan turun dibawa nilai nominal, sebaliknya apabila daya yang dibangkitkan lebih besar dari beban sistem maka frekwensi dan tegangan akan naik diatas nilai nominal.

Mutu daya listrik yang baik adalah apabila frekwensi dan tegangan tidak terlalu jauh menyimpang dari nilai nominal, untuk itu di usahakan daya yang dibangkitkan harus sama dengan beban. Daya yang dibangkitkan maupun beban terdiri dari daya nyata dalam satuan Mega Watt dan daya reaktif dalam satuan Megavolt Ampere. Daya nyata hubungannya adalah dengan frekuensi atau fungsi frekwensi sedangkan daya reaktif hubungannya dengan tegangan.

Untuk keadaan *steady state* frekuensi sama dengan seluruh sistem sehingga pengaturan frekwensi dapat dilakukan dengan pengaturan daya nyata, tetapi tidak demikian halnya dengan masalah pengaturan tegangan karena pengaturan tegangan tergantung kepada sumber daya reaktif setempat.

Dilain pihak besarnya beban yang dilayani dalam praktek adalah tidak konstan besarnya melainkan selalu berubah-ubah besarnya sepanjang waktu tergantung kepada keperluan pemakai tenaga listrik sebab tidak ada rumus eksak yang dapat memastikan besarnya beban untuk setiap saat, melainkan yang dapat dilakukan hanyalah memperkirakan besarnya beban dengan melihat angka-angka statistik serta mengadakan analisa beban (*analisis beban tidak di bahas dalam tugas akhir ini*).

Mengingat hal-hal tersebut di atas, maka untuk mengoperasikan sistem tenaga listrik diperlukan perencanaan yang baik mengingat bahwa operasi sistem tenaga listrik menelan biaya yang tidak sedikit.

#### D. Speed Drop dan Pembagian Beban

Pada gambar 1 menggambarkan dua unit pembangkit yang beroperasi paralel dan melayani beban sebesar  $P$ , hanya saja untuk unit pembangkit 2 (dua) garis beban berarah ke kiri dan sumbu frekwensi ada dikanan untuk memudahkan penggambaran bahwa beban  $P$  selalu sama dengan jumlah daya yang dibangkitkan yaitu sama dengan  $P_1 + P_2$ . Untuk unit pembangkit 1 mempunyai *speed drop*  $S_1$  dan pembangkit 2 *speed drop* nya  $S_2$ .

Awalnya, masing-masing unit mempunyai beban  $P_1$  dan  $P_2$  sedangkan frekwensinya  $F_1$  dan jumlah beban  $P$ . Kemudian beban berubah menjadi  $P'$  sehingga beban masing-masing unit pembangkit menjadi  $P'_1$  dan  $P'_2 = P'$  dan frekwensi turun menjadi  $F_2$ .

Masa proses ini tidak ada pengaturan sekunder, sebab terlihat bahwa unit pembangkit 1 yang mempunyai *speed drop*  $S_1$  yang lebih kecil dari  $S_2$  mengalami penambahan beban unit pembangkit no. 2 sebesar  $P'_2 - P_2$ .

Jadi dalam sistem yang terdiri banyak unit pembangkit apabila terjadi perubahan beban maka unit pembangkit yang mempunyai *speed drop* kecil akan mengalami penambahan beban yang lebih besar dari pada unit pembangkit yang mempunyai *speed drop* besar. Sistem yang terdiri dari banyak pembangkit sesungguhnya dapat dianalogikan dengan sebuah unit pembangkit besar yang mempunyai *speed drop* tertentu.

Sering dipergunakan istilah *statisme* dari sistem yaitu suatu angka yang menggambarkan berapa MW yang diperlukan untuk menurunkan frekwensi sistem satu hertz tanpa pengaturan sekunder. *Statisme* tergantung pula pada banyaknya unit pembangkit yang beroperasi dalam sistem serta penyetelan *speed drop*-nya. Frekwensi adalah fungsi dari beban pada sistem.

#### E. Pengaturan Primer Dalam Keadaan Statis

*Statisme* suatu sistem adalah angka yang menggambarkan berapa hertz frekwensi akan berubah untuk perubahan dengan MW tertentu.

*Statisme* semata-mata merupakan hasil pengaturan primer dari *governor-governor* dalam sistem.

