

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Guna mendukung penulisan tugas akhir ini, digunakan beberapa rujukan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, sebagai berikut :

- 2.1.1 Faishal Adityo (2012) menganalisis Analisa Stabilitas Transien pada Sistem Kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur (Pabrik Kaltim 1) Akibat Pengaktifan Kembali Pembangkit 11 MW. Melalui penelitian ini terjadinya perubahan jumlah daya yang disuplai dari tiap pembangkit pada Pabrik Kaltim 1 akibat pengaktifan kembali pembangkit lama dengan kapasitas daya 11 MW. Pada keadaan Kaltim 1A dan 1B terintegrasi kondisi suplai daya menjadi berbeda dari sebelum adanya integrasi, sehingga saat salah satu pembangkit lepas menyebabkan sistem *under frequency* sehingga memerlukan beberapa tahap pelepasan beban.
- 2.1.2 Aryawa Prasada (2012) menganalisis Studi Stabilitas Transien pada Sistem Kelistrikan PT Chandra Asri akibat Integrasi PLN. Melalui penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa terintegrasinya pembangkit lama dengan PLN yang memiliki mode *swing* dimana hal ini menyebabkan PLN akan memberikan suplai daya yang paling besar pada pabrik. Sehingga diperlukan *load shedding* atau pelepasan beban tahap 1 pada saat lepasnya suplai daya dari PLN yang menyebabkan *under frequency* agar sistem kembali dalam keadaan normal. Kemudian hasil analisis yang Aryawa lakukan didapatkan bahwa sudut

daya dari seluruh kasus masih stabil dan dapat menemukan posisi kesetimbangan yang baru. Posisi sudut rotor untuk masing-masing generator dipengaruhi oleh referensinya yaitu pembangkit *swing*. Naik dan turunnya sudut ditentukan posisi atau besaran awal dari generator terhadap pembangkit *swing*. Karena PLN, merupakan bus *infinite* yang tidak dapat diketahui karakteristik sudut dayanya maka sudut relatif dari generator lain tidak dapat diketahui secara pasti untuk posisi kesetimbangan barunya.

2.1.3 Syahrul Hidayat (2012) melakukan penelitian mengenai Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT Pertamina (Persero) Refinery Unit (RU) VI Balongan. Pada penelitian ini Syahrul melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas transien yang belum dibahas cukup dalam oleh perusahaan tersebut, sehingga perlu dilakukan pengkajian ulang mengenai respon transien yang terjadi dan menentukan skema pelepasn beban yang efektif.

## **2.2 Dasar Teori**

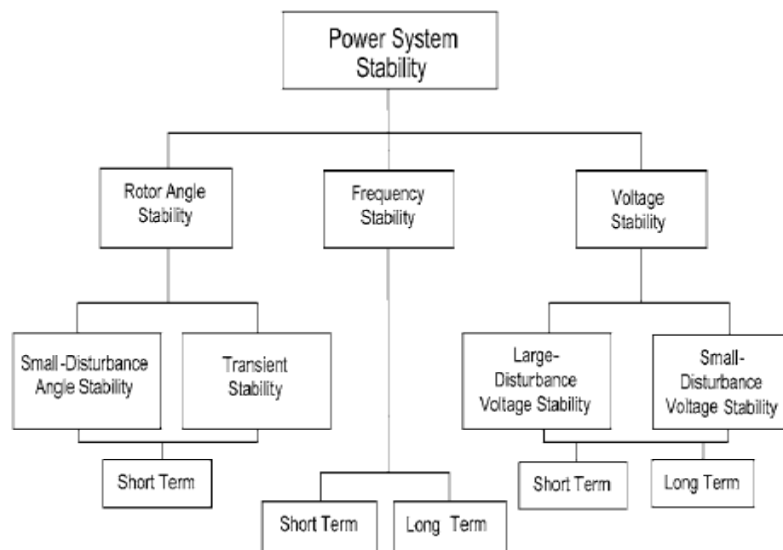
### **2.2.1 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik**

Stabilitas sistem tenaga listrik adalah kemampuan sistem tenaga listrik dengan operasi awal tertentu mendapatkan kembali dan mempertahankan keseimbangan kondisi operasi dalam sistem setelah mengalami gangguan. Batas stabilitas sistem adalah daya-daya maksimum yang mengalir melalui suatu titik dalam sistem untuk mempertahankan ketika keseluruhan sistem tanpa

menyebabkan hilangnya stabilitas pada sistem tenaga listrik tersebut. Gangguan pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua yaitu gangguan kecil dan gangguan besar.

