

SISTEM PROTEKSI RELE FREKUENSI PADA GENERATOR PT. PUPUK SRIWIJAYA

MARLIYUS SUNARHATI

*Dosen Tetap Yayasan Perguruan Tinggi Palembang
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang
e-mail : marliyussunarhati@gmail.com*

ABSTRAK

Pada sistem tenaga listrik, frekuensi berfungsi sebagai indikator dari keseimbangan antara daya yang dibangkitkan dengan total beban. Maka dari itu dibutuhkan rele frekuensi untuk mendeteksi nominal frekuensi berada dalam batas yang diperbolehkan. Penelitian ini bertujuan mengetahui sistem kerja rele frekuensi, perhitungan penyetelan rele frekuensi, mengetahui besar perubahan frekuensi dan kapan rele frekuensi bekerja. Saat operasi normal, rele frekuensi dalam kondisi *standby*. Apabila saat dimonitor nilai frekuensi lebih besar atau lebih kecil dari nilai *setting* maka alarm rele akan aktif dan mengaktifkan lampu tanda pada *switch gear* dan *synbus*. Dan nilai frekuensi gangguan akan di kirim ke *breaker*. *Breaker* akan melepaskan beban. Hasil perhitungan menunjukkan penyetelan rele frekuensi turun 47,5 Hz. Rele frekuensi naik 52,5 Hz dengan waktu tunda 0,5 detik. Perubahan frekuensi pada nilai tertinggi ialah $-7,67 \text{ Hz/s}$ dengan nilai frekuensi pelepasan beban sebesar 45,39 Hz dibawah nilai *setting*. Perubahan frekuensi dengan nilai terendah ialah $-4,12 \text{ Hz/s}$ dengan nilai frekuensi pelepasan beban sebesar 47,52 Hz. Rele Frekuensi akan bekerja mengamankan generator ketika selisih beban dan daya yang dibangkitkan minimal sebesar 21,6 MW.

Kata kunci : Frekuensi, Rele Frekuensi dan Pelepasan Beban

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada system tenaga listrik, frekuensi berfungsi sebagai indikator dari keseimbangan antara daya yang dibangkitkan dengan total beban sistem. Frekuensi akan bergerak naik apabila terjadi kelebihan pembangkitan, begitu juga sebaliknya frekuensi akan turun apabila kekurangan daya pembangkitan atau terjadi kelebihan beban. Penurunan frekuensi yang besar dapat mengakibatkan kegagalan system secara keseluruhan. Oleh karena itu, nominal frekuensi harus selalu berada dalam batas yang diperbolehkan. (Kris Hydroseptian. 2013)

Pada system tenaga listrik yang mengalami gangguan karena lepasnya (trip) unit generator yang besar dapat mengurangi aliran daya aktif yang mengalir ke beban, sehingga menyebabkan generator-generator yang lain dipaksa bekerja. Jika hal ini berlangsung terus menerus dapat menyebabkan kerusakan. Untuk itu diperlukan Rele Frekuensi yang berfungsi untuk mendeteksi penurunan frekuensi system secara tiba-tiba akibat adanya unit pembangkit besar yang lepas dari sistem. (Kris Hydroseptian. 2013)

Telah kita ketahui bahwa PT. Pupuk Sriwijaya, sebagai industri pupuk terbesar di nusantara, Maka dari itu untuk, menjaga kualitas energi listrik yang dihasilkan agar kegiatan di PT. Pupuk Sriwijaya tetap berjalan sebagaimana mestinya maka penggunaan rele frekuensi sangatlah berpengaruh dalam menjaga dan mempertinggi keandalan sistem pembangkitan energi tersebut. (Nugraheni Ari. 2011)

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai Nilai Penyetelan Rele Frekuensi dan Sistem Kerja Rele Frekuensi di PT Pupuk Sriwijaya.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini ditulis dengan tujuan :

- a. Untuk mengetahui Sistem Kerja Rele Frekuensi dalam mengamankan generator.
- b. Untuk mengetahui besar nilai penyetelan pada rele frekuensi.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

- a. Dapat mengetahui Sistem Kerja Rele Frekuensi dalam mengamankan generator.
- b. Dapat menghindari generator bekerja diatas atau dibawah nilai *setting* Rele Frekuensi.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Hanya membahas pada Sistem Proteksi Rele Frekuensi Sebagai Pengaman Pada Generator

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator⁵

Generator merupakan suatu mesin listrik yang mampu mengubah energi kinetik menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnet. Generator yang umum digunakan oleh pembangkit listrik adalah generator sinkron. Pemilihan generator sinkron sebagai pembangkit tenaga listrik disebabkan oleh karakteristik mesinnya yang mampu menghasilkan tegangan relatif konstan.⁽⁵⁾

2.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron⁸

Prinsip kerja generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik. Setelah rotor diputar oleh penggerak mula (*prime over*) dengan demikian kutub-kutub yang ada pada rotor akan berputar. Jika kumparan kutub disuplai oleh tegangan searah maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet (garis-garis gaya magnet) yang berputar kecepatannya sama dengan putaran kutub.