Garis *statisme* dalam gambar 2 menunjukkan

$$\text{Statisme} = \frac{F_1 - F_2}{-(P_1 - P_2)} = \frac{F_2 - F_3}{-(P_2 - P_3)} \quad (1)$$

Untuk  $F_1 - F_2$  sama dengan turunnya frekwensi karena beban naik dari  $P_1$  menjadi  $P_2$  dan  $F_2 - F_3$  sama dengan turunnya frekwensi beban naik dari  $P_2$  menjadi  $P_3$ .

Tanda negatif menunjukkan frekwensi ( $F$ ) turun apabila beban ( $P$ ) naik. Persamaan 1 didapat dari geometri gambar 2

$$\frac{F_1 - F_2}{F_2 - F_3} = \frac{AB}{BC} = \frac{-(P_1 - P_2)}{-(P_2 - P_3)} \quad (2)$$

#### F. Pengaturan Sekunder

Proses pengaturan frekwensi melalui pengaturan sekunder berlangsung dalam sistem sebagai akibat penambahan beban, untuk uraian yang serupa dapat di analisa bagaimana proses pengaturan frekwensi apabila terjadi penurunan beban dalam sistem. Pengaturan sekunder dapat dilakukan secara manual ataupun oleh komputer, jika di lakukan secara manual maka dalam sistem yang terdiri dari banyak unit pembangkit dan juga banyak pusat listrik yang tersebar, pelaksanaannya perlu di koordinir.

Koordinasi pengaturan sekunder ini berarti pula koordinasi pembagian dalam sistem, oleh karenanya perlu di lakukan pengaturan oleh Pusat Pengatur Beban sistem tenaga

listrik. Jika pengaturan ini di lakukan dengan menggunakan komputer maka *software* dari komputer harus di isi datanya oleh Pusat Pengatur Beban agar sesuai dengan kondisi sistem, hal ini menyangkut penentuan unit pembangkit yang akan diikuti dalam pengaturan frekwensi sistem serta penentuan faktor partisipasi. Faktor partisipasi ini tergantung pada syarat-syarat mekanik dari unit pembangkit yang menyangkut kecepatan perubahan beban yang diperoleh (MW/detik), sehingga untuk pengaturan sekunder terutama yang memakai komputer perlu diketahui terlebih dahulu daya pengaturan sistem yaitu berapa MW yang diperlukan untuk menaikkan frekwensi sebesar satu Hertz.

Untuk mengetahui daya pengaturan sistem maka  $\Delta F$  yaitu penyimpangan frekwensi terhadap frekuensi yang dikehendaki, dapat dihitung daya yang diperlukan untuk mengoreksi penyimpangan frekwensi sebesar  $\Delta P = k_f \Delta F$

untuk  $k_f$  adalah suatu konstanta yang menggambarkan daya pengaturan sekunder, maka  $\Delta P$  yang diperlukan ini dibagikan kepada unit yang direncanakan mengikuti pengaturan frekwensi dengan memperhatikan faktor partisipasi dari masing-masing unit pembangkit tersebut.

Jika pengaturan sekunder berlangsung cukup lama maka pengaruh turunnya frekwensi sebagai akibat kenaikan beban sudah akan berpengaruh sehingga proses pengaturan sekunder seperti yang digambarkan oleh gambar 3 yang sesungguhnya berlangsung seperti digambarkan pada gambar 4.

Frekwensi dinaikkan dari titik 1 ke titik 2, ini menyebabkan kenaikan beban sistem mengikuti kenaikan frekwensi, juga kenaikan beban ini menyebabkan penurunan frekwensi sepanjang garis *statisme* sistem menuju ke titik 3 dan seterusnya tahap demi tahap sampai ke titik 7.

Untuk proses ini dianggap bahwa selama langkah kenaikan frekwensi dari titik 1 ke titik 2 dan dari titik 3 ke titik 4, dari titik 5 ke titik 6, tidak terjadi kenaikan beban karena langkah-langkah kenaikan frekwensi ini cukup kecil dan berlangsung cukup cepat sehingga beban belum naik.

Naiknya frekwensi dari titik 1 ke titik 7, beban juga naik sebesar  $\Delta B$ .

#### G. Daya Tersedia dalam Sistem

Daya tersedia dalam sistem tenaga listrik haruslah cukup untuk melayani kebutuhan tenaga listrik dari pelanggan. Daya tersedia tergantung kepada daya terpasang unit-unit pembangkit dalam sistem dan juga tergantung kepada kesiapan operasi unit-unit tersebut, berbagai faktor seperti gangguan atau kerusakan dan pemeliharaan rutin menyebabkan unit pembangkit tidak siap operasi.

