



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Pada penelitian terdahulu juga telah di bahas tentang pelepasan beban (*load shedding*), akan tetapi terdapat perbedaan metode, tujuan yang menjadikan cirri khas dari penelitian tersebut. Berikut Penulis akan membahas tentang beberapa jurnal yang berkaitan dengan penelitian yang akan dikerjakan Penulis yaitu pelepasan beban.

Pada penelitian (Saputra, 2015) yang berjudul Analisis Stabilitas Transien respon Frekuensi dengan Skema pelepasan Beban (Load shedding) di PT. Petrochina international Jabung LTD. Mode BCD3 Akibat Lepasnya Salah Satu Generator Menggunakan Etap 12.6.0. menjelaskan bahwa terjadinya perubahan beban secara tiba-tiba akibat lepasnya generator yang beroperasi. Sehingga dibuatlah simulasi dengan menganalisa stabilitas transien respon frekuensi, simulasi dilakukan dengan menggunakan software ETAP 12.6.0 yang mana menunjukkan lepasnya generator tanpa dilakukan pelepasan beban mengakibatkan sistem tidak stabil yang menyebabkan frekuensi turun hingga menyebabkan sistem padam total (*blackout*). Untuk mengembalikan system kembali stabil, pada kasus A 3, A 6, dan A 9 diperlukan mekanisme pelepasan beban level 4 dan kasus C 8 dibutuhkan mekanisme pelepasan beban level 2 agar frekuensi kembali stabil masing-masing pada 59,62 Hz, 59,85 Hz, 59,97 Hz, dan 59,73 Hz di detik ke 30s.

Penelitian yang di lakukan oleh (Septiyani dkk, 2014) yang berjudul “Pemutusan Beban Otomatis (Automatic Load Shedding)”. Menjelaskan bahwa pada penelitian-Nya dilakukan simulasi dengan cara di beri beban lebih pada sebuah generator sehingga terjadi ketidak stabilan frekuensi, yang mana harus di lakukan pemutusan beban sampai frekuensi kembali pada keadaan stabil. Pelepasan beban pertama di lakukan maka frekuensi menjadi 49,5 Herzt, kemudian di lakukan pelepasan beban kedua sehingga frekuensi menjadi 49,7.

Sedangkan (Nugraheni & Setiabudy, 2011) dalam penelitian yang berjudul “Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Relay Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik Cnooc SES LTD”, menjelaskan bahwa pada sistem tenaga listrik CNOOC SES LTD terdapat 9 generator, untuk membuktikan keefektifan pelepasan beban maka dibuatlah simulasi bebarapa generator lepas yang menghasilkan ketidakseimbangan daya antara daya yang di bangkitkan dengan daya yang dibutuhkan beban dengan menggunakan ETAP 7.0. Dari simulasi frekuensi



sistem dapat pulih sekitar 3-9 detik setelah gangguan tergantung pada besar kelebihan beban pada sistem tenaga listrik.

Sedangkan (Abipudya, 2010) pada penelitian yang berjudul “Studi Stabilitas Transien pada Integrasi Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur (PKT) Akibat Penambahan Pabrik PKT-5”. Menjelaskan bahwa PT. PKT berencana membangun pabrik baru dengan generator 31.5 MW dan beban 60 MW, di lakukan simulasi dengan telah ditambahkan 1 pembangkit, yang mana 1 pembangkit terjadi trip pada PKT-1. Sehingga perlu dilakukan pelepasan beban agar frekuensi kembali pada keadaan normal.

Pada penelitian (Said, 2009) yang berjudul, “Pelepasan Beban Menggunakan *Under Frequency Relay* pada Pusat Pembangkit Tello”. Penelitian ini tentang perlunya peninjauan kembali terkait penggunaan *under frequency relay* dikarenakan adanya tambahan pembangkit-pembangkit baru yang masuk dalam sistem interkoneksi Sulselbar. Pada penelitian ini dilakukan pelepasan beban, kemudian di lakukan monitoring perubahan frekuensi tiap detiknya, setelah itu di dapat waktu yang di perlukan sistem agar frekuensi kembali pada keadaan normal.