Gangguan kecil dapat berupa perubahan perubahan skema atau jumlah beban yang terjadi secara terus-menerus dan sistem dapat menyesuaikan kondisi tersebut. Selain itu pada gangguan besar dapat berubah gangguang hubung singkat pada saluran transmisi atau dapat juga lepasnya generator pada sistem.

Secara umum stabilitas sistem tenaga listrik dapat dibedakan menjadi kestabilan sudut rotor (*Rotor Angle Stability*), kestabilan tegangan (*Voltage Stability*) dan kestabilan frekuensi (*Frequency Stability*). Klasifikasi pada *Gambar 2.1* merupakan klasifikasi stabilitas sistem berdasarkan lama waktu dan mekanisme terjadinya ketidakstabilan. (Stevenson, 1996)



*Gambar 2.1 Stabilitas Sistem Daya*

Sumber: Stevenson, 1993

### 2.2.1.1 Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor mengacu pada kemampuan mesin sinkron dari sebuah sistem tenaga yang saling berhubungan/ interkoneksi untuk kembali sinkron setelah mengalami gangguan. Untuk kestabilan sudut rotor itu sendiri dibagi dalam dua subkategori, yaitu:

- Stabilitas sudut rotor gangguan kecil atau sinyal kecil

Untuk stabilitas ini berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisme di dalam gangguan kecil. Stabilitas ini tergantung pada operasi awal keadaan dari sistem. Ketidakstabilan yang dihasilkan bisa menjadi dua bentuk: peningkatan sudut rotor melalui modus nonoscillatory atau aperiodic karena kurangnya sinkronisasi torsi atau peningkatan amplitudo osilasi rotor karena kurangnya redaman torsi yang cukup.

- Stabilitas sudut rotor gangguan besar atau stabilitas transien

Stabilitas ini mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisme saat mengalami gangguan parah, seperti *shortcircuit* pada saluran transmisi. Respon sistem yang dihasilkan melibatkan besarnya penyimpangan sudut rotor generator dan dipengaruhi oleh ketidaklinieran hubungan sudut-daya. Hal ini tentu berkaitan dengan bagaimana kemampuan dari mesin sinkron tersebut untuk menjaga ataupun

mengembalikan kesetimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik. (Kundur, 1994)

### **2.2.1.2 Stabilitas Tegangan**

Stabilitas tegangan mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan-tegangan yang stabil pada semua bus dalam sistem setelah mengalami gangguan dari kondisi operasi yang diberikan awal. Stabilitas tegangan juga dibagi dalam dua subkategori, yaitu:

- Stabilitas tegangan gangguan besar

Stabilitas ini mengacu pada kemampuan sistem untuk mempertahankan tegangan agar tetap stabil ketika ada gangguan yang besar seperti kesalahan sistem, kehilangan pembangkit, atau segala kemungkinan darurat yang terjadi pada saluran.

- Stabilitas tegangan gangguan kecil

Stabilitas ini mengacu pada kemampuan sistem untuk mempertahankan tegangan stabil ketika mengalami gangguan kecil seperti perubahan penambahan dalam beban sistem. (Kundur, 1994)

### 2.2.1.3 Stabilitas Frekuensi

Stabilitas frekuensi mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi stabil ketika sistem terjadi ketidakseimbangan yang signifikan antara pembangkit dan beban. Stabilitas frekuensi dapat bersifat jangka pendek dan jangka panjang. Untuk jangka pendek dapat berupa pembentukan dari sebuah sistem wilayah dengan kondisi undergenerasi yang mempunyai pemutusan beban atau *load shedding* yang kurang sehingga mengakibatkan frekuensi runtuh dengan cepat dan terjadi *blackout* pada wilayah itu dalam beberapa detik. Untuk jangka panjang merupakan situasi yang lebih kompleks dimana ketidakstabilan dapat disebabkan oleh kontrol-kontrol *overspeed* turbin uap atau boiler / perlindungan dan kontrol-kontrol reaktor dengan jangka waktu dari puluhan detik hingga beberapa menit (Kundur, 1994)

### 2.2.2 Stabilitas Transien

Stabilitas transien adalah keadaan sistem dalam mempertahankan sinkronisasi setelah terjadinya gangguan besar yang sifatnya secara tiba-tiba selama sekitar satu ayunan dengan mengasumsikan *Automatic Voltage Regulator (AVR)* dan governor belum bekerja. Pendekatan non-linier digunakan dalam menganalisis stabilitas transien.

Masalah kestabilan dengan gangguan besar tidak lagi dapat dikerjakan dengan proses linear, sehingga dengan menggunakan persamaan tidak linear

differential dan aljabar dibutuhkan dalam menyelesaikan analisis tersebut melalui proses iterasi.