Untuk dapat melayani beban yang diperkirakan dari perkiraan beban (*load forecast*) dan juga mengingat masalah pemeliharaan unit pembangkit, maka harus diusahakan agar daya tersedia dalam sistem selalu cukup untuk melayani beban. Karena unit pembangkit yang direncanakan tersedia untuk operasi dalam sistem ada kemungkinan mengalami *force outage* maka besarnya cadangan daya tersedia sesungguhnya merupakan ukuran keandalan operasi sistem. Keandalan operasi sistem sesungguhnya tidak semata-mata tergantung kepada cadangan daya yang tersedia dalam sistem tetapi juga kepada besar kecilnya *forced outage hours* per-tahun dari unit pembangkit yang beroperasi.

Keandalan operasi sistem akan makin tinggi apabila daya tersedia dalam sistem makin terjamin, sedangkan tingkat jaminan tersedianya dalam sistem tergantung pada besarnya cadangan daya yang tersedia dan besarnya *forced outage hours* unit pembangkit dalam 1 tahun.

Seperti yang telah disebut diatas besarnya cadangan daya tersedia merupakan ukuran kuantitatif tingkat jaminan penyediaan tenaga listrik dalam sistem. Secara kualitatif hal ini perlu ditelaah lebih mendalam karena kualitas unit pembangkit yang menyediakan cadangan daya tersedia ini, yaitu apakah unit pembangkit sering mengalami gangguan atau tidak, merupakan faktor utama dalam menentukan kualitas cadangan daya tersedia.

#### H. Pengaturan Frekwensi

Sistem tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik bagi para pelanggan dengan frekwensi yang praktis konstan, sebab penyimpangan frekwensi dari nilai nominal harus selalu dalam batas toleransi yang diperbolehkan.

Daya aktif mempunyai hubungan erat dengan nilai frekwensi dalam sistem, sedangkan beban sistem yang berupa daya aktif maupun reaktif selalu berubah sepanjang waktu, sehubungan dengan ini maka untuk mempertahankan frekwensi dalam batas toleransi yang diperbolehkan.

Pembangkitan daya aktif dalam sistem harus disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan atas daya aktif, penyesuaian daya aktif ini dilakukan dengan mengatur besarnya kopel penggerak generator.

Untuk sistem tenaga listrik umumnya digunakan generator sinkron untuk pembangkit tenaga listrik yang utama, maka pengaturan frekwensi sistem praktis tergantung kepada karakteristik generator sinkron.

Menurut hukum Newton ada hubungan antara kopel mekanis penggerak generator dengan perputaran generator yaitu

$$T_G - T_B = H \times \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

$T_G$  = Kopel penggerak generator

$T_B$  = Kopel beban yang membebani generator

$H$  = Momen inersia dari generator

$\omega$  = Kecepatan sudut perputaran generator

#### I. Prinsip Kerja Governor

Pengaturan frekwensi sistem, harus dilakukan dengan melakukan pengaturan penyediaan daya aktif dalam sistem.

Pengaturan penyediaan daya aktif dilakukan dengan pengaturan besarnya kopel mekanis yang diperlukan untuk memutar generator, hal ini berarti pengaturan dalam pemberian bahan bakar pada mesin diesel/air yang masuk pada turbin air. Pengaturan dalam pemberian bahan bakar/air tersebut dilakukan oleh *governor* unit pembangkit yang dapat dilihat dalam gambar 5.

#### J. Penurunan Frekwensi Karena Gangguan Unit Pembangkit

Penambahan beban secara mendadak mempunyai dampak menurunkan frekwensi sistem, begitu pula apabila ada unit pembangkit yang terganggu dan *trip* (jatuh) dari sistem, dampaknya juga menurunkan frekwensi. Dalam hal ini akan dibahas bagaimana menghitung penurunan frekwensi yang terjadi dalam sistem sebagai akibat gangguan unit pembangkit yang mengalami *trip* dari sistem tanpa menghitung respons *governor*.