Pelepasan beban bertujuan untuk menyeimbangkan antara daya aktif yang di bangkitkan dengan kebutuhan beban, sehingga kerja generator terjaga dibatas normal. Berdasarkan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini penulis ingin membahas apabila terjadi gangguan pada generator sehingga terjadilah kelebihan beban dan menyebabkan terjadinya penurunan frekuensi, oleh sebab itu dilakukanlah pelepasan beban. Penulis memodifikasi skema pelepasan beban pada Gardu Induk Garuda Sakti ke waktu pemulihan yang lebih cepat, dimana standar waktu pemulihan pada PLN yaitu 5 detik. Pada skema Gardu Induk Garuda Sakti, terdapat waktu pemulihan frekuensi yang lebih dari 5 detik, sehingga perlu dimodifikasi skema pelepasan beban agar frekuensi dapat pulih dalam waktu 5 detik. Jika pelepasan beban tidak dilakukan maka kemungkinan terburuk yang akan terjadi yaitu pemadaman total (Suroso dkk, 2012). Penulis membahas penggunaan *under frequency relay* untuk melakukan pelepasan beban (*load shedding*). Pada peneliti sebelumnya hanya menggunakan *software* dalam melakukan pelepasan beban, dan pada penelitian ini penulis mencoba menggabungkan antara simulasi dengan menggunakan *software* ETAP dengan perhitungan manual.



## 2.2 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik

Energi listrik di bangkitkan oleh generator yang mana keluaran dari generator berupa tegangan dan arus. Tahap selanjutnya energi listrik tersebut di alirkan melalui sistem transmisi, komponen penting yang terdapat pada transmisi tenaga listrik adalah transformator penaik tegangan (*step up*) dan saluran transmisi, biasanya letak pembangkit cukup jauh dengan konsumen maka di gunakanlah transformator *step up* dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya. Transformator *step up* akan menaikkan tegangan sehingga arus transmisi kecil. Agar energi listrik dapat dimanfaatkan oleh peralatan yang di gunakan konsumen maka tegangan dari sitem transmisi tenaga listrik masuk ke distribusi tenaga listrik. Pada sistem ini komponen yang dibutuhkan adalah transformator penurun tegangan (*step down*) dan saluran distribusi. Penurunan tegangan disesuaikan dengan kebutuhan yang di gunakan. Demi ke-andalan dan ke-amanan energy listrik bagi konsumen maka di dibutuhkan lah sistem proteksi (Nugraheni & Setiabudy, 2011).

Sebagian besar pembangkitan energi listrik di lakukan dengan cara memutar generator sinkron sehingga di dapat tenaga listrik tiga fasa dengan arus bolak balik. Energi listrik dibangkitkan oleh generator yang memanfaatkan berbagai penggerak utama atau penggerak mula (Saputra, 2015). Jenis-jenis pembangkit tenaga listrik dapat di bagi menjadi:

a. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pada pembangkit listrik ini sumber penggerak utamanya menggunakan tenaga air.

b. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pada pembangkit listrik ini sumber penggerak utamanya menggunakan bahan bakar minyak.

c. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Pada pembangkit listrik ini sumber penggerak utamanya menggunakan bahan bakar gas.

d. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pada pembangkit listrik ini sumber penggerak utamanya menggunakan bahan bakar batu bara, minyak atau gas.

e. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap



Pada pembangkit ini merupakan kombinasi PLTG dengan PLTU. Gas buang dari PLTG dimanfaatkan untuk menghasilkan uap dalam ketel uap untuk penggerak turbin uap.

#### f. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Pada pembangkit ini merupakan PLTU yang tidak mempunyai ketel uap karena uap penggerak turbin uapnya didapat dari dalam bumi.

#### g. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Pada pembangkit ini merupakan PLTU yang menggunakan bahan bakar uranium sebagai sumber penggerak mulanya. Uranium menjalani proses fission di dalam reactor nuklir yang menghasilkan energy panas yang digunakan untuk menghasilkan uap dalam ketel uap. Uap ini selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin uap penggerak generator.

## 2.3 Gardu Induk

Gardu induk adalah merupakan bagian dari suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi atau distribusi, perlengkapan hubung bagi trafo, peralatan pengaman, peralatan kontrol, dan merupakan komponen utama dalam suatu proses penyaluran listrik dari pembangkit kepada konsumen (beban) (Aslimeri, 2008).

### 2.3.1 Fungsi Gardu Induk

Gardu induk memiliki beberapa fungsi yaitu:

- a. Mentransformasikan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan tinggi lainnya, dari tegangan tinggi ke tegangan menengah.
- b. Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari system tenaga listrik.
- c. Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang-penyulang (feeder- feeder) tegangan menengah yang ada di gardu induk.
- d. Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA.



### 2.3.2 Jenis Gardu Induk

Berdasarkan fungsinya gardu induk dapat di bedakan menjadi:

#### a. Gardu induk penaik tegangan

Gardu Induk Penaik Tegangan adalah gardu induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan dari pembangkit (generator) ke tegangan sistem transmisi. Gardu induk ini berada di lokasi pembangkitan tenaga listrik. Karena tegangan keluaran yang dihasilkan pembangkit listrik kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi dengan tujuan untuk menghilangkan rugi-rugi daya.