Masalah kestabilan dibagi menjadi dua yaitu *first swing* dan *multi swing*. Kesabilan first swing dimodelkan dalam model generator yang sederhana tanpa memasukan sistem pengaturan generator tersebut. Waktu yang diperhatikan disini adalah ayunan pertama setelah gangguan. Pada saat generator atau mesin dalam kondisi serempak sebelum detik pertama, maka sistem dikatakan stabil. Kemudian masalah kestabilan *multiswing* mencakup waktu yang lebih lama dan harus memperhatikan pengaturan pada generator.

Dalam studi kestabilan, tujuan pemodelan adalah untuk menentukan rotor-rotor mesin yang terganggu dapat kembali ke keadaan kerja dengan kecepatan konstan atau tidak. Hal ini berarti bahwa kecepatan rotor akan menyimpang dari kecepatan serempak, setidak-tidaknya untuk sementara waktu. Untuk memudahkan perhitungan, pada studi-studi kestabilan diumpakan menjadi tiga buah pengandaian, yaitu:

1. Pada kumparan stator dan sistem daya, hanya memperhitungkan arus, tegangan dan frekuensi. Oleh karena itu, arus dc dan komponen-komponen harmonisa diabaikan.
2. Komponen-komponen simetris digunakan dalam repressentasi gangguan-gangguan tidak seimbang
3. Tegangan yang dibangkitkan dianggap tidak berpengaruh terhadap perubahan kecepatan mesin. (Kundur, 1994)

### 2.2.2.1 Konstanta Inersia

Dalam data mesin untuk kestabilan transien terdapat suatu konstanta yang sering dijumpai yaitu konstanta inersia mesin ( $H$ ) dengan satuan kW.s/kVA. Konstanta  $H$  dapat didefinisikan sebagai (Lokay dan Burtnyk, 1968):

$$H = \frac{\frac{1}{2}J\omega^2}{S} \dots\dots\dots(2)$$

$H$  = Konstanta inersia mesin (kW.s/kVA)

$\frac{1}{2} J\omega^2$  = Energi kinetik tersimpan (kW.s)

$S$  = Daya mesin (kVA)

Untuk sistem mesin majemuk dalam suatu sistem, dalam menentukan konstanta inersia sistem dapat dihitung dengan cara :

$$H_{net} = \frac{H_1 MVA_1 + H_2 MVA_2 + H_3 MVA_3 \dots H_n MVA_n}{MVA_1 + MVA_2 + MVA_3 \dots MVA_n} \dots\dots\dots(3)$$

### 2.2.3 Gangguan Beban Lebih (*Overload*)

Keluarnya generator yang dapat mensuplai daya yang sangat besar terhadap beban yang ada menyebabkan terjadinya beban lebih sehingga dapat mengakibatkan jumlah beban yang disuplai tidak sebanding dengan daya pembangkitan. Akibat yang dapat terjadi adalah menurunnya frekuensi generator dari waktu ke waktu dan hal ini tidak diperbolehkan terjadi karena dapat mengganggu kinerja generator. (Gunadin, 2009)



### 2.2.3.1 Akibat Beban Lebih pada Sistem Tenaga Listrik

Beban lebih dapat mempengaruhi adanya perbedaan permintaan daya beban dengan daya yang dibangkitkan generator sehingga dapat menyebabkan beberapa hal, diantaranya:

- a. Penurunan tegangan (*Undervoltage*)
- b. Penurunan frekuensi (*Underfrequency*)

Komponen pada sistem tenaga listrik memiliki spesifikasi keamanan dengan batas atas dan batas bawah yang berkaitan dengan tegangan. Parameter tegangan ini berkaitan dengan pengaruh ketidakstabilan dan kualitas tegangan yang dapat menyebabkan rusaknya peralatan

Sebagian besar pada beban-beban di sistem tenaga listrik memiliki sifat tertinggal pada faktor daya sehingga dibutuhkan suplai daya reaktif yang dapat mengimbangnya. Ketika terjadi gangguan pada salah satu generator dalam sistem interkoneksi maka generator lain akan mengalami keadaan beban lebih. Sehingga kebutuhan daya reaktif pun akan semakin meningkat juga. Tingginya permintaan daya reaktif menyebabkan menurunnya tegangan pada sistem dan hal ini tentu tidak aman bagi generator yang masih beroperasi.

