

## SISTEM LOAD SHEDDING PADA GENERATOR

Oleh : Ahmad Nawawi

### ABSTRAK

Salah satu penyebab terjadinya penurunan frekuensi pada sistem tenaga listrik adalah terjadinya gangguan (*trip*) satu unit pembangkit dari beberapa pembangkit yang dioperasikan secara paralel. Hal ini mengakibatkan perbandingan daya terpasang dengan beban yang ditanggung tidak seimbang, sehingga bila tidak diantisipasi, sistem pengaman akan bekerja dan terjadi *black out*.

Salah satu strategi untuk mengantisipasi terhadap kemungkinan turunnya frekuensi adalah dengan sistem *load shedding*. Sistem *load shedding* dapat dilakukan oleh *Programmable Logic Controller*.

Dengan melepas sebagian beban yang tidak vital, pembangkit yang masih bekerja dapat terhindar dari kerusakan dan juga pelayanan terhadap beban yang tinggal masih dapat dilayani.

Sistem *load shedding* ini diasumsikan bekerja, bila satu unit generator mengalami gangguan (*trip*), sehingga sesuai dengan perhitungan, sistem akan mengalami penurunan frekuensi sebesar 0,367 Hz/dtk, setelah PLC bekerja pada step 1, frekuensi kembali naik dengan laju 0,667 Hz/dtk.

*Kata Kunci* : Frekuensi turun, sebagian beban (*non vital*) lepas.

### I. LATAR BELAKANG

Gangguan pada sistem tenaga listrik yang mungkin terjadi dapat disebabkan oleh sebuah unit generator dari beberapa generator yang bekerja secara paralel mengalami gangguan (*trip*), hal ini dapat menyebabkan frekuensi sistem turun dengan cepat. Penurunan frekuensi sistem bila tidak segera dikembalikan seperti semula dapat mengakibatkan sistem padam total (*black out*). Untuk menghindari hal tersebut perlu adanya suatu sistem yang dapat diatur secara otomatis.

Sistem *load shedding* adalah solusi yang tepat untuk hal itu, setelah sebagian beban dilepas, beban-beban yang ditanggung pembangkit-pembangkit yang masih bekerja akan berkurang dan frekuensi akan dapat kembali ke keadaan normal. Dengan pelepasan sebagian beban, pembangkit-

pembangkit yang masih bekerja dapat terhindar dari kerusakan dan juga pelayanan terhadap beban yang tinggal masih tetap terlayani dengan harga-harga normal. Pengoperasian *load shedding* dapat dilakukan oleh sebuah *Programmable Logic Controller*. Beban-beban yang akan dilepas dipilih beban-beban yang tidak vital atau tidak penting. Beban-beban yang penting dan yang perlu dilayani secara kontinu diharapkan dapat tetap dilayani meskipun ada unit pembangkit yang *trip*.

Jenis-jenis beban tersebut dibedakan menjadi 4 (empat) tingkat menurut prioritas pelayanannya yaitu ; *Vital*, *Essential*, *Support* dan *Operational*.

## II. TUJUAN PENULISAN

Penulisan ini dimaksudkan untuk memberikan kajian/analisa pada sebuah industry yang menggunakan pembangkit sendiri, melalui sebuah simulasi sebelum system load sheidding ini diaplikasikan, sehingga bilamana terjadi penurunan frekuensi, kerusakan di beban maupun di pembangkitnya dapat diminimalisir.

## III. DASAR TEORI

### A. Load Shedding (pelepasan beban)

Untuk menjaga kontinuitas daya listrik dari pembangkit yang mengalami penurunan daya listrik secara tiba-tiba, maka sebagian beban sistem harus dilepaskan.

Setelah sebagian beban dilepas, beban-beban yang ditanggung pembangkit-pembangkit yang masih bekerja akan berkurang dan frekuensi akan dapat kembali ke keadaan normal, segera setelah terjadi keseimbangan antara pembangkit yang masih beroperasi dengan beban dilayani, pembangkit-pembangkit yang masih bekerjapun dapat terhindar dari kerusakan.

#### 1. Definisi Critical Rating

Definisi dari *critical rating* pada suatu perusahaan adalah sebagai berikut; *Critical rating* adalah ukuran untuk dapat mengetahui perbedaan relatif pentingnya peranan suatu peralatan terhadap peralatan lain didalam suatu proses produksi (perusahaan), *Critical rating* tersebut menyatakan tingkat besarnya konsekuensi yang akan diterima terhadap kriteria yang disetujui apabila peralatan tersebut mengalami kerusakan.

#### 2. Pembagian jenis beban (Critical Rating)

Penggolongan dari peralatan berdasarkan tingkat kekritisan (*criticality order*) dapat dilakukan sebagai berikut ;

- **Vital**

Adalah peralatan yang dipergunakan untuk proses utama, vital terhadap operasi komersial dan keselamatan petugas.

Bila peralatan tersebut rusak akan menyebabkan proses shutdown, mempunyai biaya penggantian suku cadang yang mahal, plant dan keselamatan petugas tidak terjamin. Peralatan ini memerlukan frekuensi monitoring yang tinggi secara periodik.