#### b. Gardu induk penurun tegangan

Gardu induk penurun tegangan berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah dan tegangan menengah atau tegangan distribusi. Gardu Induk ini terletak pada daerah pusat-pusat beban, karena di gardu induk inilah pelanggan (beban) dilayani.

#### c. Gardu Induk Pengatur Tegangan

Pada umumnya gardu induk jenis ini terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik. Karena listrik disalurkan sangat jauh, maka terjadi tegangan jatuh (voltage drop) transmisi yang cukup besar. Oleh karena diperlukan alat penaik tegangan, seperti bank kapasitor, sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.

#### d. Gardu Induk Pengatur Beban

Berfungsi untuk mengatur beban. Pada gardu induk ini terpasang beban motor, yang pada saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, motor berubah menjadi generator dan suatu saat generator menjadi motor atau menjadi beban, dengan generator berubah menjadi motor yang memompakan air kembali ke kolam utama.

#### e. Gardu Induk Distribusi

Gardu induk yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi. Gardu induk ini terletak di dekat pusat-pusat beban.

### 2.4 Frekuensi dengan Daya Aktif

Disamping tegangan, frekuensi adalah salah satu besaran yang dikendalikan secara ketat dalam sebuah sistem daya listrik. Hal ini dikarenakan frekuensi adalah salah satu indikator



kualitas dan kesehatan sebuah sistem daya listrik. Penyimpangan frekuensi dari nominal harus selalu dalam batas yang di perbolehkan. Daya aktif mempunyai hubungan erat dengan nilai frekuensi dalam sistem, sedangkan beban sistem berupa daya aktif maupun daya reaktif selalu berubah ubah setiap waktu (Marsudi, 1990). Sehubung dengan ini, untuk mempertahankan frekuensi dalam batas yang di perbolehkan, pembangkitan daya aktif dalam sistem harus di sesuaikan dengan kebutuhan pelanggan atau beban daya aktif.

Pengaturan frekuensi sangat erat dengan pengaturan daya aktif. Jika daya aktif yang dihasilkan generator lebih kecil dari kebutuhan beban maka hal ini akan menyebabkan frekuensi generator menjadi turun. Ketika generator bekerja diluar rentang frekuensi kerja, maka generator tersebut akan cepat mengalami kerusakan. Oleh sebab itu, untuk mempertahankan besar frekuensi sistem diperlukan pengaturan besar kopel mekanis penggerak generator. Untuk memperbesar daya aktif dari generator maka di perbesarlah kopel penggerak generator. Penambahan kopel pemutar generator memerlukan tambahan bahan bakar untuk pembangkit termis dan pada PLTA memerlukan tambahan air (Marsudi, 1990).

Menurut hukum Newton, kopel mekanis penggerak generator dengan perputaran generator memiliki hubungan yaitu

$$T_G - T_B = I \times \frac{d\omega}{dt} \quad (2.1)$$

dengan:

$T_G$  = Kopel penggerak generator ( $Nm$ )

$T_B$  = Kopel beban yang membebani generator ( $Nm$ )

$J$  = Momen inersia dari generator beserta mesin penggeraknya ( $Kgm^2$ )

$\omega$  = Kecepatan sudut perputaran generator ( $rad/s$ )

Sedangkan frekuensi yang di hasilkan generator adalah :

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.2)$$

Ditinjau dari segi mesin penggerak generator ini berarti bahwa pengaturan frekuensi sistem adalah pengaturan bahan bakar pada unit termis dan pengaturan pemberian unit air pada PLTA (Marsudi, 1990). Ditinjau dari segi beban sistem frekuensi akan turun apabila daya aktif yang di bangkitkan tidak bisa memenuhi kebutuhan beban dan frekuensi akan naik apabila daya aktif yang di bangkitkan melebihi kebutuhan beban.