Oleh karena itu diperlukan suatu penyelesaian masalah yang dapat mengimbangi permintaan daya pada beban dengan daya pembangkitan yaitu

dengan pelepasan beban atau *load shedding*. Namun penurunan tegangan juga dapat diakibatkan oleh gangguan lain seperti hubung singkat. Oleh karena itu, parameter yang lebih baik dalam penentuan pelepasan beban adalah penurunan frekuensi sistem. (Hidayat dan Irfan, 2004)

Setiap generator memiliki spesifikasi yang berkaitan dengan frekuensi kerja yang diizinkan dengan waktu operasi dari frekuensi kerja tersebut. Penurunan frekuensi yang diakibatkan adanya *overload* akan membahayakan generator dalam beroperasi. Pemadaman total dapat terjadi apabila terdapat laju penurunan frekuensi yang sangat tajam. Apabila laju frekuensi yang terjadi tidak terlalu tajam maka dapat dilakukan pelepasan beban segera. (ANSI/IEEE Std. C.37.117-2007).

### **2.2.3.2 Penanggulangan Untuk Gangguan Beban Lebih**

Sistem tenaga listrik harus memiliki jumlah daya yang sama dengan permintaan daya pada beban termasuk dengan rugi-rugi daya yang dapat terjadi pada sistem tenaga listrik. Namun akan lebih baik apabila sistem pembangkitan memiliki cadangan daya (*spinning reserve*). Sehingga, ketika sistem pembangkitan tidak lagi dapat memenuhi kebutuhan daya dari beban akibat lepasnya generator dari sistem, maka frekuensi akan turun secara terus menerus atau putaran pada generator akan semakin lambat karena beban yang ditanggung generator cukup besar

Penurunan frekuensi yang dibiarkan terus menerus akan dapat mengakibatkan terjadinya pemadaman total atau *black out* pada sistem tenaga

listrik. Untuk dapat menghindari kerusakan sistem pembangkitan, hal yang perlu dilakukan untuk mengatasi hal ini yaitu: (ANSI/IEEE Std C37.102-1995).

a. Memaksimalkan daya pembangkitan yang masih beroperasi

Memaksimalkan daya pembangkitan generator yang masih beroperasi adalah dengan menggunakan cadangan daya yang masih belum digunakan dengan cara pengaturan pada governor.

b. Pelepasan beban

Ketika terjadi beban lebih atau *overload* pada sistem tenaga listrik dengan keadaan sistem telah menggunakan cadangan dayanya, diperlukan pelepasan beban untuk dapat memulihkan frekuensi kembali normal. Pelepasan beban ini dilakukan secara bertahap sesuai dengan tingkat penurunan frekuensi

c. Pemisahan sistem (*Islanding*)

Penurunan frekuensi yang sangat drastis yang disebabkan kelebihan beban yang sangat besar sehingga pelepasan beban tidak lagi mampu mengatasi kelebihan beban tersebut. Maka yang paling mungkin dilakukan sebelum dilakukannya pemadaman total adalah memisahkan sistem pembangkit dan beban yang masih mampu untuk disuplai ke dalam bagian kecil. Hal ini bertujuan untuk menyelamatkan sistem tenaga listrik yang masih beroperasi. (Hidayat dan Irfan, 2004)

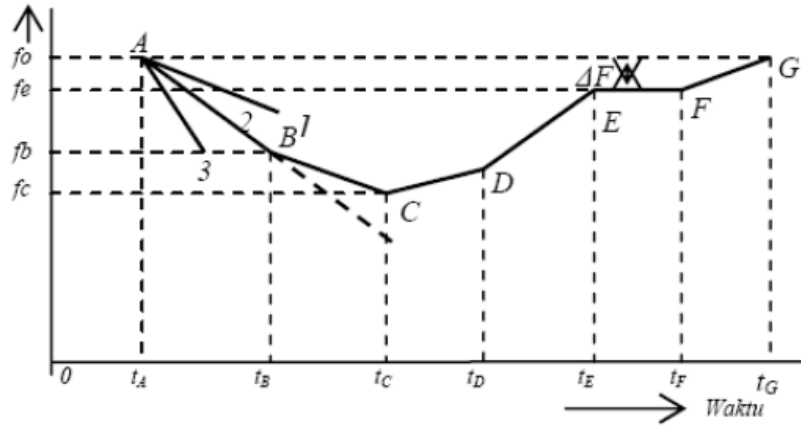
#### 2.2.4 Pelepasan Beban

Pelepasan beban adalah salah satu kejadian pada sistem tenaga listrik yang mengizinkan adanya beberapa beban untuk keluar dari sistem sehingga kestabilan sistem dapat tercapai. Tentu pelepasan beban biasanya diakibatkan adanya beban lebih, sehingga untuk mengembalikan parameter-parameter yang mengalami gangguan diperlukan pelepasan beban untuk dapat kembali normal.