- **Essential**

Adalah peralatan yang dipergunakan dalam proses operasi atau essential terhadap komersial.

Bila peralatan tersebut rusak akan menyebabkan pengurangan produksi dan mempunyai biaya penggantian suku cadang yang mahal. Peralatan ini memerlukan frekuensi monitoring yang tinggi secara periodik

- **Support**

Adalah peralatan yang digunakan dalam proses dan memerlukan periodik monitoring secara rutin.

Bila peralatan tersebut rusak, tidak akan berpengaruh terhadap *commercial operation dan safety*.

- **Operational**

Adalah semua peralatan yang tidak termasuk kategori 1, 2 dan 3, dan tidak memerlukan periodik monitoring secara rutin.

Bila peralatan tersebut rusak, tidak berpengaruh terhadap keselamatan dan operasi komersial.

#### 3. Perencanaan load shedding

Pelepasan beban didalam suatu sistem adalah menentukan jumlah tingkat pelepasan beban, beban yang dilepas pertingkat frekuensi.

Kriteria yang diinginkan dari setiap program yang direncanakan meliputi :

- a. Program harus dapat menahan frekuensi sistem tidak melewati suatu batas minimum tertentu, bila terjadi

- kehilangan daya pembangkit, artinya jumlah beban yang dilepas harus cukup.
- b. Program harus sedemikian rupa, sehingga tidak ada suatu kondisi bila terjadi kehilangan daya pembangkit tertentu, hanya diikuti pelepasan beban yang terlalu kecil, sehingga memungkinkan frekuensi sistem terlalu lama berada didaerah berbahaya.
  - c. Pelepasan beban sebaiknya hanya dilakukan pada saat dibutuhkan, yaitu pada saat laju penurunan frekuensi mencapai nilai setting.

### B. Programmable Logic Controller

*Programmable Logic Controller* (PLC) pada dasarnya dirancang untuk menggantikan sistem logika yang menggunakan relay dan panel kontrol logika yang menggunakan hard-wired dengan peralatan solid-state. Oleh karena itu hingga saat ini pengetahuan tentang rangkaian sistem logika dan relay tetap merupakan dasar yang sangat penting serta diperlukan untuk pemrograman dengan PLC. Keuntungan PLC dibanding dengan sistem logika konvensional terutama adalah mudah/dapat diprogram, fleksibel, dan dapat diandalkan.

Programmable Logic Controller (PLC) menguji status input dan meresponsnya, melakukan pengendalian proses, dan memberikan hasil pengendalian ke keluaran. Kombinasi dari data input dan output mengacu kepada logikanya. Beberapa kombinasi logika akan selalu dibutuhkan sebagai rencana pengendalian atau program pengendalian. Program pengendalian ini tersimpan dalam memory. Program tersebut secara periodik tertentu dijalankan oleh microprocessor.

Banyak aplikasi dilapangan yang menggunakan PLC sebagai peralatan pengendali. Aplikasi tersebut adalah untuk : Sequence Control, Sistem Proteksi,

sistem Shutdown, dan sistem pengendalian On-Off.

## IV. SISTEM LOAD SHEDDING PADA GENERATOR

### A. Simulasi dan Analisa

Simulasi adalah upaya untuk merepresentasikan sistem untuk mempunyai karakteristik atau perilaku yang sama dengan sistem yang sebenarnya.

#### 1. Model sistem

Dalam mensimulasikan frekuensi sistem ini dapat dinyatakan bahwa dalam keadaan belum ada gangguan maka daya beban sebanding dengan daya pembangkitan dalam sistem,  $P_G = P_B$  (beban).

Kemudian ketika ada gangguan didalam sistem yang mengakibatkan tidak seimbangnya antara daya pembangkitan dan daya beban,  $P_G \neq P_B$ , maka akan mengakibatkan laju penurunan frekuensi.

*Load Shedding* adalah merupakan pelepasan beban yang dikarenakan laju penurunan frekuensi  $\frac{df}{dt}$  cukup besar, hal

tersebut terjadi akibat adanya pembangkit yang jatuh (*trip*) dari sistem. Dalam hal ini pelepasan beban berarti memperkecil pengaruh besarnya selisih antara daya yang dibangkitkan dengan beban yang ditanggung.

#### 2. Data sistem

Data yang dipakai dalam simulasi ini diasumsikan sistem kelistrikan pada perusahaan perminyakan "X", dimana data yang digunakan dalam merepresentasikan frekuensi sistem adalah data pembangkitan unit terpasang (MW), data beban (MW) dan inersia mesin dari pembangkit yang ada.

Untuk menyederhanakan permasalahan kami mengasumsikan bahwa sistem terhubung dalam satu bus dan pembebanan terbagi atas 4 jenis sesuai dengan prioritas pelayanannya yaitu *Vital*,

*Essential*, *Support* dan *Operational* (VESO).