Respons *governor* tidak diperhitungkan untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih aman, karena perhitungan penurunan frekwensi sebagai akibat *trip* nya salah satu unit pembangkit dimaksud untuk merencanakan pelepasan beban dengan menggunakan *Under Frekuensi Relay* (UFR) ketika menghindarkan gangguan padam total dalam sistem

karena terlalu banyak unit yang ikut *trip* akibat beban lebih. Sebelum ada unit pembangkit yang *trip*, keadaan adalah seimbang yang artinya daya yang dibangkitkan dalam sistem  $PG = \text{beban } PB$ .

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Sistem tenaga listrik Minahasa merupakan sistem tenaga listrik yang digunakan untuk menyediakan atau menyalurkan energi listrik dengan daerah pelayanan meliputi kota Manado, Bitung, Minahasa Utara, Minahasa Selatan, Minahasa Induk, dan Minahasa Tenggara dimana sistem ini bekerja secara interkoneksi. Sistem tenaga listrik ini memiliki beberapa pusat tenaga listrik yaitu Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) yang terdiri dari PLTA Tonsea Lama, PLTA Tanggari 1, PLTA Tanggari 2 dan Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB), PLTPB Lahendong serta Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yaitu, PLTD Bitung, PLTD Lopana, PLTD Sewa.

#### A. Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Manado, dengan pengambilan data di AP2B Tomohon.

#### B. Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dengan metode studi kasus dengan mengumpulkan data yang sering terjadinya gangguan pembangkit.

Tahap pelaksanaan penelitian dan pengolahan data mengumpulkan data dari PT. PLN Persero Suluttenggo mengenai gangguan pembangkit yang berakibat padam total, melakukan perhitungan besar turunnya frekwensi bila salah satu mesin *trip* dan melepas beban untuk menghindari gangguan yang lebih besar.

#### C. Pengambilan Data

Data yang digunakan pada penelitian sebagian besar bersumber dari PT. PLN (Persero) Wilayah Suluttenggo. Data yang digunakan yaitu data pembangkit dan data gangguan yang berakibat padam total.

#### D. Data Operasi

Data operasi sistem tenaga listrik saat beban puncak dapat dilihat pada tabel I dan data gangguan pembangkit yang beroperasi pada tabel II.

### IV. PEMBAHASAN

Dengan metode penelitian studi kasus, maka data yang dikumpulkan dalam penelitian sering terjadinya padam total adalah besarnya frekwensi minimum operasi sistem tenaga listrik adalah sebesar  $50 \pm 0.2$  Hz dan besarnya frekwensi sistem yang pada saat pelepasan tanpa waktu tunda adalah sebesar 49.6 – 49.3 Hz.

Besar frekwensi bila terjadi gangguan (*trip*) mesin pembangkit yang berakibat padam total adalah sebesar < 49.3 Hz.

Karena daya tersedia dalam sistem haruslah cukup untuk memenuhi kebutuhan permintaan akan tenaga listrik dari konsumen maka pengaturan pengoperasian sistem pembangkitan, yaitu dengan mengikuti perkembangan beban.

Contoh kasus terjadinya padam total yang terjadi pada : Senin, 19 November 2012 jam 11.52 WITA. Dari data yang diperoleh, penulis mengambil contoh dari PLTA Bitung yang

terdiri dari 3 unit yang beroperasi. Saat terjadinya gangguan tersebut beban sistem mencapai 8.0 MW sedangkan daya tersedia 12.12 MW yang berarti sistem masih mempunyai daya cadangan berputar sebesar 4.12 MW.

Unit yang mengalami gangguan adalah unit yang mempunyai beban terbesar dan daya tersedia terbesar dalam sistem sehingga daya tersedia dalam sistem akan mengalami pengurangan sebesar 4.04 MW sehingga daya tersedia tinggal 8.08 MW sedangkan beban tetap 8.0 MW yang berarti dalam sistem kekurangan daya sebesar  $8.0 - 8.08 = -0.08$  MW. Akibat dari berkurangnya daya tersedia akan menyebabkan beban generator menjadi lebih besar dari daya mesin penggerak atau dengan kata lain mesin penggerak menerima beban yang lebih besar dari kemampuannya (*overload*).

*Perhitungan besar turunya frekwensi bila salah satu unit pembangkit trip*

Besarnya penurunan frekwensi akibat salah satu unit pembangkit lepas dari sistem, sangat tergantung pada berapa besarnya cadangan daya yang tersedia dalam sistem serta besarnya inersia sistem.