Ketidaknormalan yang terjadi disebabkan terjadinya beban lebih yang pada umumnya disebabkan oleh beberapa hal, antara lain:

- a. Terdapat generator yang lepas dari sistem sehingga generator yang masih beroperasi menanggung daya yang seharusnya disuplai generator yang lepas tersebut.
- b. Gangguan pada transmisi sehingga beban yang disuplai melalui transmisi tersebut tidak mendapat pasokan daya oleh generator

Ketika terjadi *overload* yang diakibatkan lepasnya generator dari sistem sehingga menyebabkan daya tidak seimbang, maka untuk mencegah terjadinya *black out* pada sistem diperlukan pelepasan beban. Kondisi dimana generator lepas dari sistem dapat dideteksi dengan terjadinya penurunan frekuensi pada sistem.



Gambar 2.2 Grafik Perubahan Frekuensi

Sumber: Andy, 2012

Berdasarkan pada Gambar 2.2 dapat diketahui bahwa apabila ketika terjadi penurunan frekuensi yang mengikuti garis 2, setelah mencapai titik B maka terjadi pelepasan beban tahap pertama sesuai dengan pengaturan  $fb$  dan kemudian sampai pada tahap selanjutnya berdasarkan besarnya perubahan atau penurunan frekuensi yang terjadi. Pada titik G dapat dikatakan frekuensi kembali pada kondisi normal atau telah mencapai kestabilan setelah melalui pelepasan beban beberapa tahap. Penurunan frekuensi pada Gambar 2.2 dapat mengikuti garis 1, 2 dan 3. Semakin besar uni pembangkit atau generator yang lepas dari sistem maka semakin besar juga penurunan frekuensi yang terjadi. Selain laju penurunan frekuensi sebagai parameter pelepasan beban, tegangan juga dapat digunakan.

Penurunan daya reaktif akan mengakibatkan terjadinya penurunan tegangan juga. Penurunan tegangan ini dapat diatasi dengan melakukan pelepasan sistem yang terganggu dengan koordinasi peralatan proteksi, tap trafo hingga melepas reactor shunt dan penggunaan kapasitor. (Andy, 2012).

#### **2.2.4.1 Perancangan Skema Pelepasan Beban**

Beberapa syarat yang dapat digunakan sebagai parameter dalam melakukan pelepasan beban harus dipenuhi agar tidak mengganggu sistem dengan menimbulkan permasalahan baru bagi sistem tenaga listrik. Syarat tersebut yaitu:

- a. Jumlah beban yang dilepaskan sebaiknya dilakukan seminimal mungkin sesuai dengan kebutuhan suplai daya dari sistem pembangkit dalam hal memperbaiki frekuensi
- b. Pelepasan beban harus dilakukan secara bertahap sesuai dengan besarnya penurunan frekuensi yang terjadi. Tujuannya adalah apabila tahap pertama frekuensi masih juga belum pulih maka pelepasan tahap berikutnya dapat dilakukan
- c. Pelepasan beban yang dilakukan harus memperhatikan prioritas dalam prosesnya. Prioritas terendah menjadi yang pertama dalam proses pelepasan beban apabila terjadi beban lebih.

- d. Diperlukan waktu tunda rele sehingga pelepasan beban yang dilakukan tepat guna untuk mendeteksi penurunan frekuensi akibat lepasnya generator dari sistem atau karena hal lain

#### **2.2.4.2 Pelepasan Beban Secara Manual**

Pelepasan beban yang dilakukan secara manual ketika sistem mengalami kelebihan beban akibat kekurangan suplai daya menuju beban pada unit generator. Pelepasan beban secara manual ini dilakukan untuk menghindari adanya pelepasan beban yang lebih besar akibat bekerjanya UFR. Besarnya beban yang dilepas pada saat itu ditentukan berdasarkan kebutuhan beban pada saat itu juga. (Hidayat dan Irfan, 2004).

#### **2.2.4.3 Pelepasan Beban Secara Otomatis**

Pelepasan beban secara otomatis terjadi apabila generator lepas dari sistem atau terjadi gangguan suplai daya secara tiba-tiba sehingga suplai daya tidak dapat menyeimbangkan kebutuhan daya melalui pelepasan beban secara manual. Pelepasan beban ini dilakukan berdasarkan perubahan atau penurunan frekuensi sistem dengan menggunakan UFR (Under Frequency Relay). (Hidayat dan Irfan, 2004)

### **2.2.5 Penurunan Frekuensi Akibat Beban Lebih**

Pada saat terjadi pembebanan atau generator dalam suatu interkoneksi yang plaps dari sistem, secara otomatis beban yang ditanggung generator yang masih beroperasi akan semakin besar. Dengan demikian torsi beban generator yang masih beroperasi akan bertambah besar. Peningkatan torsi tersebut akan diimbangi dengan peningkatan pada kopel mekanis dengan melakukan penaturan pada governor untuk dapat mempertahankan frekuensi kerja sistem.