Dengan melihat persamaan (2.1) dan (2.2) ini berarti bahwa:

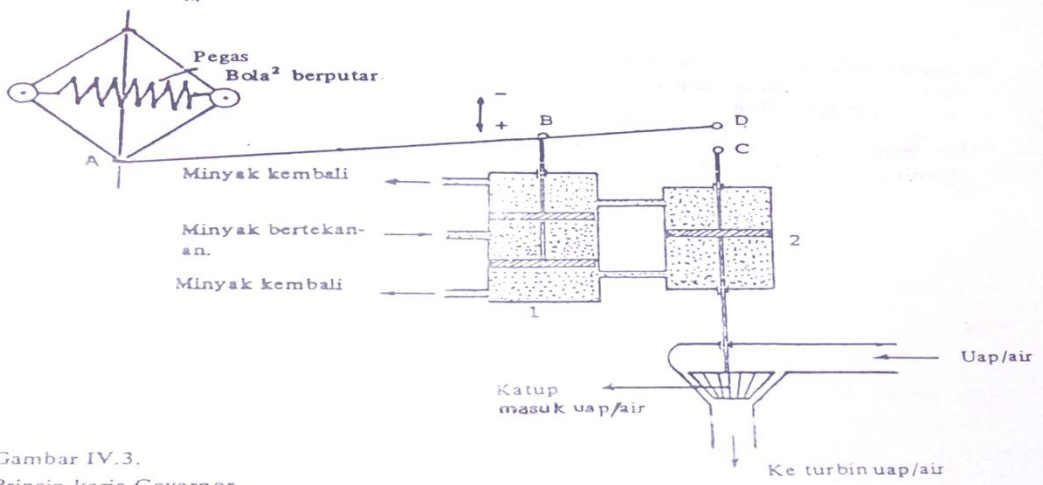
$$T_G - T_B = \Delta T < 0, \text{ maka } \frac{d\omega}{dt} < 0, \text{ frekuensi turun}$$

$$T_G - T_B = \Delta T > 0, \text{ maka } \frac{d\omega}{dt} > 0, \text{ frekuensi naik}$$

### 2.5 Prinsip Kerja Governor

Pengaturan frekuensi sistem harus dilakukan dengan mengatur penyediaan daya aktif dalam sistem. Pengaturan penyediaan daya aktif dilakukan dengan pengaturan besarnya kopel mekanis yang di perlukan untuk memutar generator, hal ini berarti pengaturan pemberian uap pada turbin uap atau pengaturan pemberian bahan bakar pada turbin gas dan mesin diesel dan pengaturan jumlah air yang masuk ke turbin air pada unit PLTA (Marsudi, 1990). Pengaturan pemberian uap atau air pada turbin dilakukan oleh governor unit pembangkit.

Penurunan frekuensi disebabkan karena nilai  $T_B$  menjadi lebih besar sebagai akibat penambahan beban sehingga  $T_G - T_B = \Delta T < 0$  dan selanjutnya  $\frac{d\omega}{dt}$  juga menjadi  $< 0$ .  $\frac{d\omega}{dt}$  adalah percepatan sudut, apabila nilainya  $< 0$  maka terjadi pengurangan kecepatan sudut ( $\omega$ ) karena frekuensi  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  maka hal ini juga berarti penurunan frekuensi.



Gambar IV.3. Prinsip kerja Governor

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Governor

Sumber: (Marsudi, 1990)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Dikarenakan kecepatan sudut dari mesin penggerak generator turun maka bola-bola berputar pada gambar 2.1 juga akan turun kecepatannya, karena poros yang memutarinya dihubungkan langsung melalui sistem roda gigi dengan mesin penggerak generator. Hal ini akan menyebabkan titik A menurun yang selanjutnya juga akan menurunkan titik B. Dengan turunnya titik B maka torak pengarah tekanan minyak akan mengalirkan minyak bertekanan ke torak penggerak katub utama sehingga katub utama terangkat keatas untuk menambah uap ke turbin uap dalam hal mesin penggerak adalah turbin uap dan dalam mesin penggerak adalah turbin air maka katub utama akan menambah air ke turbin air. Untuk mesin diesel dan turbin gas maka yang digerakkan adalah batang pengatur bahan bakar.

## 2.6 Pelepasan Beban (*Load Shedding*)

Pelepasan beban merupakan salah satu fenomena yang terjadi di suatu sistem tenaga listrik yang mengijinkan adanya beberapa beban keluar dari sistem sehingga menghasilkan kestabilan sistem tenaga listrik. Hal ini biasanya disebabkan oleh adanya beban lebih pada sistem, sehingga untuk dapat mengembalikan kondisi sistem agar seperti sediakala diperlukan pelepasan beberapa beban tertentu. Suatu sistem tenaga listrik yang bekerja secara normal memiliki daya yang dihasilkan oleh pembangkit yang besarnya sama dengan jumlah daya permintaan beban dan rugi-rugi daya transmisi (Nugraheni & Setiabudy, 2011). Adanya ketidaknormalan yang disebabkan oleh terjadinya beban lebih pada umumnya dipicu oleh beberapa hal, antara lain dikarenakan adanya pembangkit yang lepas dari sistem dikarenakan terjadinya gangguan seperti cuaca pada saat musim kemarau yang mengakibatkan pembangkit tidak beroperasi secara maksimal. Sehingga beban salah satu pembangkit di tanggung oleh pembangkit lain. Hal ini akan menyebabkan frekuensi menjadi turun, untuk menghindarkan sistem menjadi *blackout* akibat penurunan frekuensi tersebut perlu dilakukan pelepasan beban.