Berdasarkan Hukum Faraday apabila lilitan penghantar atau konduktor diputar memotong garis-garis gaya magnet yang diam atau lilitan yang diam dipotong oleh garis-garis gaya magnet yang berputar maka pada penghantar tersebut timbul EMF (*Electro Motive Force*) atau GGL (*Gaya Gerak Listrik*) atau tegangan induksi.⁽⁸⁾

2.3 Sistem Proteksi⁷

Proteksi terhadap tenaga listrik ialah system pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik, yang terpasang pada system tenaga listrik tersebut. Misalnya Generator, Transformator, Jaringan transmisi/distribusi dan lain-lain terhadap kondisi operasi abnormal dari system itu sendiri atau mengalami gangguan. Seperti yang telah dijelaskan gangguan-gangguan pada generator.⁽⁷⁾

2.4 Andal/reliability

Keandalan relay dihitung dengan jumlah relay bekerja/mengamankan cukup baik bila mempunyai harga :90% - 99%. Misal, dalam satu tahun terjadi gangguan sebanyak 25 X dan relay dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 23 kali, maka:

$$\text{keandalan relay} = \frac{23}{25} \times 100\% = 92\%$$

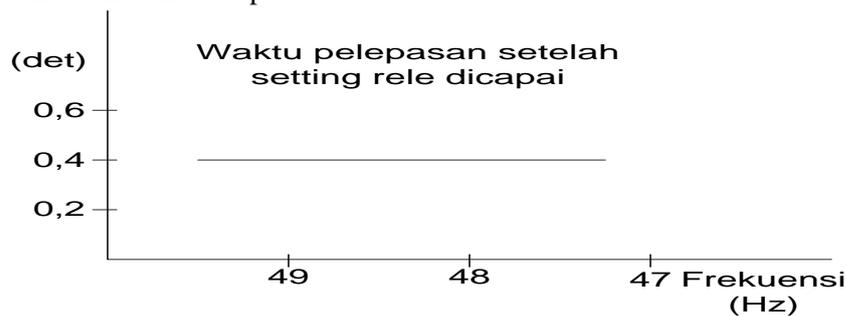
Keandalan dapat di bagi 2 :

- 1) *Dependability* : relay harus dapat diandalkan setiap saat.
- 2) *Security* : tidak boleh salah kerja/ tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja.

2.5. Rele Frekuensi dengan penyetelan frekuensi⁴

2.5.1. Kelambatan waktu yang tetap

Rele Frekuensi Kurang yang bekerja atas dasar frekuensi, diset pada suatu harga frekuensi dibawah normal tertentu dan akan memberikan perintah kepada bagian kendali yang biasanya berupa rele bantu (*auxiliary relay*), segera apabila frekuensi sistem turun dan mencapai harga settingnya. Selanjutnya rele bantu akan menentukan waktu kapan perintah pelepasan pemutus daya dilaksanakan. misalnya rele frekuensi kurang diset pada frekuensi 48,5 Hz. Pelepasan pemutus daya baru dilakukan 0,5 detik kemudian, dari sejak rele utama merasakan frekuensi sistem pada harga settingnya. Pada waktu pelepasan beban terjadi frekuensi sistem telah turun dan mencapai harga di bawah 48,5 Hz jadi rele ini waktu kerjanya tidak dipengaruhi oleh kecepatan penurunan frekuensi. Pada gambar 2.9 dapat dilihat suatu contoh karakteristik rele dengan kelambatan waktu tetap.⁽⁴⁾

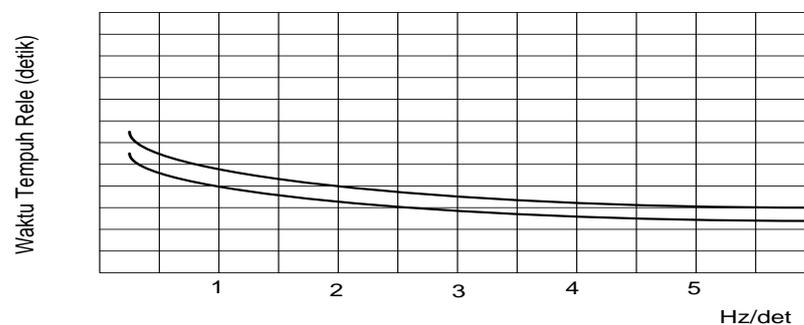


Gambar 2.9. Karakteristik rele kelambatan waktu tetap⁴

2.5.2. Keterlambatan waktu pada laju perubahan frekuensi⁴

Rele frekuensi yang bekerja atas dasar frekuensi dan laju perubahan frekuensi disamping mengukur frekuensi juga laju penurunan frekuensi. Artinya bagian kontrol mengatur kelambatan waktu pemutusan sebagai fungsi dari laju perubahan frekuensi. Makin cepat penurunan frekuensi, maka makin cepat waktu kerja rele. waktu kerja relenya dapat dilihat pada karakteristik rele tersebut. Pada gambar 2.10 diberikan salah satu contoh karakteristik rele tersebut yang menunjukkan hubungan waktu kerja rele dengan laju perubahan frekuensi. Sedangkan untuk kelebihan beban yang besar, misalnya 50% pada 48,5 Hz memberi laju penurunan frekuensi yang tinggi. Hal ini memberi kelambatan waktu yang lebih singkat, sehingga bagian kendali akan memberi perintah pelepasan beban lebih cepat. Beberapa kekurangan dalam penggunaan rele jenis ini antara lain :

- Penetapan setting frekuensi yang lebih sukar
- Karena adanya tambahan alat-alat atau rangkaian khusus untuk mengatur laju perubahan frekuensi maka harga relative lebih mahal.⁽⁴⁾