Namun, ketika governor telah dibuka untuk mengimbangi kebutuhan suplai daya untuk mengalirkan sumber energi menuju turbin, kopel penggerak mengalami kekurangan dari torsi beban. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya frekuensi turun. Untuk dapat mengurangi torsi beban maka yang dilakukan adalah pelepasan beban.

#### **2.2.5.1 Laju Penurunan Frekuensi**

Penurunan frekuensi pada sistem tenaga listrik dapat disebabkan dengan adanya lepasnya generator dari sistem yang berkapasitas cukup besar atau juga dapat terjadi akibat adanya gangguan hubung singkat. Hubung singkat dapat menyebabkan turunnya frekuensi secara singkat kemudian frekuensi dapat kembali pulih melalui bantuan governor. Sedangkan penurunan frekuensi akibat adanya generator lepas dari sistem diperlukan pelepasan beban dengan rumus:



$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{Ps}{2GH_{net}} \right) \times f_0 \dots \dots (4)$$

Dimana:

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

$Ps$  = Beban lebih

$G$  = Rata-rata MVA generator

$H_{net}$  = Rata-rata konstanta inersia generator

$f_0$  = Frekuensi nominal

### 2.2.5.2 Frekuensi Pelepasan Beban

Pelepasan beban yang diakibatkan adanya penurunan frekuensi, dapat dideteksi dengan UFR atau *Under Frequency Relay*. Kondisi tersebut selanjutnya dikirimkan menuju pemutus tenaga atau CB sehingga terjadi pelepasan beban yang diinginkan. Agar pelepasan beban berjalan sesuai dengan skema pelepasan beban yang dibuat, maka diperlukan pengaturan pada rele. Beberapa parameter tersebut anatar lain: (ANSI/IEEE Std. C.37.117-2007).

- a. Frekuensi kerja rele (pick-up)
- b. Waktu tunda rele
- c. Koordinasi dengan CB

Pada saat dilakukannya pelepasan beban, diharapkan tidak terjadinya pelepasan beban secara berlebihan karena hal ini akan merugikan pembangkitan ataupun pengguna. Oleh karena itu, diperlukan pelepasan beban secara bertahap untuk menghindari hal tersebut. Tahapan tersebut diatur dalam UFR.

UFR membutuhkan waktu dalam menanggapi sinyal gangguan penurunan frekuensi untuk dapat memastikan bahwa penurunan disebabkan oleh adanya kelebihan beban. Frekuensi pelepasan beban dapat diketahui melalui rumus: (Lokay dan Burtnyk, 1968):

$$f_{load\ shedding} = \left[ f_0 - \frac{df}{dt}(t_{trip}) \right] \dots \dots (5)$$

Dimana:

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

$f_{load\ shedding}$  = Frekuensi pelepasan beban

$t_{trip}$  = Waktu rele

$f_0$  = Frekuensi nominal

### 2.2.5.3 Laju Pemulihan Frekuensi

Pelepasan beban memerlukan keefektifan dalam melepaskan beban, sehingga diperlukan terlebih dahulu menghitung laju pemulihan frekuensi yang diharapkan ketika pelepasan beban dilakukan serta waktu pemulihan yang diinginkan. Laju pemulihan frekuensi dapat dihitung dengan rumus: (Lokay dan Burtnyk, 1968):

$$f_0 = f + \frac{df}{dt} t \dots \dots (6)$$

Dimana:

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

$f_0$  = Frekuensi pelepasan beban

$t$  = Waktu pemulihan yang diharapkan

$f$  = Frekuensi nominal

Untuk menghitung laju pemulihan frekuensi yang diinginkan maka dapat menggunakan persamaan *swing* generator sebagai berikut (Lokay dan Burtnyk, 1968):

$$\frac{df}{dt} = \frac{P_{gen}(P_{load}-P_{load\ shedding})}{2GH_{net}} \times f_0 \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