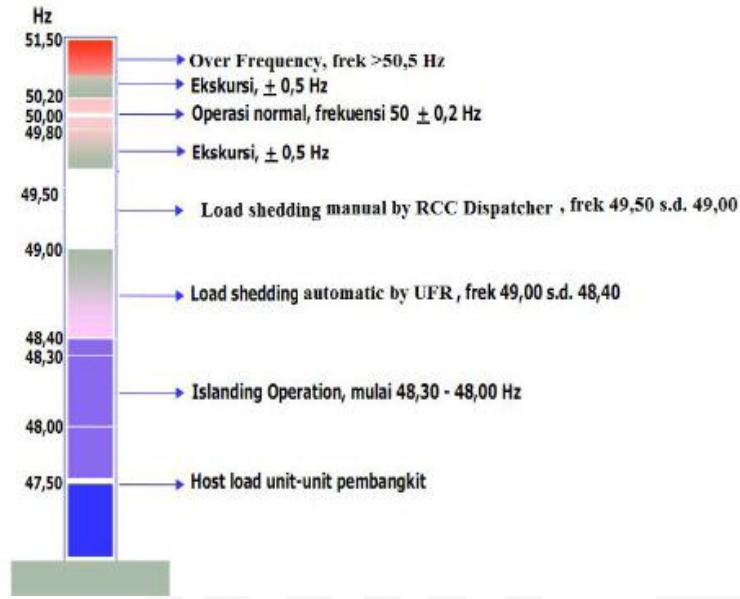
Gambar 2.2 merupakan skema Load Shedding pada PLN. Dari sistem tersebut dapat diamati bahwa batas maksimal frekuensi turun adalah 0.5 Hz. Ketika frekuensi <math>-0.6\text{ Hz}</math>, harus segera dilakukan Load Shedding. Semakin besar frekuensi turun, maka semakin besar pula *Load Shedding* yang harus dilakukan PLN untuk mengembalikan nilai frekuensi pada titik 50 Hz (Abipudya, 2010).





Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.2 Skema Load Shedding PLN

Sumber: (Hutomo, 2012)

Pada rentang frekuensi 49,0 s/d 49,5 Hz, Pelepasan beban di lakukan secara manual oleh operator atau dispatcher RCC (Region), sedangkan pelepasan beban seketika (otomatis) dilakukan dengan menggunakan Under Frequency Relay (UFR) pada frekuensi 49,0 Hz s/d 48,4 Hz.

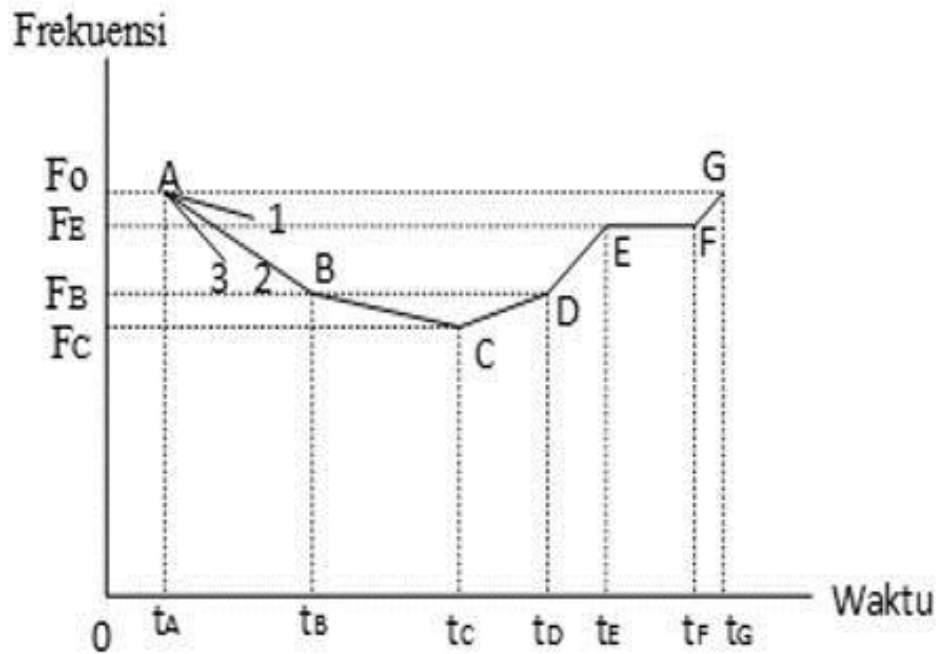
**2.6.1 Pelepasan Beban Akibat Penuruna Frekuensi**