Jenis beban vital di perusahaan perminyakan "X", yaitu semua beban yang terkait langsung dengan proses pengolahan minyak, sedangkan beban operational adalah semua beban yang mendukung proses pengolahan minyak, pembagian jenis beban selengkapnya adalah ;

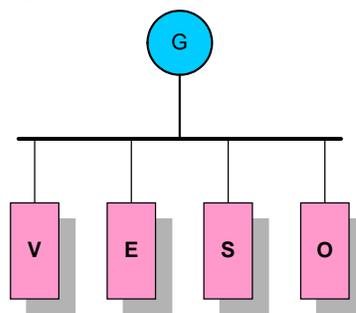
- **Vital**, yaitu pada **trafo 1** yang melayani Unit Refinery, distribusi air minum, laboratorium, Camp tipe C III, IV, V, **trafo 4** yang melayani power plant, **trafo 8** melayani distribusi boiler, kantor utama dan penerangan jalan, **trafo 9** melayani unit boiler, boiler feed water, fuel pump, boiler compressor dan fire cating, **trafo 10** melayani rumah pompa WPS (P<sub>1</sub>) dan WPS (P<sub>2</sub>), dan **trafo 14** yang melayani power plant.
- **Essential**, yaitu pada **trafo 2** yang melayani kantor utama, distribusi rumah/ruang racun, bengkel bubut, distribusi water treatment, distribusi PAK dan penerangan jalan, **trafo 6a** melayani Gedung training dan sarana pendukungnya dan penerangan jalan, **trafo 6b** yang melayani distribusi perpustakaan dan penerangan jalan,

**trafo 11** melayani distribusi perumahan AP I, distribusi perumahan BP I, dan penerangan jalan dan **trafo 13** melayani pompa air minum dan pompa I.

- **Support**, yaitu pada **trafo 3** yang melayani BRU/bubutan, workshop, distribusi PST, distribusi salvage, bengkel listrik dan penerangan jalan, **trafo 5** melayani wisma I, distribusi lecture room, guest house, mess transit, wisma III/direktur dan penerangan jalan, dan **trafo 12a** melayani distribusi perumahan AP II, distribusi perumahan BP II, distribusi dapur dan penerangan jalan.
- **Operational**, yaitu pada, **trafo 7** melayani distribusi perumahan, distribusi lapangan basket, masjid, rumah dinas 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7, dan penerangan jalan, **trafo 12b** melayani perumahan karyawan, dan **trafo15** melayani distribusi GOR

Besarnya daya dalam MW serta data sistem kelistrikan di perusahaan perminyakan "X" selengkapnya seperti pada table 3.1, sedang gambar 3.1 menunjukkan model diagram sistem.

Sistem dibawah digunakan untuk mempermudah permasalahan didalam merepresentasikan frekuensi sistem.



Gambar 3.1 Model diagram sistem

Tabel 3.1 Data sistem

Gen	Daya Terpasang (MVA)	Beroperasi (MVA)	B e b a n (MW)			
			V	E	S	O
G1	1,000	1,000	Tr 1 : 0,269	Tr 2 : 0,296	Tr 3 : 0,279	Tr 15 : 0,100
G2	0,820		Tr 4 : 0,045	Tr 6a : 0,307	Tr 5 : 0,304	Tr12b: 0,046
G3	0,820	0,820	Tr 8 : 0,189	Tr 6b : 0,090	Tr12a: 0,280	Tr 7 : 0,136
G4	0,820	0,820	Tr 9 : 0,061	Tr 13 : 0,400		
G5	1,000		Tr10 : 0,360	Tr 11 : 0,102		
G6	0,400		Tr14 : 0,060			
G7	0,400					
G8	1,000	1,000				
G9	0,640	0,640	0,984	1,195	0,863	0,282
Jumlah	6,900	4,280	3,324			

Data beban diatas adalah beban puncak, sebesar 3,324 MW, yang dilayani oleh generator; G1, G3, G4, G8, dan G9, yang bekerja secara paralel dengan total daya sebesar 4,280 MVA, sehingga pembangkit tersebut telah dibebani sebesar :

$$\frac{3,324 \text{ MW}}{4,280 \text{ MVA} \times 0,8} \times 100 \% = 97,079 \%$$

sedang beban yang ditanggung oleh tiap-tiap generator ( $P_{SO}$ ) adalah sebagai berikut ;

generator 1 =

$$\frac{1 \text{ MVA} \times 0,8}{4,280 \text{ MVA} \times 0,8} \times 3,324 \text{ MW} = 0,777 \text{ MW}$$

Dengan menggunakan cara yang sama didapatkan hasil;

generator 3 = 0,637 MW

generator 4 = 0,637 MW

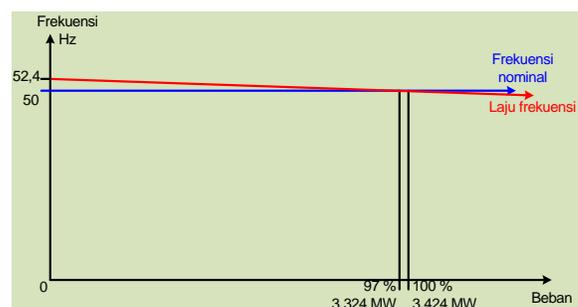
generator 8 = 0,777 MW

generator 9 = 0,497 MW

Disimulasikan pembangkit dengan daya terbesar mengalami gangguan (*trip*), sistem kehilangan daya sebesar 1 MVA atau 0,8 MW ( $P_{SO7}$ ), karena power factor ( $\cos \phi$ ) dari pembangkit ini adalah 0,8. Dengan hilangnya daya sebesar 0,8 MW, maka generator yang masih beroperasi harus memikul beban keseluruhan, ini akan mengakibatkan penurunan frekuensi yang sangat cepat.