Gambar 2.10. Karakteristik rele perubahan frekuensi dengan waktu kerja⁴

2.5.3. Rele Frekuensi dengan penyetelan $\frac{df}{dt}$

Rele frekuensi selain dengan penyetelan frekuensi (f) ada juga yang dapat disetting dengan laju perubahan frekuensi ($\frac{df}{dt}$). Dengan adanya penyetelan $\frac{df}{dt}$ dalam hal kekurangan pembangkit yang cukup besar (laju penurunan frekuensi besar), maka diperoleh ketepatan dan kecepatan pelepasan beban yang tinggi. Pada gambar 2.11, ditunjukkan karakteristik kerja rele penyetelan $\frac{df}{dt}$ sebagai fungsi dari (f). Dibawah ini ditunjukkan hubungan penyetelan $\frac{df}{dt}$ dengan $\frac{df}{dt}$ pada frekuensi f_x sebagai berikut :

$$\frac{df}{dt}(\text{pada } f_x) = \left(\frac{f_x}{f_0}\right) \cdot \left(\frac{df}{dt} \text{ setting}\right) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan f_0 = frekuensi dasar

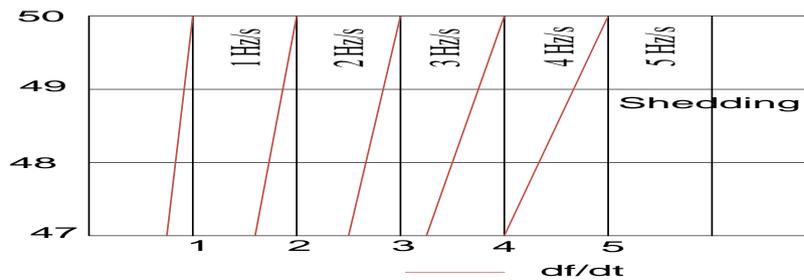
f_x = penyetelan frekuensi

Untuk sistem dengan frekuensi dasar 50 Hz, maka :

$$\frac{df}{dt}(\text{pada } f_x) = \left(\frac{f_x}{50}\right) \cdot \left(\frac{df}{dt} \text{ pada } 50 \text{ Hz}\right) \dots\dots\dots(2.3)$$

Waktu tunda time *delay* tergantung pada jenis rele frekuensi yang digunakan. Ada 3 kriteria yang harus dipenuhi agar rele dengan penyetelan $\frac{df}{dt}$ dapat bekerja, yaitu:

- Frekuensi harus berada dibawah penyetelan frekuensi.
- Harga $\frac{df}{dt}$ harus lebih besar dari penyetelan $\frac{df}{dt}$
- Harga $\frac{df}{dt}$ harus tetap lebih besar dari penyetelan untuk semua waktu yang diset.



Gambar 2.11. Karakteristik kerja rele penyetelan $\frac{df}{dt}$

2.5.4. Standar Frekuensi Kerja Generator Turbin Gas¹

Menurut standar IEEE. std.c37.106.1987 mengatur tentang fluktuasi frekuensi dimana batas rele frekuensi lebih sebesar + 0,8 % dari frekuensi nominal, sedangkan untuk batas rele frekuensi kurang sebesar - 0,8 % dari frekuensi nominalnya. Berikut standar IEEE. std.c37.106.1987 ⁽¹⁾

Tabel 2.1 Batas Durasi Rele Frekuensi Lebih dan Rele Frekuensi Lebih yang telah diubah dalam persen.

Batas Frekuensi Kurang	Batasan Frekuensi Lebih	Minimum time
50 - 49,6 Hz (100 - 99,2%)	50,0 - 50,4 Hz (100,0 - 100,8%)	N/A (continuous operating range)
49,7 - 48,3 Hz (97,3 - 96,5%)	50,5 - 51,2 Hz (101,0 - 102,5%)	3
48,2 - 47,8 Hz (96,3 - 95,7%)	51,3 - 51,4 Hz (102,7 - 102,8%)	30
48,2 - 47,8 Hz (96,3 - 95,7%)		7,5
47,7 - 47,4 Hz (95,5 - 94,8%)		45
47,3 - 47,1 Hz (94,7 - 94,2%)		7,2
Less than 47,0 Hz	Greater than 51,4 Hz	Instantaneous trip

2.6 Pengaturan Rele Frekuensi Menurun²

Pada pelepasan beban yang diakibatkan oleh penurunan frekuensi dibutuhkan suatu Rele Frekuensi Menurun yang dapat mendeteksi ketidaknormalan tersebut. Sinyal ketidaknormalan tersebut selanjutnya disampaikan ke pemutus tenaga yang terpasang di beban yang ingin dilepaskan. Agar memberikan performa maksimal terhadap sistem, perlu dilakukan beberapa pengaturan terhadap rele frekuensi menurun. Beberapa parameter yang harus diatur terlebih dahulu antara lain:

- a. Frekuensi kerja rele
- b. Waktu operasi rele
- c. Koordinasi dengan pemutus tenaga

Apabila terjadi pelepasan beban diharapkan tidak terjadi kelebihan beban yang dilepaskan karena hal ini mengakibatkan kerugian bagi pembangkit maupun pengguna. Rele frekuensi berfungsi untuk memberikan sinyal kepada pemutus tenaga beban untuk membuka. Ketika pemutus tenaga bekerja maka jaringan beban yang terhubung dengannya lepas dari sistem. Oleh karena pemilihan beban yang akan dilepaskan berdasarkan prioritas nilai ekonomi dan keandalan sistem, beban yang akan dilepaskan terletak menyebar di seluruh sistem. Untuk mengatasi hal tersebut tentu perlu pertimbangan khusus untuk memilih letak pemasangan rele frekuensi.⁽²⁾

2.6.1 Frekuensi Kerja Rele³

2.6.1.1. Penentuan Frekuensi Tahap Pertama

Pemilihan tingkat frekuensi pertama kali bekerja mutlak ditentukan oleh pengguna. Tentu saja pemilihan frekuensi tertinggi ini melalui pertimbangan-pertimbangan khusus seperti misalnya keamanan sistem yang diberikan, kapasitas generator serta kemampuan sistem untuk bertahan pada frekuensi tersebut.