Untuk mengatasi terjadinya penurunan frekuensi, maka sebagian beban harus di lepas agar frekuensi dari sistem tidak turun terlalu jauh dari batas yang di izinkan oleh PT. PLN. Keadaan yang kritis dalam sistem dapat dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat. Hal ini dapat digambarkan pada Gambar 2.3, saat  $t=t_A$  ada gangguan yang terjadi sehingga frekuensi menurun.



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.3 Perubahan Frekuensi sebagai Fungsi Waktu dengan Adanya Pelepasan Beban

Sumber: (Marsudi, 1990)

Dalam gambar 2.3 di asumsikan bahwa frekuensi menurun pada garis 1. Setelah mencapai titik B maka dilakukan pelepasan beban tingkat pertama oleh Under Frequency Relay (UFR) yang bekerja setelah mendeteksi frekuensi sebesar  $F_B$ . Dengan dilakukannya pelepasan beban tingkat pertama maka penurunan frekuensi berkurang kecepatannya, sampai di titik C Under Frequency Relay (UFR) mendeteksi frekuensi sebesar  $F_C$  dan akan dilakukan pelepasan beban tingkat kedua.

Setelah pelepasan beban tingkat kedua frekuensi sistem tidak lagi menurun tapi menunjukkan gejala yang baik yaitu naik menuju titik D. Naiknya frekuensi dari titik C menuju titik D hal ini disebabkan karena daya yang masih tersedia dalam sistem lebih besar dari pada beban setelah mengalami pelepasan beban tingkat kedua. Kemudian frekuensi perlahan mencapai titik yang diizinkan beroperasi di titik F, dalam hal ini 49,5 adalah batas izin dari PT. PLN dan kemudian menjadi normal di titik G.

Apabila frekuensi turun tidak begitu besar, mungkin penurunan frekuensi tidak akan pernah mencapai titik  $F_C$  sehingga dalam hal ini pelepasan beban tingkat pertama saja sudah cukup untuk menghindari sistem menjadi *collapsed* (Marsudi, 1990).



Dalam praktek pelepasan beban (*load shedding*) di lakukan dengan memasang *Under Frequency Relay* (UFR) pada berbagai feeder distribusi yang di pilih menurut kondisi setempat. Feeder distribusi yang menyangkut objek vital, sedapat mungkin tidak di beri *Under Frequency Relay* (UFR).

Terdapat 2 macam metode untuk melepas beban bila terjadi gangguan pada sistem, yaitu pelepasan beban manual dan otomatis.

#### a. Manual Load Shedding

Pelepasan beban secara manual hanya digunakan pada keadaan yang tidak begitu genting seperti pada suatu perkembangan beban yang melebihi tenaga pembangkit listrik yang ada atau bahaya yang dikarenakan turunnya tegangan di dalam suatu daerah tertentu yang disebabkan gangguan.

#### b. Automatic Load Shedding

Di dalam perencanaan pelepasan beban yang otomatis untuk suatu sistem tertentu diusahakan pemasangan alat-alat yang tepat dan dapat melindungi sistem dengan cepat apabila terjadi perubahan frekuensi yang besar dalam waktu yang singkat pada sistem itu. Alat yang tepat untuk tujuan ini adalah rele frekuensi rendah (UFR). Rele ini digunakan untuk mendeteksi frekuensi sistem pada suatu batas tertentu.

### 2.6.2 Syarat Pelepasan Beban

Sebelum dilakukan pelepasan beban akibat penurunan frekuensi, perlu diperhatikan beberapa kriteria:

- a. Pelepasan dilakukan secara bertahap, dengan tujuan apabila pada pelepasan tahap pertama frekuensi belum juga pulih maka masih dapat di lakukan pelepasan beban tahap berikutnya untuk memperbaiki frekuensi.
- b. Hendaknya jumlah beban yang di lepas seminimal mungkin sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik dalam memperbaiki frekuensi.
- c. Beban yang di lepaskan adalah beban yang memiliki prioritas rendah dibanding beban lain dalam sistem tenaga listrik.