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

$P_{gen}$  = Daya aktif generator

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

$P_{load\ shedding}$  = Daya aktif beban yang harus dilepas

## 2.2.6 Standar pada Stabilitas Transien

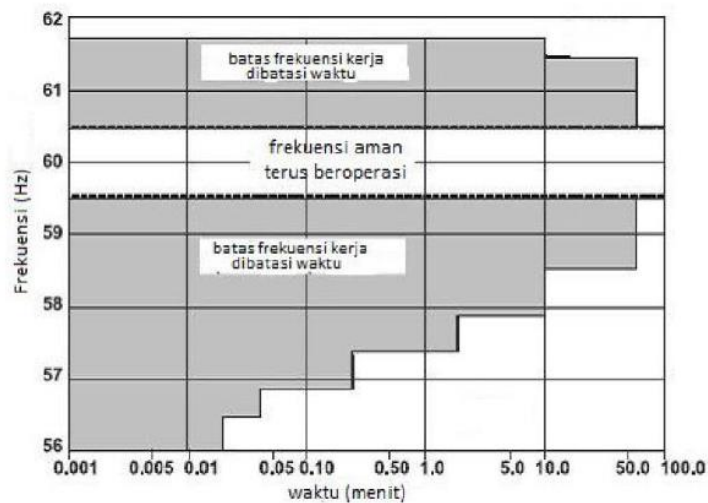
### 2.2.6.1 Standar Frekuensi Kerja Generator

Satu peralatan listrik memiliki standar operasi tertentu yang berkaitan dengan parameter kerja peralatan tersebut sehingga sistem tenaga listrik dapat berjalan dengan baik. Tidak berbeda dengan generator yang berfungsi sebagai merubah energi gerak menjadi energi listrik. Agar unjuk kerja dan lama waktu operasi generator sesuai dengan yang dianjurkan pabrik, maka generator memiliki batas operasi berkaitan dengan parameter frekuensi kerja. Setiap pembangkit memiliki karakteristik sendiri bergantung terhadap energi primer yang digunakan pada pembangkit tersebut. Seperti misalnya PLTG menggunakan turbin dan PLTA menggunakan turbin hidro.

Generator turbin gas tersebut memiliki karakteristik frekuensi kerja 60 Hz dan waktu operasi yang telah diatur pada standar IEEE C37.106-1987 atau C37.106-2003 mengenai frekuensi abnormal yang diizinkan.

Namun standar tersebut juga dapat digunakan bagi generator atau sistem tenaga listrik yang menggunakan frekuensi kerja 50 Hz dengan menyesuaikan persentase kurva abnormal frekuensi pada 60 Hz.

Ketika generator lepas dari sistem, maka akan menyebabkan suplai daya generator mengalami defiti daripada kebutuhan beban. Untuk menghindari hal tersebut diperlukan pelepasan beban sebelum terjadinya *black out*. Standar frekuensi abnormal generator turbin gas dan waktu operasi yang diizinkan dapat dilihat pada Gambar 2.3 :



Gambar 2.3 Standar Frekuensi Generator Turbin Gas

Sumber: ANSI/IEEE C37-106-2003

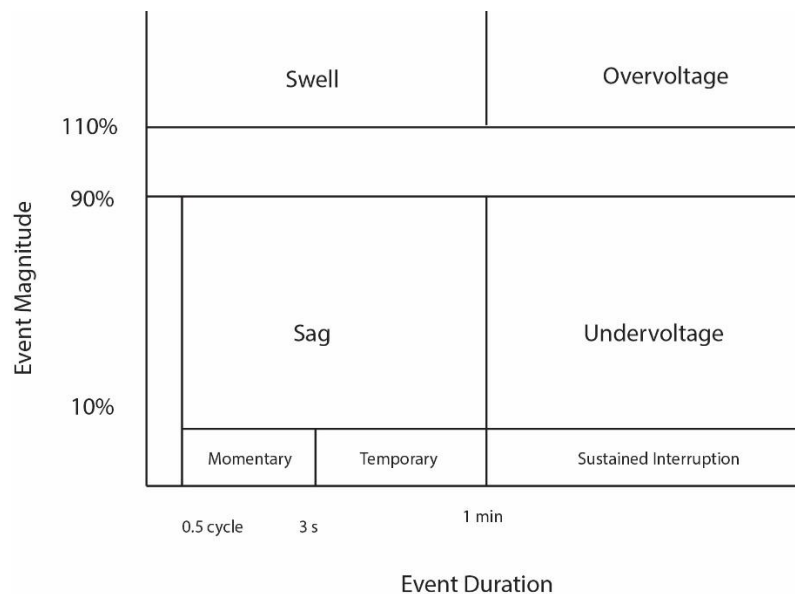
Berdasarkan standar IEEE C.37-106-1987 dan C.37-106-2003 frekuensi yang diizinkan pada frekuensi kerja 60 Hz adalah 59,5 Hz dan 60,5 Hz. Pada saat generator bekerja pada frekuensi diluar batas itu, maka terdapat batas waktu operasi yg diizinkan.

### 2.2.6.2 Tegangan Rendah

Tegangan rendah berdasarkan Standar IEEE 1159-1995 didefinisikan sebagai gejala penurunan tiba-tiba tegangan rms. Tegangan rendah disebabkan oleh terutama oleh hubung singkat, *starting* motor dan kegagalan pada peralatan. Menurut standar IEEE 1159-1995 jatuh tegangan dibagi menjadi 2 menurut lama waktu terjadinya jatuh tegangan tersebut, yaitu tegangan kedip dan jatuh tegangan itu sendiri.