Menurut beberapa survey yang dilakukan oleh Power System Relaying Committee (PSRC), salah satu dari 18 komite teknis IEEE Power Engineering Society (PES) yang bekerja untuk memberikan bimbingan atau penyuluhan berkaitan dengan teknologi proteksi pada sistem tenaga listrik, didapatkan beberapa nilai frekuensi tertinggi untuk acuan bagi rele trip yang dipilih oleh beberapa perusahaan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2⁽³⁾

Tabel 2.2 Rentang Tingkat Frekuensi Tertinggi Untuk Bekerja

Frekuensi (Hz)	Jumlah Perusahaan Menurut Kapasitas Generator (MW)			Total
	0 – 1000	1001 – 3000	3001 - 4000	
59,6 – 60	2	2	0	4
59,1 - 59,5	28	13	9	50
58,6 - 59,0	9	11	5	24
58,1 - 58,5	5	2	0	7
57,0 - 58,0	1	1	0	2

Dari tabel 2.2 didapatkan rentang frekuensi terendah yang diatur pada rele paling banyak digunakan adalah rentang frekuensi 59,1 – 59,5 Hz. Dengan melihat data tersebut, terlihat bahwa beberapa perusahaan yang menggunakan rele frekuensi menurun sangat memperhatikan tingkat kestabilan sistem. Pemilihan rentang frekuensi ini mengacu kepada standar frekuensi IEEE. Dimana pada frekuensi tersebut, generator masih diijinkan bekerja pada durasi waktu yang cukup lama. Menurut Blackburn³, batas frekuensi kerja secara terus-menerus turbin 60 Hz bertekanan rendah dengan panjang sudu-sudu 18-25 Inc adalah 58,8-61,5 Hz. Sedangkan pada

frekuensi 56–58,8 Hz mesin hanya boleh bekerja maksimum selama 10 menit untuk sepanjang umur turbin tersebut. Untuk turbin dengan panjang sudu-sudu 25-44 Inc range frekuensi kerja adalah 59,5–60,5 Hz secara terus-menerus, sedangkan waktu kumulatif sepanjang umur mesin yang diizinkan untuk bekerja pada batas-batas frekuensi 58,5 - 59,5 hanya 60 menit. Waktu kumulatif bekerja pada frekuensi 56 – 58,5 Hz hanya boleh selama 10 menit. Untuk mengatasi masalah ini unit generator selalu dilengkapi dengan rele *under* frekuensi yang diset tiga tahap, yaitu : (Bonar Panjaitan. 2012)

1. Trip *instantaneous* pada frekuensi 56 Hz
2. Trip dengan waktu terlambat maksimum selama 2 menit pada frekuensi 58,4 Hz ,
3. Selama 6 menit pada frekuensi 59,4 Hz.

2.6.1.2. Penentuan Frekuensi Tahap Kedua dan Seterusnya

Penentuan frekuensi acuan tahap kedua dan seterusnya bergantung pada besarnya perkiraan laju penurunan frekuensi yang terjadi dan waktu operasi rele pada tahap sebelumnya. Laju penurunan frekuensi berdasarkan kelebihan beban yang terjadi. Langkah pertama untuk menentukan frekuensi acuan adalah menghitung besar laju penurunan frekuensi. Laju penurunan ini bergantung pada besarnya kelebihan beban yang terjadi, frekuensi nominal, rating MVA generator dalam keadaan ideal dan besar konstanta inersia.⁽²⁾

$$\frac{df}{dt} = \left(\frac{P_s}{2GH} \right) \times f \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- P_s = Selisih permintaan beban dan daya yang disuplai generator
- G = Rating MVA generator
- H = Konstanta Inersia
- f = Frekuensi nominal

2.6.2 Waktu Operasi Rele²

Keterlambatan waktu yang direncanakan untuk setiap tingakt pelepasan beban tidak boleh mengizinkan frekuensi sistem melampaui batas minimum frekuensi yang ditetapkan. Waktu kerja setiap tingkat pelepasan beban dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$t = t_R + t_{CB} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- t = waktu total
- t_R = waktu rele
- t_{CB} = waktu pemutus tenaga

Waktu rele (t), ditentukan berdasarkan jenis rele yang digunakan untuk rele yang bekerja atas dasar frekuensi biasanya ditentukan minimal 0,3 detik. Ini berkaitan dengan kemungkinan adanya penurunan frekuensi sistem secara tiba-tiba karena beban lebih, yang biasanya tidak lebih lama dari waktu tersebut. Sedang waktu pemutus tenaga (t_{CB}) biasanya diperhitungkan sebesar 0,1 detik. Sehingga untuk rele yang bekerja atas dasar frekuensi, maka waktu keseluruhan dari gangguan mulai dirasakan sampai beban dilepas adalah 0,4 detik.