### 3. Perhitungan perubahan frekuensi

Pembangkit perusahaan perminyakan "X" beroperasi dengan mode droop, dengan setting 4,8 % dari frekuensi dasar 50 Hz dengan beban puncak sebesar 3,324 MW, sehingga karakteristik dari kecepatan (frekuensi) terhadap beban dapat digambarkan seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Karakteristik kecepatan terhadap beban

Perubahan frekuensi sistem juga dipengaruhi oleh inersia dari mesin penggerak mula (diesel), untuk mencari inersia mesin/inersia paralel ( $H_{sistem}$ ), harus diperhitungkan inersia tiap-tiap mesin penggerak, dengan asumsi moment inersia ( $J$ )\* sebesar 280 kgm<sup>2</sup>, sehingga dapat dicari inersia dari tiap-tiap mesin sebagai berikut ;

**generator 1 ;**

$$H_1 = 5.48 \times 10^{-9} \frac{J(RPM)^2}{MVA_{rating}}$$

$$= 5.48 \times 10^{-9} \frac{280(1.500)^2}{1}$$

$$H_1 = 3,45 \text{ detik}$$

Dengan menggunakan cara yang sama didapatkan hasil **generator 3 ;**  $H_3 = 0,4676$  detik, **generator 4 ;**  $H_4 = 0,4676$  detik, **generator 8 ;**  $H_8 = 3,45$  detik, **generator 9 ;**  $H_9 = 5,3944$  detik

sehingga inersia paralel ( $H_{sistem}$ ) dapat dicari sebagai berikut \*\*;

$$H_{sistem} =$$

$$\frac{(H_{1xMVA})+(H_{3xMVA})+(H_{4xMVA})+(H_{8xMVA})+(H_{9xMVA})}{MVA+MVA+MVA+MVA+MVA}$$

$$H_{sistem} = \frac{(3,45x1)+(0,4678x0,820)+(0,4678x0,820)+(3,45x1)+(5,3944x0,640)}{1+0,820+0,820+1+0,640}$$

$$H_{sistem} = 2,5980 \text{ detik}$$

sedang laju perubahan frekuensi adalah sebesar ;

$$\frac{df}{dt} = -\frac{f_0}{2H} x \frac{P_{So}}{P_{GOT} - P_{SOR}}$$

$$= -\frac{50}{2 \cdot 2,5980} x \frac{3,424 - 3,324}{3,424 - 0,8}$$

$$= - 0,367 \text{ Hz/dtk}$$

laju penurunan frekuensi sebesar 0,367 Hz/dtk ini akan berhenti sampai mencapai nilai setting frekuensi pada *Programmable Logic Controller*.

**4. Skenario pelepasan beban**

Dengan menggunakan sebuah *Programmable Logic Controller* direncanakan untuk melepas beban sesuai dengan tingkat penurunan frekuensi, dengan tunda waktu seperti pada tabel 3.2.

\* Prabha Kundur, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, Inc

\*\* John Horak, David J. Finley, *Load Shedding for Utility and Industrial Power System Reliability*, 53<sup>rd</sup> Annual Georgia Tech Protective Relay Conference Atlanta, Georgia, May 5-7, 1999

Tabel 3.2 Skenario load shedding dengan PLC

Step	Frek. (Hz)	Lampu Indikator				Jenis Beban (lampu)				Tunda waktu (dtk)	Keterangan
		V <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>		
I	50,0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	Semua lampu indikator padam, dan semua lampu jenis beban nyala.
	49,7	0	0	0	1	1	1	1	1		Lampu indikator O <sub>1</sub> berkedip
	49,5	0	0	0	1	1	1	1	0		Lampu indikator O <sub>1</sub> nyala, lampu jenis beban O <sub>2</sub> padam.
	48,7	0	0	1	1	1	1	1	0		Lampu indikator O <sub>1</sub> nyala dan S <sub>1</sub> berkedip.
II	48,5	0	0	1	1	1	1	0	0	4	Lampu indikator O <sub>1</sub> dan

											S <sub>1</sub> nyala, lampu jenis beban O <sub>2</sub> dan S <sub>2</sub> padam.
III	48,2	0	1	1	1	1	1	0	0		Lampu indikator O <sub>1</sub> , S <sub>1</sub> nyala dan E <sub>1</sub> berkedip.
	48,0	0	1	1	1	1	0	0	0	7	Lampu indikator O <sub>1</sub> , S <sub>1</sub> dan E <sub>1</sub> nyala, lampu jenis beban O <sub>2</sub> , S <sub>2</sub> dan E <sub>2</sub> padam.
	47,7	1	1	1	1	1	0	0	0		Lampu indikator O <sub>1</sub> , S <sub>1</sub> , E <sub>1</sub> nyala dan V <sub>1</sub> berkedip.
IV	47,5	1	1	1	1	0	0	0	0	10	Semua lampu indikator nyala, dan semua lampu jenis beban padam.