### 2.6.3 Klasifikasi beban

Berdasarkan jenis konsumen energi listrik, maka jenis beban dapat di klasifikasikan sebagai berikut (Ruruk & Memory, 2014):



- a. Beban rumah tangga, pada umumnya beban rumah tangga berupa lampu untuk penerangan, alat rumah tangga, seperti kipas angin, pemanas air, lemari es, *air conditioner* (AC), *mixer*, *oven*, motor pompa air, televisi dan sebagainya. Beban puncak rumah tangga biasanya terjadi pada malam hari, dikarenakan pada siang hari masyarakat lebih banyak menghabiskan waktu di tempat kerja,
- b. Beban komersial, pada umumnya terdiri atas penerangan untuk reklame, kipas angin, penyejuk udara dan alat-alat listrik lainnya. Contoh beban komersial yaitu restoran atau rumah makan, hotel, perkantoran dan lain sebagainya. Beban puncak komersial berbeda-beda tergantung jenis bisnis yang di jalankan.
- c. Beban industri dibedakan dalam skala kecil dan skala besar. Untuk beban skala kecil biasanya hanya beroperasi di siang hari, sedangkan industri besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai 24 jam.
- d. Beban fasilitas umum

Pengklasifikasian ini sangat penting artinya bila kita melakukan analisa karakteristik beban untuk suatu sistem yang sangat besar. Perbedaan yang paling prinsip dari empat jenis beban diatas, selain dari daya yang digunakan dan juga waktu pembebanannya. Pemakaian daya pada beban rumah tangga akan lebih dominan pada pagi dan malam hari, sedangkan pada beban komersil lebih dominan pada siang dan sore hari. Pemakaian daya pada industri akan lebih merata, karena banyak industri yang bekerja siang-malam. Maka dilihat dari sini, jelas pemakaian daya pada industry akan lebih menguntungkan karena kurva bebannya akan lebih merata. Sedangkan pada beban fasilitas umum lebih dominan pada siang dan malam hari. Beberapa daerah operasi tenaga listrik memberikan ciri tersendiri, misalnya daerah wisata, Pelanggan bisnis mempengaruhi penjualan kWh walaupun jumlah pelanggan bisnis jauh lebih kecil dibanding dengan pelanggan rumah tangga.

#### 2.6.4 Prioritas beban

Dalam sistem tenaga listrik terdapat berbagai macam beban. Beban-beban tersebut memiliki nilai prioritas kebutuhan bagi penggunaannya. Ketika terjadi penurunan frekuensi hal yang dapat di lakukan untuk mengatasinya adalah dengan pelepasan sebagian beban. Pelepasan beban ini di harapkan dapat memperbaiki frekuensi secara cepat tanpa harus merugikan pengguna. Oleh karena itu di lakukan suatu perencanaan untuk menentukan beban mana yang akan di lepas. Pada Gardu Induk Garuda Sakti beban yang di prioritaskan yaitu



pada *feeder* Suka Jaya yang mana terdapat Sumatera Control Center (SCC), Sumatera Control Center (SCC) adalah pusat pengaturan beban sumatera (PT PLN, 2016).

## 2.7 Relay Frekuensi

Penambahan beban secara mendadak akan berdampak pada penurunan frekuensi sistem, begitu pula apabila ada unit pembangkit yang mengalami gangguan dan keluar (trip) dari sistem juga akan berdampak pada penurunan frekuensi (Said, 2009).

Frekuensi merupakan salah satu parameter yang dapat menunjukkan keadaan yang tidak normal pada suatu sistem tenaga listrik. Berkurangnya daya pembangkit akan mengakibatkan turunnya putaran pembangkit dan turunnya frekuensi sistem (Chaerah, 2009), keadaan ini mutlak perlu dihindari sebab akan mengganggu kestabilan dari sistem tenaga listrik, sedangkan jika frekuensi sistem berada jauh diatas nilai yang diizinkan juga akan mengganggu kestabilan sistem tenaga listrik. Permasalahan dapat diatasi dengan memasang pengaman khusus, yaitu relay frekuensi. Relay frekuensi ini berguna untuk menjaga frekuensi sistem tenaga pada suatu nilai yang telah ditentukan. Pada penelitian ini relay yang dibahas adalah *under frequency relay*, yaitu relay yang bekerja ketika terjadi penurunan frekuensi. *Under frequency relay* ini dipasang pada feeder distribusi, feeder yang akan dipasang *under frequency relay* ditentukan sesuai dengan prioritas beban.

Lamanya waktu bekerja Relay dipengaruhi 3 waktu yaitu:

### a. Waktu *Pick-up*

Merupakan waktu yang dibutuhkan Relay untuk mulai bekerja setelah frekuensi turun dari nilai nominalnya.