Untuk rele yang bekerja atas dasar frekuensi dan laju penurunan frekuensi, waktu *pickup* ($t_{pick\ up}$) dipengaruhi langsung oleh kecepatan penurunan frekuensi. Harga dari $t_{pick\ up}$ ini dapat diperoleh dari karakteristik rele, dengan terlebih dahulu mengetahui besar laju perubahan frekuensi. Untuk rele frekuensi kurang *setting* $\frac{df}{dt}$ Penghitungan waktu ini digunakan untuk menentukan perkiraan frekuensi akhir dimana saat pelepasan beban dilakukan setelah frekuensi tertinggi untuk trip terdeteksi.

$$T_{pick-up} = \frac{f_0 - f_1}{\frac{df}{dt}} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$T_{trip} = T_{pick-up} - T_{CB} - T_{relay} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan $f_{load\ shedding}$ adalah frekuensi acuan pelepasan beban. Setelah laju penurunan frekuensi dan waktu trip tahap sebelumnya didapatkan, nilai frekuensi ketika terjadi pelepasan beban adalah :

$$f_{load\ shedding} = \left[f_0 - \frac{df}{dt}(T_{trip}) \right] \dots \dots \dots (2.8)$$

Kemudian untuk frekuensi trip tahap berikutnya harus bernilai sedikit lebih kecil daripada frekuensi saat pelepasan beban dari frekuensi trip tahap sebelumnya.

2.6.3 Koordinasi dengan Pemutus Tenaga²

Dalam proses pelepasan beban akibat penurunan frekuensi dibutuhkan suatu rele frekuensi menurun. Rele tersebut berfungsi untuk mengirimkan sinyal penurunan frekuensi ke pemutus tenaga yang terletak pada sisi beban. Untuk melakukan suatu pelepasan beban bergantung kepada tingkat prioritas beban yang ingin dilepaskan apabila terjadi gangguan. Rele frekuensi ketika bekerja hanya akan mengirimkan sinyal penurunan frekuensi kepada pemutus tenaga yang menghubungkan beban paling rendah tingkat prioritasnya baik dipandang dari segi ekonomi, keandalan sistem maupun daya yang dibutuhkan. ⁽²⁾

3.METODELOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini penulis melakukan pengumpulann data dan dibutuhkan beberapa metode untuk memenuhinya. Adapun metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Metode interview yaitu penulis mengadakan tanyajawab langsung kepada parakaryawan yang dianggap memiliki pengetahuan serta wawasan terhadap permasalahan yang dibahas. Dari metode interview maka di dapat prinsip kerja rele frekuensi dalam pengamanan generator.
2. Metode studi pustaka yaitu penulis mengumpulkan sumber-sumber berupa bacaan atau literature baik dari buku maupun dari internet,
3. Metode pengambilan data dilakukan mengetahui prinsip kerja rele frekuensi dalam pengaman pada generator, nilai penyetelan rele frekuensi, untuk mengetahui nilai penurunan frekuensi dan saat kapan rele frekuensi bekerja berdasarkan pemahaman yang didapatkan dari metode literatur

4.PEMBAHASAN

4.1.1.Data Kondisi Rele Frekuensi di PT PUPUK SRIWIJAYA

Adapun *setting* Rele Frekuensi yang direkomendasikan oleh PT PUSRI terdapat pada lampiran adalah :

Tabel 4.1 Rekomendasi *Setting* Rele Frekuensi

PANEL/ FEEDER	TEGANGAN	DATA PERALATAN PEROTEKSI				SETTING
		PERALATAN	KODE	MERK	TIPE	
BKR-G2	13.8KV	RELAY	81 O/U	GE	SR 489	Under Frequency: 47.5Hz (95%) Over Frequency: 52.5 Hz (105%)

Tabel 4.2 Data Pembangkit di PT. PUSRI

No.	Nama Generator	Nama Beban	Faktor Daya	MVA Rating	Daya Mampu (MW)	Beban Saat Ini (MW)	Konstanta Inersia H $\left(\frac{MWS}{MVA}\right)$
1.	GTG P-2 (2006 - J)	Pabrik P-2	0,85	21,588	13	12,5	5,5
2.	GTG P-3 (3006 - J)	Pabrik P-3	0,85	21,588	13	12,5	5,5

3.	GTG P-4 (4006 - J)	Pabrik P-4	0,85	21,588	13	12,5	5,5
4.	GTG P-1B (5006 - J)	Pabrik P-1B	0,85	25,650	17	16,1	6,9
Total				22,603	56	53,6	5,85

4.1.2. Penyetelan Rele Frekuensi

Rele frekuensi berfungsi Mendeteksi besaran frekuensi rendah/lebih di luar nilai yang diizinkan. Adapun setting rele frekuensi di PUSRI IV adalah sebagai berikut :

Keterlambatan waktu yang tetap

Ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relay akan bekerja dalam waktu 0,5 detik.

Diketahui bahwa $f_n = 50$ Hz, dan $V = 13800$ Volt . Berdasarkan gambar 3.1 dan 3.2 maka nilai waktu seketika adalah :

Untuk Rele Frekuensi Kurang

$$\text{Voltage level cutoff} = 0,05 \times \text{Rated}$$

$$= 0,05 \times 13800 \text{ volt} = 690 \text{ volt}$$

$$\text{Maka Voltage level cutoff} = 13800 - 690 = 13110 \text{ volt}$$

Untuk mengetahui frekuensi pada saat tegangan level terendah adalah :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{3000}{n_2} = \frac{13800}{13110}$$