Saat sistem load shedding bekerja dengan setting frekuensi seperti tabel 3.2, maka segera setelah terjadi laju penurunan frekuensi sampai pada nilai setting dan tunda waktu, *Programmable Logic Controller* melepas beban operasional sebesar 0,282 MW, pada frekuensi 49,5 Hz, sehingga perubahan frekuensi-nya dapat dihitung sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} \frac{df}{dt} &= -\frac{f_0}{2H} \times \frac{P_{SO}}{P_{GOT} - P_{SOT}} \\ &= -\frac{50}{2 \cdot 2,275} \times \frac{3,424 - 3,324 - 0,282}{3,424 - 0,8} \\ &= + 0.667 \text{ Hz/dtk} \end{aligned}$$

setelah *programmable logic controller* melepas beban operasional sebesar 0,282 MW, ternyata menurut perhitungan frekuensi sistem dapat kembali naik sebesar 0,667 Hz/dtk, laju kenaikan frekuensi ini akan mencapai frekuensi

normal 50 Hz, dan pada saat frekuensi dalam kondisi 50 Hz, pengaman frekuensi sistem akan menahan pada posisi ini.

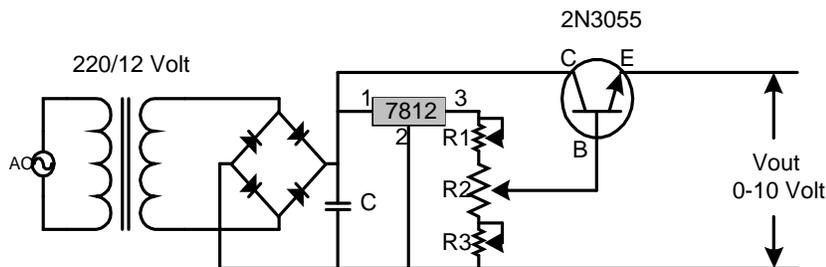
### 5. Implementasi sistem load shedding pada panel simulasi

Untuk merepresentasikan sistem load shedding pada panel simulasi dengan kendali *programmable logic controller* diperlukan peralatan : Personal Computer (PC), PLC, Regulator Vdc, Relay, Lampu Pijar, Tripleks, Terminal Kabel, Kabel.

#### Regulator tegangan dc

Regulator tegangan dc ini diasumsikan sebagai hasil pembacaan dari converter frekuensi ke tegangan yang dipasangkan pada rel-daya 6.100 Volt.

Range pada regulator tegangan dc adalah 0 – 10 Volt ini identik dengan frekuensi 45 – 55 Hz, cara kerja dari regulator ini dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.3 ;



Gambar 3.3 Rangkaian regulator tegangan dc

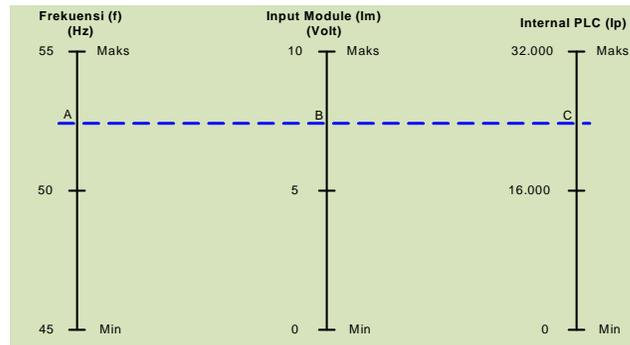
Sumber tegangan AC 220 Volt diturunkan tegangannya oleh transformator menjadi

12 Volt, tegangan transformator sekunder 12 Volt disearahkan melalui jembatan

dioda dan difilter dengan kapasitor C : 4.700 μF, bagian positif (+) tegangan DC 12 Volt disambungkan ke kaki nomor 1 IC LM7812 sebagai input, IC ini berfungsi sebagai regulator tegangan, kaki nomor 2 disambungkan ke ground dan kaki nomor 3 sebagai output (+) dari IC LM7812, dari output IC LM7812 disambungkan ke basis (B) melalui tahanan R1 trimpot 5 kΩ yang berfungsi untuk menahan batas tegangan atas, R2 potensio 10 kΩ berfungsi sebagai

tegangan input transistor 2N3055, dan tahanan R3 trimpot untuk menahan batas tegangan bawah, sedangkan emiter (E) dari 2N3055 sebagai output (+), tegangan output ini bisa diatur rangnya 0 – 10 volt, dengan mengatur R2.

Untuk menghitung nilai konversi dari frekuensi menjadi tegangan input module dan ke nilai internal pada *Programmable Logic Controller* ini dapat dijelaskan seperti gambar 3.4.