### b. Waktu Relay

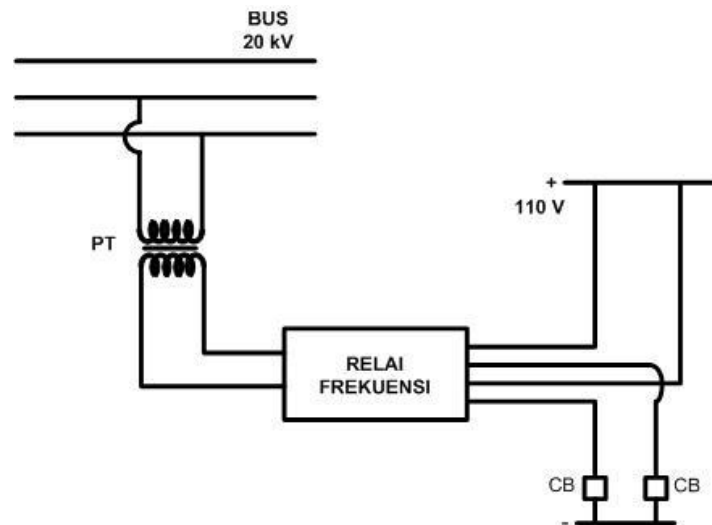
Merupakan waktu yang dibutuhkan Relay untuk menghantarkan sinyal ke pemutus tenaga.

### c. Waktu Pemutus Tenaga

Merupakan waktu yang dibutuhkan pemutus tenaga untuk menerima sinyal dari Relay hingga pemutus tenaga terbuka dan beban yang dihubungkan ke jaringan oleh pemutus tenaga terlepas.

Pembacaan relai frekuensi menggunakan *Potential Transformer* (PT), relai terhubung ke sumber DC, kemudian terhubung ke masing-masing pemutus yang telah diatur terhubung

ke penyulang yang akan dilepas yang telah diatur sebelumnya. Hal ini dapat digambarkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Cara Kerja *Under Frequency Relay*

Sumber: (Nugraheni & Setiabudy, 2011)

Secara umum, prinsip kerja *Under Frequency Relay* dijelaskan sebagai berikut:

1. Relai frekuensi kurang mendapatkan sumber tegangan untuk bekerja melalui sumber tegangan DC sebesar 110Vdc.
2. Apabila terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan frekuensi sistem menurun atau kurang dari 50 Hz, maka relai frekuensi kurang akan membaca penurunan frekuensi tersebut melalui gelombang sinusoidal tegangan yang disuplai dari PT. Gelombang tegangan yang dimaksud adalah banyaknya tegangan 110 Volt yang terjadi selama satu periode gelombang tegangan dalam satu detik.
3. Apabila periode gelombang tegangan tersebut lebih dari 0,02 detik ( $T=1/50\text{Hz}$ ), maka relai frekuensi kurang akan mendeteksi penurunan frekuensi tersebut.
4. Apabila penurunan frekuensi tersebut sudah mencapai *setting* relai frekuensi kurang, maka relai akan bekerja dengan mengaktifkan kontaktor sehingga dapat menyalurkan daya sebesar 110 Vdc dari sumber DC menuju *circuit breaker* yang akan bekerja membuka dan memisahkan penyulang dari sistem.



## 2.8 Perhitungan Waktu Pemulihan Frekuensi Sistem Saat Terjadi Pelepasan Beban

Dengan dilakukan suatu pelepasan beban diharapkan frekuensi generator cepat pulih.

Untuk mendapatkan waktu pemulihan yang diharapkan, perlu diketahui laju pemulihan frekuensi. Untuk menghitung laju pemulihan frekuensi digunakan rumus berikut:

$$\frac{df}{dt} = \frac{f_n}{2H} \times \frac{P_{G0} - (P_{SO} - P_{BR}) - P_B}{P_{G0T} - P_{SO}} \quad (2.3)$$

dengan:

$P_{G0}$  = Daya aktif yang dibangkitkan generator

$P_{G0T}$  = Daya aktif yang dibutuhkan beban

$P_{SO}$  = Kekurangan daya pada sistem

$P_{BR}$  = Beban yang dilepaskan

$H$  = Rata-rata konstanta inersia generator

$P_B$  = Beban sistem

$f_n$  = Frekuensi nominal

Untuk menghitung waktu pemulihan frekuensi maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f_n = f_0 + \frac{df}{dt}t \quad (2.4)$$

dengan:

$f_n$  = Frekuensi yang di harapkan setelah pelepasan beban

$f_0$  = Frekuensi generator ketika terjadi pelepasan beban

$\frac{df}{dt}$  = Laju pemulihan frekuensi

$t$  = Waktu pemulihan yang diharapkan