$$n_2 = \frac{3000 \times 13110}{13800} = 2850 \text{ rpm}$$

Dari,

$$n = \frac{120f}{p}$$

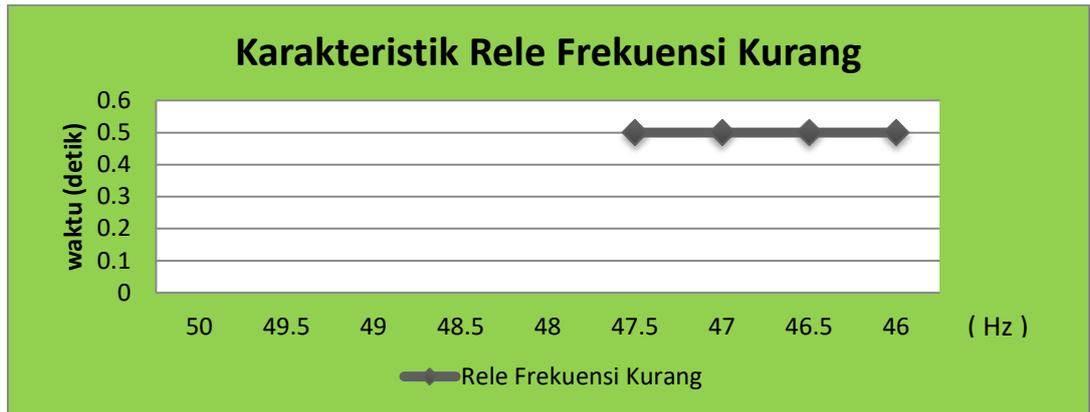
$$f = \frac{n_2 \times p}{120}$$

$$f = \frac{2850 \times 2}{120} = 47,5 \text{ Hz}$$

Maka setting rele frekuensi kurang pada frekuensi 47,5 Hz.

Tabel 4.3 Perhitungan setting rele frekuensi kurang

No.	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)
1.	47,5	0,5
2.	47	0,5
3.	46,5	0,5
4.	46	0,5



Gambar 4.2 Karakteristik Rele Frekuensi Kurang Kelambatan waktu tetap

Untuk Rele Frekuensi Lebih

$$\begin{aligned} \text{Voltage level cutoff} &= 0,05 \times \text{Rated} \\ &= 0,05 \times 13800 \text{ volt} = 690 \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\text{Maka Voltage level cutoff} = 13800 + 690 = 14490 \text{ volt}$$

Untuk mengetahui frekuensi pada saat tegangan level tertinggi adalah :

$$\begin{aligned} \frac{n_1}{n_2} &= \frac{V_1}{V_2} \\ \frac{3000}{n_2} &= \frac{13800}{14490} \end{aligned}$$

$$n_2 = \frac{3000 \times 14490}{13800} = 3150 \text{ rpm}$$

Dari,

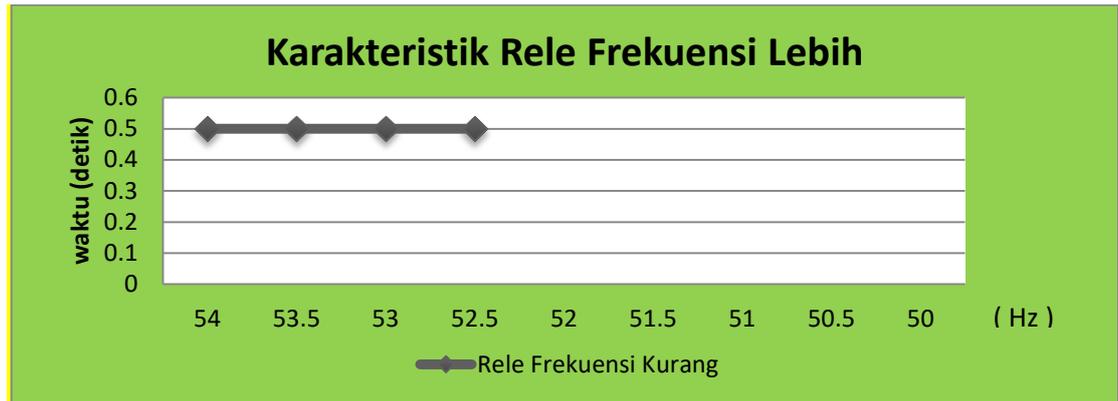
$$\begin{aligned} n &= \frac{120f}{p} \\ f &= \frac{n_2 \times p}{120} \end{aligned}$$

$$f = \frac{3150 \times 2}{120} = 52,5 \text{ Hz}$$

Maka *setting* rele frekuensi lebih pada frekuensi 52,5 Hz.

Tabel 4.4 Perhitungan *setting* rele frekuensi lebih

No.	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)
1.	52,5	0,5
2.	53	0,5
3.	53,5	0,5
4.	54	0,5



Gambar 4.3 Karakteristik Rele Frekuensi Lebih Kelambatan Waktu tetap

4.1.3. Nilai Frekuensi dan Penurunan Frekuensi saat Pelepasan Beban

Pelepasan beban yang terjadi adanya penurunan frekuensi karena beban lebih. Terjadinya beban lebih dalam pelepasan beban disebabkan oleh adanya generator yang lepas dari sistem. Penyebab dari lepasnya generator tidak dibahas secara detil. Untuk dapat memperkirakan besarnya frekuensi acuan pelepasan beban maka dihitung dari kombinasi generator trip.

Untuk dapat memperkirakan nilai frekuensi ketika terjadi penurunan frekuensi pada sistem tenaga listrik, beberapa hal yang dilakukan antara lain : Memperkirakan variasi penurunan frekuensi per detik dari beberapa gangguan skenario kombinasi pelepasan yang telah ditentukan sebelumnya dengan menggunakan persamaan 2.4.

Pada saat trinya PUSRI IV.