Gambar 3.4 Konversi frekuensi ke tegangan input module dan ke internal PLC

Perhitungan konversi dari frekuensi menjadi tegangan input module (Im) dan dari tegangan input module ke Internal PLC (Ip) dipakai persamaan interpolasi, persamaan interpolasi tersebut adalah sebagai berikut ;

$$\frac{A - F \text{ min}}{F_{\text{maks}} - F \text{ min}} = \frac{Im - Im \text{ min}}{Im_{\text{mak}} - Im \text{ min}}$$

$$Im - Im \text{ min} = (Im_{\text{mak}} - Im \text{ min}) \left( \frac{A - F \text{ min}}{F_{\text{mak}} - F \text{ min}} \right)$$

$$Im = \frac{(Im_{\text{mak}} - Im \text{ min})(A - F \text{ min})}{F_{\text{mak}} - F \text{ min}} + Im \text{ min}$$

Batas frekuensi yang dibaca antara 45–55 Hz, tegangan input module (Im) 0-10 Volt, maka pada saat frekuensi 50 Hz, tegangan input module (Im) adalah;

$$Im = \frac{(Im_{\text{mak}} - Im \text{ min})(A - F \text{ min})}{F_{\text{mak}} - F \text{ min}} + Im \text{ min}$$

$$= \frac{(10 - 0)(50 - 45)}{55 - 45} + 0$$

= 5 Vdc

Karena pada PLC GE Fanuc seri 90–30 ini mempunyai batas internal (Ip) antara 0–32.000, pada tegangan input module (Im) 0–10 Vdc, maka pada saat tegangan input module (Im) 5 Vdc, batas Internal PLC (Ip) adalah ;

$$Ip = \frac{(Ip_{\text{mak}} - Ip \text{ min})(Im - Im \text{ min})}{Im_{\text{mak}} - Im \text{ min}} + Ip \text{ min}$$

$$= \frac{(32.000 - 0)(5 - 0)}{10 - 0} + 0$$

= 16.000

Dengan konversi besaran-besaran diatas dan menyesuaikan titik-titik penelitian didapatkan selengkapnya, seperti pada tabel 3.4 ;

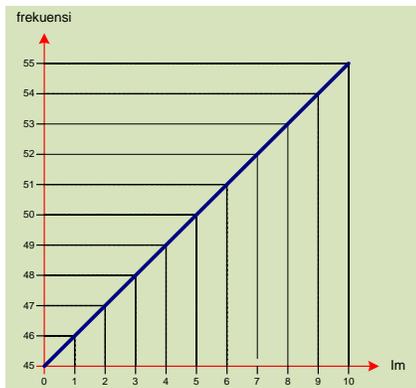
Tabel 3.4 Konversi frekuensi ke tegangan input module dan ke batas internal pada PLC

No	Frekuensi	Tegangan Input	Batas Internal
----	-----------	----------------	----------------

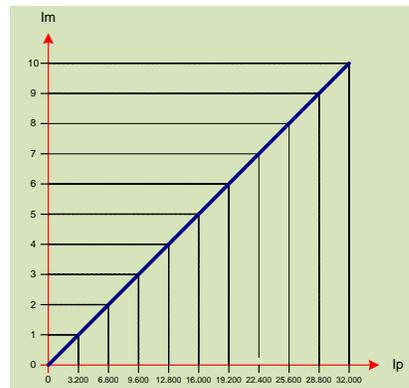
	(Hz)	Module(Volt)	PLC
1	55,0	10,0	32.000
2	50,0	5,0	16.000
3	49,7	4,7	15.040
4	49,5	4,5	14.400
5	48,7	3,7	11.840
6	48,5	3,5	11.200
7	48,2	3,2	10.240
8	48,0	3,0	9.600
9	47,7	2,7	8.640
10	47,5	2,5	8.000
11	45,0	0	0

Grafik Perbandingan frekuensi terhadap tegangan input module dan perbandingan input module terhadap batas internal pada

*Programmable Logic Controller* seperti terlihat pada gambar grafik 3.5a dan 3.5b.



Gambar 3.5a Grafik perbandingan frekuensi terhadap tegangan input module



Gambar 3.5b Grafik perbandingan tegangan input module terhadap batas internal PLC

**Panel simulasi**

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa sistem load shedding yang dibahas ini akan direpresentasikan pada sebuah panel simulasi seperti terlihat pada gambar 3.6, dengan penjelasan sebagai berikut ; Personal Computer, *Programmable Logic Controller* dan lampu indikator diasumsikan

berada didalam ruang *control room*, Regulator tegangan dc diasumsikan berada pada pembangkit dan Beban lampu V2, E2, S2, O2 diasumsikan berada pada kilang, kantor besar, rumah sakit, perumahan dan lain-lain.

V1 E1 S1 O1



V2

E2

S2



Gambar 3.6 Panel simulasi load shedding

Keterangan :