Inersia sistem sangat menentukan laju penurunan frekwensi saat terjadinya gangguan salah satu unit pembangkit *trip*, hal ini disebabkan oleh berapa besar kemampuan kopel mesin penggerak menerima kejutan beban dalam MW/det, sehingga makin besar inersia sistem makin lambat penurunan frekwensi besarnya inersia sistem adalah besar daya mekanik per-MW daya terpasang sistem.

Apabila kasus tanggal 19 Nov 2012 dihitung besar turunya frekwensi yang turun akibat salah satu unit terbesar *trip* adalah sebagai berikut :

Diketahui :

Jumlah unit mesin yang beroperasi adalah 3, dengan total beban 8.800 kW. Daya yang tersedia 12.120 kW, frekwensi sistem 50 Hz salah satu unit dengan beban 2.500 kW *trip*. Maka dalam kasus ini akan di hitung berapa Hz/detik penurunan frekwensi.

Bilamana sebelum gangguan membangkitkan daya 2.5 MW dengan daya terpasang 4.04 MW dan nilai  $H = 1.02$  maka dapat dihitung sebagai berikut :

Bila frekwensi awal  $F_0 = 50$  Hz,  $P_{SO} = 2.5$  MW dalam interval waktu  $t_0 \rightarrow t_1 = 0.1$  detik dan  $t_1 \rightarrow t_2 = 0.1$  detik .

Maka :

$$\begin{aligned} \frac{df}{dt} &= \frac{F_0}{2H} \times \frac{P_{SO}}{P_{GOT} - P_{SOR}} \quad (4) \\ &= -\frac{50}{2(4.02 - 1.02)} \times \frac{2.5}{12.12 - 8.0} \\ &= 8.3 \frac{2.5}{4.12} = -5.036 \text{ Hz/det} \end{aligned}$$

Sehingga selang waktu frekwensi dari  $t_0 \rightarrow t_1$  pada saat  $t_1$  adalah  $F_1$  sebesar :

$$\begin{aligned} F_0 \left( \frac{df}{dt} \right) t_0 \rightarrow t_1 \times (t_1 \rightarrow t_0) \quad (5) \\ 50 + (-5.036) \times 0.11 = 49.496 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Berarti besar frekwensi pada saat 0.1 detik setelah terjadi gangguan frekwensi telah turun mencapai 49.496 Hz, untuk selang waktu berikutnya selama 0.1 detik dengan

$F_1 = 49.496$  Hz, maka selang waktu  $t_1 \rightarrow t_2$  selanjutnya dihitung dulu  $P_{B1}$ , karena :

$$\begin{aligned} D &= \frac{\sigma P_B}{\sigma F} = \frac{8.0}{50 \text{ Hz}} \text{ dianggap linier} \\ P_{B1} &= \frac{F_1}{F_0} \times P_{B0} = \frac{49.496}{50} \times 8.0 = 7.919 \text{ MW} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \left( \frac{df}{dt} \right) t_1 \rightarrow t_2 &= \frac{49.496}{2(4.02 - 1.02)} \times \frac{(8.0 - 2.5) - 7.919}{4.12} \\ &= 8.24 \times \frac{-2.419}{4.12} \\ &= -4.838 \text{ Hz/det} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} F_2 &= F_1 + \left( \frac{df}{dt} \right) t_1 \rightarrow t_2 \times (t_2 \rightarrow t_1) \quad (6) \\ &= 49.496 + (-4.838) \times 0.1 \\ &= 49.01 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Demikian seterusnya dapat dihitung berapa besar turunya frekwensi selang 1 detik kemudian.

*Melepas Beban Untuk Menghindari Gangguan Yang Lebih Besar*

Pelepasan beban sebagai akibat dari terganggunya unit pembangkit, gangguan unit pembangkit dapat mengakibatkan penurunan frekwensi sistem, yang disebabkan terjadinya pembebanan mendadak pada sistem sedangkan energi kinetis sistem berkurang sehingga beban generator menjadi lebih besar dari pada daya mesin penggerak.

Apabila laju ( $df/dt$ ) besar dapat membahayakan sistem, sehingga untuk menghindari gangguan besar pada sistem (padam total), maka perlu dilakukan pelepasan beban yang bertujuan untuk memperkecil pengaruh  $P_{SO}$  (daya tersedia lebih kecil dari beban).