Diketahui bahwa $P_s = (53600 - 43000) = 10,600 \text{ MW}$. Maka dapat dihitung nilai penurunan frekuensi $\frac{df}{dt}$ sebesar :

$$\begin{aligned} \frac{df}{dt} &= \left(\frac{P_s}{2GH} \right) \times f_0 \\ \frac{df}{dt} &= \left(\frac{10,600}{2 \times 22,603 \times 5,85} \right) \times 50 \\ \frac{df}{dt} &= 2,00 \text{ Hz/s} \end{aligned}$$

Untuk dapat menentukan pada frekuensi berapa pemutus tenaga benar-benar bekerja dibutuhkan perkiraan waktu rele trip maka menggunakan persamaan 2.5.

$$t_{trip} = t_{relay} + t_{CB}$$

Tetapi telah kita ketahui dari tabel 3.2 bahwa waktu operasi rele pada 0,5detik. Maka didapatkan :

$$t_{trip} = 0,5 + 0,1 = 0,6 \text{ detik}$$

Maka perkiraan nilai frekuensi saat pemutus tenaga bekerja ketika terjadi penurunan frekuensi bergantung pada kedua hal yang dibahas sebelumnya yaitu penurunan frekuensi per detik dan waktu trip rele. Maka menggunakan persamaan 2.7 didapatkan :

$$\begin{aligned} f_{load \ shedding} &= \left[f_n - \frac{df}{dt} (t_{trip}) \right] \\ f_{load \ shedding} &= [50 - (2,00 \times 0,6)] \\ f_{load \ shedding} &= 48,8 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Berikut ini adalah hasil perhitungan nilai frekuensi serta penurunan frekuensi yang terjadi saat pelepasan beban dijalankan.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan nilai frekuensi saat terjadi pelepasan beban dan penurunan frekuensi

pada setiap kasus di PT. PUSRI

Nomor kasus	Kondisi Pembangkit		P_s (MW)	$\frac{df}{dt}$ (Hz/s)	$f_{load shedding}$ (Hz)
	Awal	Trip			
1.		P-2	10,6	-2,00	48,8
2.		P-3	10,6	-2,00	48,8
3.		P-4	10,6	-2,00	48,8
4.		P-1B	14,6	-2,76	48,34
5.		P-2 & P-3	23,6	-4,46	47,32
6.		P-2 & P-4	23,6	-4,46	47,32
7.		P-3 & P-4	23,6	-4,46	47,32
8.	P-2/P-3/ P-4/ P-1B	P-2&P-1B	27,6	-5,21	46,86
9.		P-3&P-1B	27,6	-5,21	46,86
10.		P-4&P-1B	27,6	-5,21	46,86
11.		P-2&P-3&P-4	36,6	-6,91	45,85
12.		P-2 & P-4 & P-1B	40,6	-7,67	45,39
13.		P-3 & P-4 & P-1B	40,6	-7,67	45,39
14.		P-2&P-3 & P-1B	40,6	-7,67	45,39
15.		P-3	20	-3,78	47,73
16.		P-4	20	-3,78	47,73
17.		P-1B	24	-4,53	47,28
18.	P-2 Pisah	P-3 & P-4	33	-6,23	46,26
19.		P-3&P-1B	37	-6,99	45,80
20.		P-4&P-1B	37	-6,99	45,80
21.		P-2	16,875	-3,19	48,08
22.		P-4	16,875	-3,19	48,08
23.		P-1B	20,875	-3,94	47,63
24.	P-3 Pisah	P-2 & P-4	29,875	-5,64	46,61
25.		P-2 & P-1B	33,875	-6,40	46,16
26.		P-4 & P-1B	33,875	-6,40	46,16
27.		P-2	17,8	-3,36	47,98

28.		P-3	17,8	-3,36	47,98
29.		P-1B	21,8	-4,12	47,52
30.	P-4 Pisah	P-2 & P-3	30,8	-5,82	46,60
31.		P-2&P-1B	34,8	-6,57	46,05
32.		P-3&P-1B	34,8	-6,57	46,05
33.		P-2	16,825	-3,18	48,09
34.		P-3	16,825	-3,18	48,09
35.		P-4	16,825	-3,18	48,09
36.	P-1B Pisah	P-2 & P-3	29,825	-5,63	46,62
37.		P-2 & P-4	29,825	-5,63	46,62
38.		P-3&P-1B	29,825	-5,63	46,62
39.	P-2 & P-3 Pisah	P-4	26,275	-4,96	47,02
40.		P-1B	30,275	-5,72	46,56
41.	P-2 & P-4 Pisah	P-3	28,1	-5,31	46,81
42.		P-1B	32,1	-6,06	46,36
43.	P-2 & P-1B Pisah	P-3	28,05	-5,30	46,82
44.		P-4	28,05	-5,30	46,82
45.	P-3&P-4 Pisah	P-2	29,625	-5,60	46,64
46.		P-1B	33,625	-6,35	46,19
47.	P-4 & P-1B Pisah	P-2	28,675	-5,42	46,74
48.		P-3	28,675	-5,42	46,74
49.	P-3 & P-1B Pisah	P-2	29,575	-5,59	46,64
50.		P-4	29,575	-5,59	46,64
51	P-2&P-3&P-4 & P-1B Normal	-	-	-	49,92 (terukur)

4.2.Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan setting pada merk rele 489 *Management Relay* untuk rele frekuensi kurang senilai 47,5 Hz. dan untuk rele frekuensi lebih senilai 52,5 Hz dengan waktu tunda 0,5 detik. Dari Tabel 4.3 di ketahui bahwa ketika frekuensi mencapai 47,5 Hz ; 47 Hz ; 46,5 Hz ; 46 Hz atau dibawah nilai *setting* rele frekuensi kurang. Pelepasan pemutus daya baru dilakukan 0,5 detik kemudian karena Rele 489 *Management Relay* waktu kerjanya tidak dipengaruhi oleh kecepatan penurunan frekuensi.