PC = Personal Computer

PLC = Programmable Logic Controller

Rgl = Regulator Vdc

V<sub>1</sub> = Lampu indikator beban *Vital*

E<sub>1</sub> = Lampu indikator beban *Essential*

S<sub>1</sub> = Lampu indikator beban *Support*

O<sub>1</sub> = Lampu indikator beban  
*Operational*

V<sub>2</sub> = Beban *Vital*

E<sub>2</sub> = Beban *Essential*

S<sub>2</sub> = Beban *Support*

O<sub>2</sub> = Beban *Operational*

R = Relay

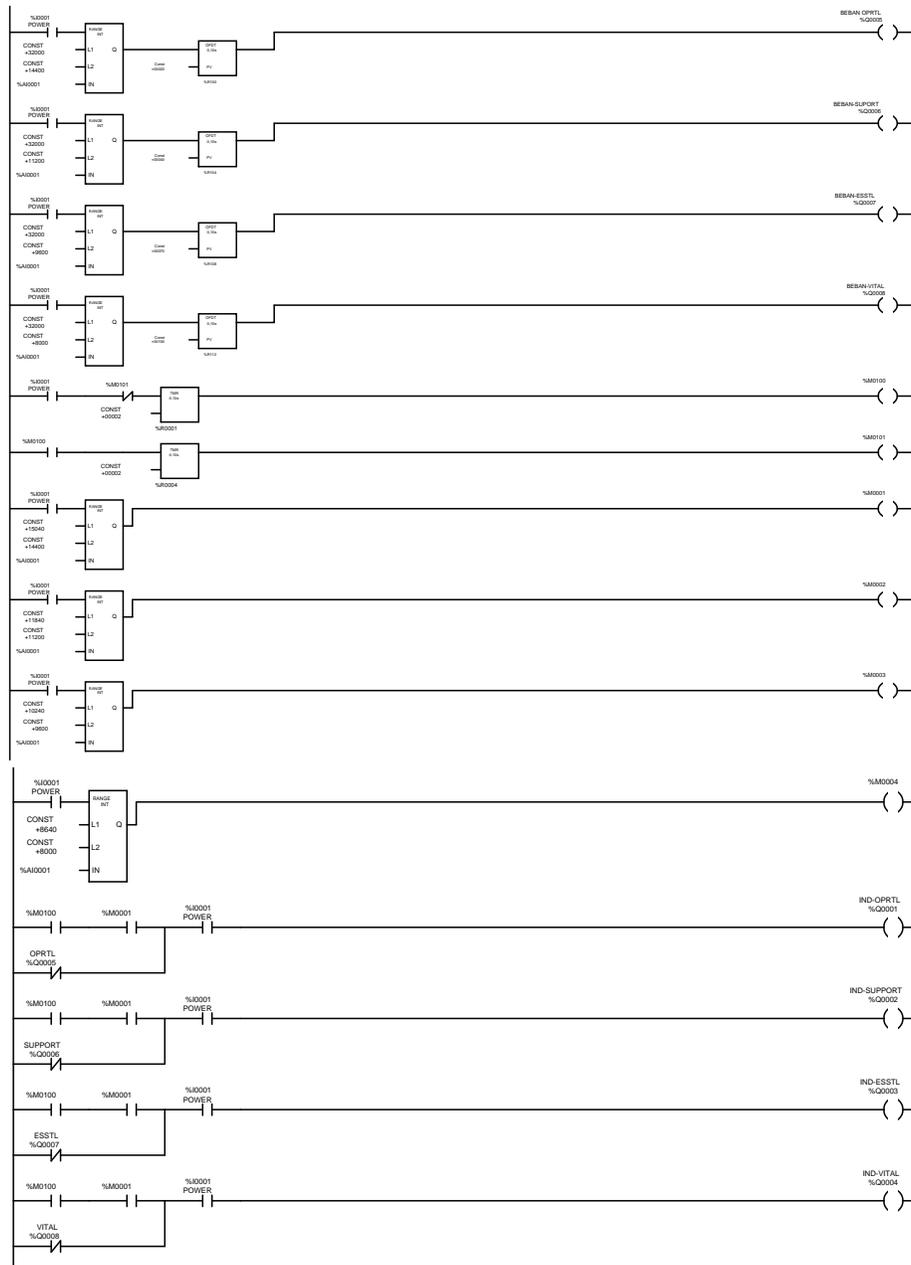
## B. Pemrograman

*Programmable Logic Controller* mempunyai dua jenis pemrograman yang harus dilakukan untuk menjalankan sistem *Load Shedding* dengan kendali PLC, kedua jenis program tersebut adalah program konfigurasi dan program package (program ladder).

### - Pemrograman ladder (program package)

Setelah selesai mem-program konfigurasi, selanjutnya memprogram ladder (sistem yang dikontrol oleh programmable logic controller) dalam hal ini adalah load shedding.

Untuk membuat ladder diagram sistem load shedding, serta untuk memasukkan nilai-nilai batas pengukurannya selengkapnya seperti gambar 3.7 ;



Gambar 3.7 Ladder diagram sistem load shedding

**C. Analisa Simulasi**

Sensor frekuensi yang terhubung dengan transducer disalurkan ke Load Shedding Trip Status kemudian diolah *Programmable Logic Controller* sehingga menghasilkan keputusan status trip, yang kemudian sinyal trip dikirimkan ke tripping coil CB. Pada simulasi load shedding dengan kendali *programmable Logic Controller* dapat dijelaskan ;

Saat sistem kelistrikan kehilangan daya 1 (satu) generator sebesar 1 MVA, sesuai dengan perhitungan frekuensi sistem akan turun sebesar 0,367 Hz/dtk, dan frekuensi ini akan berhenti sampai setting frekuensi Step I, yaitu pada frekuensi 49,5 Hz atau setelah dikonversikan ke tegangan analog input menjadi 4,5 volt. Saat tegangan analog input pada simulasi diturunkan dari 5 menjadi 4,8 Volt ini

identik dengan tegangan 50 – 49,8 Hz, keadaan masih normal lampu semua jenis beban menyala dan semua lampu indikator tidak menyala, karena semua kontak normally open (NO), kontak normally close (NC) tidak bekerja.