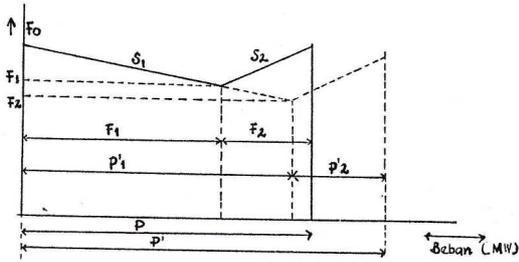
Pelepasan beban dapat dilakukan dengan menggunakan UFR (*Under Frequency Relay*), seperti kasus yang sudah diuraikan di atas yaitu dengan terganggunya unit yang berbeban 2.5 MW dapat mengakibatkan penurunan frekwensi sebesar 0.99 Hz dalam selang waktu 0.2 detik, sehingga dalam waktu 0.6 detik setelah gangguan frekwensi akan turun mencapai 46.59 Hz, sehingga untuk menghindari sistem dari gangguan yang lebih besar maka perlu dilakukan pelepasan beban sebesar 4.04 MW untuk mengurangi pengaruh  $P_{SO}$  (sebesar 2.5 MW), agar frekwensi sistem dapat kembali normal dengan cepat.

Apabila :

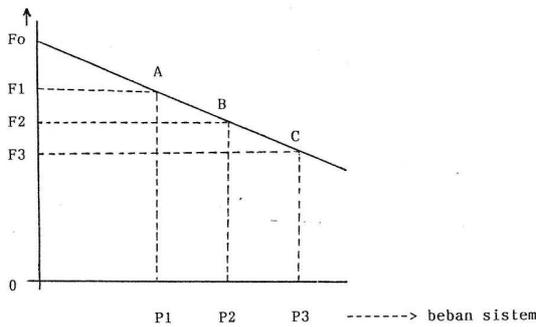
$$\left( \frac{df}{dt} \right)_{1-2} = \frac{F_1}{2H} \left\{ \frac{P_{GO} - (P_{SO} - P_{BR}) - P_B}{P_{GOT} - P_{SOR}} \right\} \quad (7)$$

Untuk  $P_{BR}$  = besar beban yang dilepas UFR.

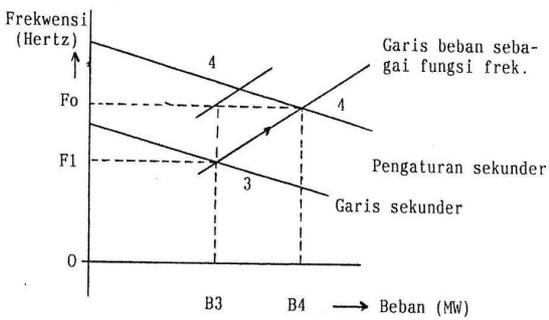
Penurunan frekwensi akan mencapai 45.57 Hz dalam waktu 0.6 detik, sedangkan frekwensi yang diijinkan untuk keamanan sistem sampai dengan 49.3 Hz, hal ini pun harus dilakukan pelepasan beban tanpa waktu tunda.



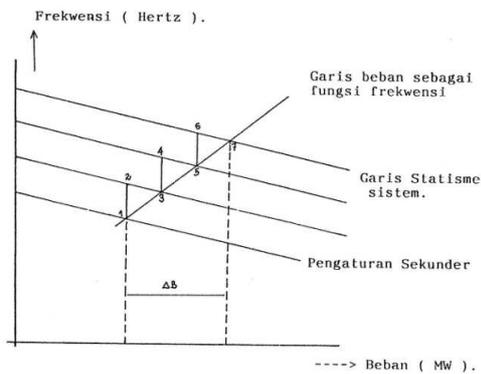
Gambar 1 Pengaruh speed drop terhadap pembagian beban



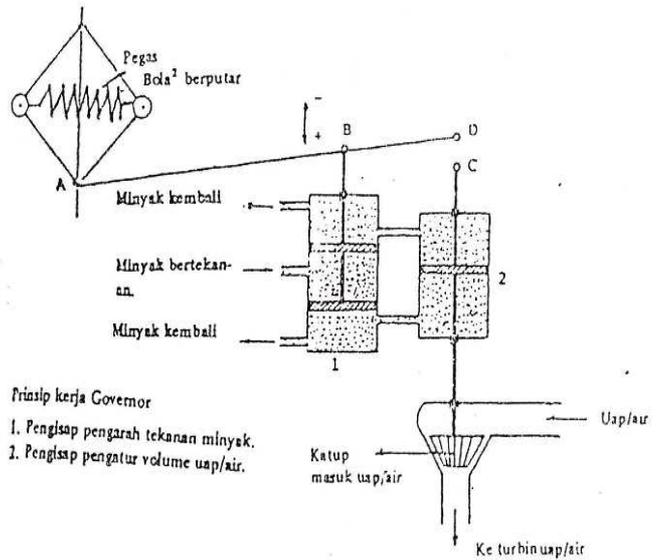
Gambar 2 Garis statisme dalam hubungannya dengan frekwensi dan beban.