Dari Tabel 4.4 di ketahui bahwa ketika frekuensi mencapai 52,5 Hz ; 53 Hz ; 53,5 Hz ; 54 Hz atau diatas nilai *setting* rele frekuensi lebih. Pelepasan pemutus daya baru dilakukan 0,5 detik kemudian karena Rele 489 *ManagementRelay* waktu kerjanya tidak dipengaruhi oleh kecepatan penurunan frekuensi. Dari Tabel 4.5 terdapat 50 kasus yang akan menyebabkan pelepasan beban terjadi. Pelepasan beban yang terjadi adanya penurunan frekuensi karena beban lebih.

Terjadinya beban lebih dalam pelepasan beban disebabkan oleh adanya generator yang lepas dari sistem. Pelepasan beban di PT.PUSRI akan dilakukan oleh *switchgear*, dan *synbus*. Tetapi sinyal yang mengakibatkan terbukanya *breaker* akan dikirim oleh rele. Sinyal yang dikirim seperti frekuensi kurang, tegangan kurang, tegangan lebih dan lainnya. Dan ada beberapa kondisi yang menyebabkan terbukanya *breaker* karena terjadinya penurunan frekuensi hingga sama dengan atau dibawah nilai *setting* rele frekuensi. Seperti terlihat pada tabel 4.4 penurunan frekuensi terbesar akan terjadi pada kasus Tiga Generator yang trip, seperti P-2&P-4&P-1B ; P-3&P-4&P-1B ; P-2&P-3&P-1B; dimana selisih permintaan beban dengan daya yang disuplai generator adalah 40,6 MW. Dan nilai penurunan frekuensi mencapai $-7,67 \text{ Hz/s}$.

Dengan nilai frekuensi saat pelepasan sebesar 45,39 Hz dibawah nilai *setting* rele frekuensi. Dan penurunan frekuensi yang terendah berada pada kasus pisahnya P-4 dan P-1B trip, dimana selisih permintaan beban dengan daya yang disuplai generator adalah 21,8 MW. Dan nilai penurunan frekuensi mencapai $-4,12 \text{ Hz/s}$. Dimana nilai frekuensi saat pelepasan beban sebesar 47,52 Hz sama dengan nilai *setting* rele frekuensi. Ketika nilai frekuensi telah mencapai nilai *setting* atau lebih kecil dari nilai *setting* seperti beberapa kasus diatas, rele frekuensi akan bekerja mengamankan generator. Rele Frekuensi akan bekerja ketika selisih beban dengan daya yang di bangkitkan generatoer minimal sebesar 21,6 MW.

5. PENUTUP

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari perhitungan pada Laporan Akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem kerja rele frekuensi didalam proses pengamanan dilengkapi dengan tripproteksi dan alarm proteksi dan dapat dimonitor nilai frekuensi secara terus-menerus pada bagian menu metering yang telah tersedia. Dengan terminal input dari kode terminal 81. Saat operasi normal, rele frekuensi dalam kondisi *standby*. Apabila saat dimonitor nilai frekuensi lebih besar atau lebih kecil dari nilai *setting* maka alarm rele akan aktif dan mengaktifkan lampu tanda pada *switch gear* dan *synbus*. Dan nilai frekuensi gangguan akan di kirim ke *breaker*. *Breaker* akan melepaskan beban.
2. *Setting* Rele Frekuensi tipe 489 *ManagementRelay* untuk rele frekuensi kurang senilai 47,5 Hz dan untuk rele frekuensi lebih senilai 52,5 Hz dengan waktu tunda 0,5 detik.
3. Penurunan frekuensi terbesar akan terjadi pada kasus Tiga Generator yang trip, dimana selisih permintaan beban dengan daya yang disuplai generator adalah 40,6 MW. Dan nilai penurunan frekuensi mencapai $-7,67 \text{ Hz/s}$. Dengan nilai frekuensi saat pelepasan sebesar 45,39 Hz. Dan penurunan frekuensi yang terendah berada pada kasus pisahnya P-4 dan P-1B trip, dimana selisih permintaan beban dengan daya yang disuplai generator adalah 21,8 MW. Dan nilai penurunan frekuensi mencapai $-4,12 \text{ Hz/s}$. Dimana nilai frekuensi saat pelepasan beban sebesar 47,52 Hz. Rele Frekuensi akan bekerja mengamankan generator jika kelebihan beban minimal sebesar 21,6 MW.

DAFTAR PUSTAKA

1. Addi Permadani. 2013. Skenario Pelepasan Beban menggunakan software ETAP 6.0.0 sebagai pengaman GTG di PT.PUSRI Palembang. Palembang. Hal : 20
2. Muhammad Taqiyyuddin Alawiy. 2006. Sistem Proteksi Tenaga Listrik. Malang. Hal : 2
3. Bonar Panjaitan. 2012. Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta .Hal : 386-387

4. Gefito Paulima Aritonang. 2012. Rele Frekuensi Turun sebagai perangkat sistem pelepasan beban pada jaringan distribusi daya listrik di PT. Pertamina RU III Plaju. Palembang. Hal. 25-27/30-33
5. Djiteng Marsudi, Ir. 2011. Pembangkit Energi Listrik Edisi Kedua. Jakarta. Hal. 50
7. Ir.H.Hazairin Samaulah. M.Eng., Ph.D. 2004. Dasar-dasar Sistem Proteksi Teknik Listrik. Palembang. Hal : 65
8. Juhari, Dipl.Eng, S.Pd. 2013. Generator. Jakarta. Hal : 5-10
9. Kris Hydroseptian. 2013. Perhitungan Penyetelan Frekuensi di PLTD Sungai Juaro. Palembang. Hal: 14.