Saat tegangan analog input diturunkan menjadi 4,7 Volt atau 49,7 Hz, batas pengukuran pada PLC juga turun dari 32.000 menjadi 15.040 akibatnya akan membuat normally close (NC) %M0101 membuka, timer akan bekerja dan lampu indikator beban Operational (%Q0001) akan berkedip. Keadaan berkedip ini akan berhenti dan akan menyala tetap, saat batas pengukuran akan turun menjadi 14.400 atau tegangan 4,5 Volt dan ini identik dengan frekuensi 49,5 Hz, batas pengukuran ini juga adalah batas minimum lampu beban operational menyala setelah tunda waktu 2 detik, artinya bersamaan berhentinya lampu indikator beban operasional menjadi menyala, maka lampu beban operational (%Q0005) juga padam.

#### D. Hasil Simulasi

Saat tegangan analog input diturunkan menjadi 4,7 volt, dimana tegangan 4,7 volt

ini identik dengan frekuensi 49,7 Hz, PLC secara cepat menyalakan lampu indikator beban Operational untuk berkedip, begitu pula saat tegangan analog input ini diturunkan lagi menjadi 4,5 volt, PLC segera setelah tunda waktu 2 detik, langsung merespons dan membuat lampu indikator beban Operational berkedip menjadi nyala tetap dan sekaligus memutuskan lampu beban operational. Hasil uji simulasi selengkapnya seperti pada tabel 3.5.

Dengan melihat hasil uji coba seperti pada table 3.5 dibawah, dengan demikian ide alternatif di dalam sistem load shedding ini mempunyai keunggulan dari pelepasan beban secara manual maupun secara konvensional adalah sebagai berikut :

1. Operasi load shedding tidak tergantung pada manusia (bekerja secara otomatis)
2. Respons status trip lebih cepat dibandingkan dengan sistem manual
3. Lebih efektif untuk sistem yang berkembang secara cepat.
4. Akan menguntungkan untuk pelepasan beban yang banyak dengan lokasi yang tersebar.

Tabel 3.5 Hasil uji simulasi

Step	Frekuensi (Hz)	Tegangan Input (volt)	Tunda waktu (detik)	Keterangan
I	49,5	4,7	2	Lampu indikator beban Operational berkedip
		4,5		Lampu indikator beban Operational nyala tetap dan lampu beban Operational padam setelah tunda waktu 2 detik
II	48,5	3,7	4	Lampu indikator beban Support berkedip
		3,5		Lampu indikator beban Support nyala tetap dan lampu beban Support padam setelah tunda waktu 4 detik
III	48,0	3,2	7	Lampu indikator beban Essential berkedip
		3,0		Lampu indikator beban Essential nyala tetap dan lampu beban Essential padam setelah tunda waktu 7 detik
IV	47,5	2,7	10	Lampu indikator beban Vital berkedip
		2,5		Lampu indikator beban Vital nyala tetap dan lampu beban Vital padam setelah tunda waktu 10 detik



#### IV PENUTUP

##### A. Kesimpulan

1. Dari hasil penelitian dan uji simulasi *load shedding*, telah membuktikan bahwa PLC dapat diaplikasikan untuk mendesain sistem otomatisasi *load shedding* dengan cepat dan akurat, sesuai urutan pelepasan beban yang dikehendaki (VESO).
2. Simulasi *load shedding* dengan kendali *programmable logic controller* ini, merupakan alternatif yang sesuai dengan keadaan perusahaan perminyakan "X", akan tetapi ada kendala karena transformator-transformator beban, letaknya jauh tersebar dari pusat pembangkit, serta belum ada pemisahan antara beban vital dan non vital.
3. Simulasi diperlukan sebelum diaplikasikan pada suatu sistem, hal ini dimaksudkan untuk memberikan suatu kajian/analisa, sehingga diharapkan pada pelaksanaan nantinya kegagalan bisa diminimalisir, disamping itu juga dapat dipakai sebagai sarana pembelajaran bagi karyawan di perusahaan "X".

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Djiteng Marsudi, 1990. **Operasi Sistem Tenaga Listrik**, Balai Penerbit & Humas ISTN.
2. Herman. 1997. **Elec 310**. Australia. Box Hill Institute of Taff.
3. Thomas A. Hughes. 1989. **Programmable Controllers**. North Carolina. Instrument Society of America.
4. John Horak, David J. Finley, 1999. **Load Shedding for Utility and Industrial Power System Reliability**, 53<sup>rd</sup> Annual Georgia Tech Protective Relay Conference Atlanta, Georgia, May 5-7. \*\*
5. Prabha Kundur, **Power System Stability and Control**, McGraw-Hill, Inc.\*
6. Hand Books. 1996. **Programmable Controllers**. Charlottesville, Virginia. GE Fanuc Automation North America Inc.