Gambar 3 Pengaturan sekunder untuk menaikkan frekwensi sistem.



Gambar 4 Pengaturan sekunder yang diikuti dengan perubahan beban sistem.



Gambar 5 Prinsip kerja suatu Governor

TABEL I DATA OPERASI SISTEM TENAGA LISTRIK

No	Pembangkit Minahasa	Unit	Daya Terpasang		Rencana		Daya Mampu		
			KW	Salur Kit.	Beban Puncak	Salur Kit.	Salur Ops.	Real isasi	
1	PLTA Tonselama	1	4,400	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966
		2	4,500	3,460	3,460	3,460	2,965	2,965	
		3	5,440	3,949	3,949	3,949	3,949	3,949	
Sub Jumlah (1)			14,380	10,375	10,375	10,375	9,880	9,880	
2	PLTA Tanggari I	1	9,000	7,369	7,369	7,369	7,369	7,369	
		2	9,000	7,374	7,374	7,374	7,374	7,374	
Sub Jumlah (2)			18,000	15,243	15,243	15,243	15,243	15,243	
3	PLTA Tanggari II	1	9,500	0	0	0	7,377	7,377	
		2	9,500	8,862	8,862	8,862	8,862	8,862	
Sub Jumlah (3)			19,000	8,862	8,862	8,862	16,239	16,239	
Total PLTA			51,380	34,480	34,480	34,480	41,362	41,362	
4	PLTD Bitung	1	4,040	2,851	2,851	2,851	3,148	3,148	
		2	4,040	0	0	0	2,356	2,356	
		3	4,040	2,356	2,356	2,356	-	-	
		4	5,000	1,638	1,638	1,638	2,628	2,628	
		5	5,400	2,401	2,401	2,401	2,401	2,401	
		6	5,400	3,094	3,094	3,094	3,094	3,094	
		7	8,800	3,714	3,714	3,714	3,714	3,714	
		8	8,800	0	0	0	-	-	
		9	11,000	4,619	4,619	4,619	4,619	4,619	
Sub Jumlah (4)			56,520	20,673	20,673	20,673	21,960	21,960	
5	PLTD Lopana	1	5,000	4,265	4,265	4,265	3,770	3,770	
		2	5,000	3,770	3,770	3,770	3,275	3,275	
Sub Jumlah (5)			10,000	8,035	8,035	8,035	7,044	7,044	
6	PLTP	1	20,000	15,900	15,900	15,900	15,900	15,900	
		2	20,000	15,040	15,040	15,040	14,842	14,842	
		3	20,000	0	0	0	-	-	
		4	0	16,625	16,625	16,625	17,417	17,417	
7	PLTU	1	0	0	0	0	-	-	
		2	0	5,725	5,725	5,725	-	-	
Sub Jumlah (7)			0	5,725	5,725	5,725	0	0	
8	Genset Sewa		45,000	42,000	42,000	42,000	43,000	43,000	
			10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	
			10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	
			5,000	4,000	4,000	4,000	5,000	5,000	
			20,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	
Sub Total I			222,900	158,478	158,478	158,478	161,525	161,525	

TABEL II DATA GANGGUAN PEMBANGKIT

No	Waktu Gangguan	Unit Operasi	Beban (KW)	Daya Tersedia	Ket
1.	Senin, 19 Nov 2012	PLTA Tonselama	-	-	Stand by
		PLTA Tanggari	-	-	Stand by
		PLTD Lahendong	-	-	Stand by
		PLTU SULUT	-	-	Stand by
		PLTD Bitung	-	-	Stand by
		- Unit 1	3.000	4.040	Trip gangguan mesinn
- Unit 2	2.500	4.040			
- Unit 3	2.500	4.040			
		Beban Sistem	8.000	12.120	