- **Standar Undervoltage**

Berdasarkan standar IEEE 1159-1995, tegangan rendah terjadi dalam rentang waktu lebih dari 1 menit dengan ketentuan standar tidak mencapai kurang dari 90 % dari tegangan nominalnya masih dapat terus dikatakan aman dalam beroperasi.



Gambar 2.4 Jenis-jenis Gangguan Tegangan

Sumber: IEEE 1159-1995

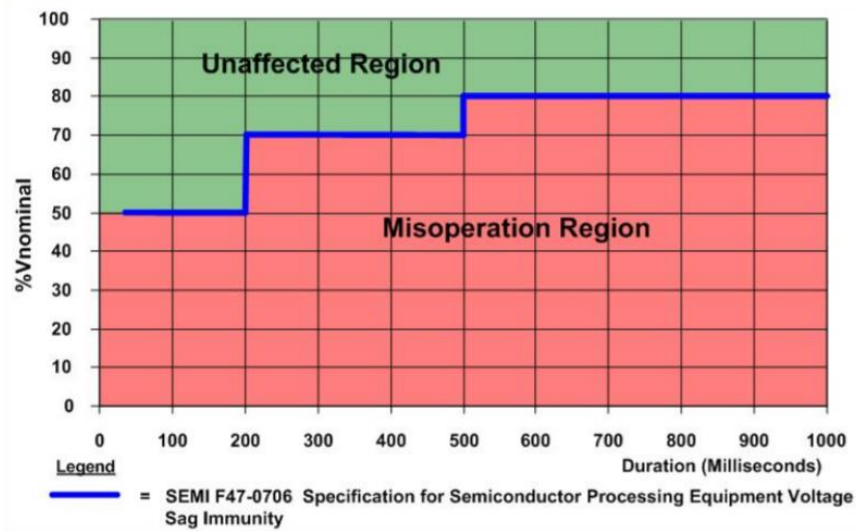
- **Standar Voltage Sagging**

Didalam suatu proses manufacturing tentu akan memerlukan biaya yang tidak murah. Gangguan yang terjadi didalamnya tentu juga akan menyebabkan pengeluaran biaya yang mahal. Diantara gangguan tersebut antara lain adalah voltage sag atau disebut dengan tegangan kedip. Disebut dengan tegangan kedip karena kejadiannya terjadi dengan rentang waktu yang sangat cepat. Menurut standar IEEE 1159-1995, tegangan kedip dibagi menjadi 2 berdasarkan lama waktunya. Apabila terjadi dalam lama waktu antara 0.5 cycle sampai 3 detik dikatakan tegangan kedip *Momentary*. Sedangkan bila terjadi dalam waktu antara 3 detik sampai 1 menit maka dikatakan tegangan kedip *Temporary*. *Voltage sagging* ini didefinisikan sebagai menurunnya besar tegangan dibawah 90% dari tegangan nominal. Durasi gangguan voltage sagging ini dari 3 sampai 10 cycle atau 50 sampai 137 milisecond. Berdasarkan standar SEMI F47, waktu yang diperbolehkan pada persen tegangan nominal yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut (SEMI F47):

Tabel 2.1 Durasi dan Persen Deviasi Tegngan Kedip

<b>VOLTAGE SAG DURATION</b>				<b>VOLTAGE SAG</b>
Second (s)	Milliseconds (ms)	Cycles at 60 hz	Cycles at 50 hz	Percent (%) of Equipment Nominal Voltage
<0.05 s	<50 ms	<3 cycles	<2.5 cycles	Not specified
0.05 to 0.2 s	50 to 200 ms	3 to 12 cycles	2.5 to 10 cycles	50%
0.2 to 0.5 s	200 to 500 ms	12 to 30 cycles	10 to 25 cycles	70%
0.5 to 1.0 s	500 to 1000 ms	30 to 60 cycles	25 to 50 cycles	80%
>1.0 s	>1000 ms	>60 cycles	>50 cycles	Not specified

Berdasarkan standar SEMI F47 diatas diketahui bahwa untuk frekuensi nominal 60Hz dan 50 Hz memiliki batas rentang waktu yang berbeda saat terjadi *voltage sagging*. Gambar 2.6 dapat menggambarkan batas waktu yang diizinkan ketika terjadi *voltage sagging*.



Gambar 2.5 Kurva Kapabilitas Tegangan Kedip Standar SEMI F47

Sumber: Standar SEMI F47