Untuk kasus ini apabila  $F_1 = 46.59$  Hz, pada waktu  $t_1$  dilakukan pelepasan beban maka waktu  $t_2$  frekwensi akan naik sebesar :

$$P_{BR} = 4.04 \text{ MW}$$

Maka :

$$P_{B1} = \frac{46.59}{50} \times 8.0 = 7.45 \text{ MW}$$

$$\left(\frac{df}{dt}\right)_{1-2} = \frac{46.59}{2(4.02-1.02)} \times \frac{8.0 - (2.5-4.04) - 7.45}{12.12-8.0}$$

$$= 7.76 \times \frac{8.0 - (-1.54) - 7.45}{4.12} = 3.93 \text{ Hz/det}$$

Sehingga besar frekwensi setelah pelepasan beban pada waktu  $t_2$  dalam interval waktu  $t_1 \rightarrow t_2$  sebesar 0.1 detik, maka

$F_2$  adalah sebesar :

$$F_2 = F_1 \left(\frac{df}{dt}\right)_{1-2} \times (t_2 - t_1)$$

$$= 46.59 + 3.93 \times 0.1$$

$$= 46.983 \text{ Hz}$$

Selanjutnya untuk selang waktu  $t_2 \rightarrow t_3$  dengan interval waktu 0.1 detik, maka besar  $F_3$  setelah 0.1 detik pada saat  $t_3$  sebesar :

$$P_{B2} = \frac{46.983}{50} \times 8.0 = 7.52$$

$$\left(\frac{df}{dt}\right)_{2-3} = \frac{46.983}{6} \times \frac{8.0 - (2.5-4.04) - 7.45}{12.12-8.0}$$

$$= 7.83 \times 0.507 = 3.969 \text{ Hz/det}$$

Sehingga :

$$F_3 = F_2 \left(\frac{df}{dt}\right)_{2-3} \times (t_3 - t_2)$$

$$= 46.983 + 3.969 \times 0.1 = 47.397 \text{ Hz}$$

Cara yang sama perhitungan dapat dilanjutkan hingga frekwensi mencapai 50 Hz, waktu yang dibutuhkan berapa lama. Sehingga dapat diketahui bahwa dengan melakukan pelepasan beban sebesar 4.04 MW, frekwensi akan naik kembali karena nilai  $df/dt$  menjadi positif. Nilai  $df/dt$  akan positif apabila  $P_{BR} > P_{SO}$  yang artinya apabila beban yang dilepas lebih besar dari daya pembangkitan yang hilang karena ada unit pembangkit yang terganggu yaitu  $P_{SO}$ .

## V. KESIMPULAN

Selesaiannya pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi, maka penulis dapat menarik kesimpulan.

Setelah terjadinya gangguan mesin pembangkit maka dari hasil penelitian dan perhitungan contoh kasus yang terjadi pada tanggal 19 November 2012, ternyata bahwa hipotesis pertama dan kedua dapat diterima yaitu Terjadinya pengurangan daya tersedia sebesar 4.04 MW dari daya tersedia sebelumnya sebesar 12.12, sehingga daya tersedia yang tersisa sebesar  $12.12 - 4.04 = 8.08$  MW sedangkan beban sistem berkurang yaitu sebesar 8.0 MW dari daya mesin.

Akibat berkurangnya daya tersedia pembangkit berakibat terjadinya pembebanan lebih pada mesin pembangkit karena beban generator menjadi lebih kecil dari daya mesin yaitu sebesar 0.08 MW, sehingga dari perhitungan dan pengolahan data yang dikumpulkan ternyata dengan beban sebesar 0.08 MW, frekwensi akan turun sebesar waktu 0.6 detik.

Perhitungan dari kasus yang terjadi pada tanggal 19 November 2012, bilamana dilakukan pelepasan beban sebesar 4.04 MW maka dalam waktu 0.2 detik setelah pelepasan beban, frekwensi naik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. S. Siskind, *Electrical Machine*, second edition McGraw Hill Book Company, 1978.
- [2] Ir. Djiteng Marsudi, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Balai Penerbit & Humas ISTN Jakarta, 1990.
- [3] J. B. Gupta, *Electrical Power*, sixth edition Katson Publishing House B. D. Kataria & Sons, 1980.
- [4] R. H. Miller, *Power System Operation*, Second edition McGraw Hill Book Company, 1983.
- [5] W. D. Stevenson Jr. Alih Bahasa Ir. Kamal Idris, *Sistem Tenaga Listrik*, edisi ke empat, Penerbit Erlangga, 1990.
- [6] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Penerbit PT. Gramedia Jakarta, 1990.