

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### **4.1 Sistem Tenaga Perusahaan Minyak dan Gas Balikpapan**

Persuhaan Minyak dan Gas Balikpapan memiliki dua sistem tenaga listrik, yaitu: *Lex Power House (LEX Plant)* dan *Process Power House (Process Plant)*. Kedua sistem tenaga listrik tersebut saling terhubung melalui kabel (*feeder*). Hal ini bertujuan untuk menghindari adanya kekurangan suplai daya terhadap setiap beban yang ditanggung akibat adanya gangguan sehingga dapat menyebabkan berkurangnya produksi minyak dan gas. Sistem tenaga listrik Persuhaan Minyak dan Gas Balikpapan menggunakan standar ANSI (*American National Standard Institute*) dan frekuensi 50 Hz. Tegangan yang dihasilkan pada generator adalah 4,16 kV. Sedangkan pada beban motor yang digunakan rata-rata menggunakan tegangan 415 V.

##### **4.1.1 Sistem Pembangkitan Listrik *LEX Plant***

Pembangkit listrik di *LEX Plant* yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Gas yang memanfaatkan gas alam yang ada. Pembangkit ini menyuplai hampir seluruh kebutuhan listrik yang ada di *LEX (Liquid Extraction) Plant*. Power House *LEX Plant* memiliki 6 unit Generator Gas Turbin dengan kapasitas masing – masing generator yaitu 1000 KVA, 800KW dengan *power factor* 0,8 . Saat ini pembangkit yang aktif

hanya 4 unit dari 6 yang ada, dimana untuk memenuhi kebutuhan listrik diseluruh beban dan bekerja secara bergantian.

#### **4.1.2 Sistem Pembangkitan Listrik Proses *Plant***

Pembangkit listrik yang ada pada Proses *Plant* yaitu terdiri dari 4 pembangkit listrik tenaga listrik uap (PLTU) dengan masing-masing generator memiliki kapasitas 500 KW dan memiliki *power factor* 0,8 Pf. Pembangkit listrik di Proses *Plant* ini hanya akan aktif atau digunakan ketika minyak bumi (*crude oil*) di terima dari lapangan-lapangan pengeboran minyak bumi. Pada Proses *Plant*, hanya 3 generator yang aktif yaitu G801A, G801B dan G801C. Sedangkan G801D pada status stand-by.

#### **4.1.3 Beban-Beban Perusahaan Minyak dan Gas Balikpapan**

Untuk memproses, menampung dan mengapalkan minyak dan gas yang ada pada Terminal Santan, diperlukan beban-benar yang harus disuplai dari pembangkit, diantaranya:

- ***LEX Plant***

*LEX (Liquid Extraction) Plant* ini digunakan untuk pengolahan gas bumi, *carrying gas*, dan *solution gas* menjadi LPG, butana dan pentana. *Plant* ini dimaksudkan untuk mengekstraksi propana dari gas. Produksi gas dari *LEX Plant* berupa residu gas (metana dan etana), propana, butana dan pentana-plus. Produk propana dan butana cair dikirim ke tangki penampungan untuk diekspor, pentana plus diinjeksikan ke dalam *crude oil* sebelum dimasukkan ke dalam tangki

penyimpanan, sedangkan gas residu dikirim ke pabrik Pupuk dan Perusahaan Gas.

*LEX Plant* terdiri dari beberapa fasilitas, yaitu:

1. *Main Office/Maintenance*

Bagian *Maintenance* di Terminal Santan bertugas untuk memelihara dan memperbaiki peralatan-peralatan penunjang proses produksi supaya terjaga keandalannya serta performanya. *Maintenance* sendiri terdiri berapa seksi yakni *Turbo Machinery Team*, *Electrical Team*, *Instrument Team* dan *Mechanical Team*.

2. MCC A, B, C dan D

Merupakan bagian yang paling penting dalam proses pengolahan gas alam hasil penegboran minyak dan gas. MCC ini bertugas untuk mengelola hasil yang didapatkan pada sumur minyak ingga menjadi produk yang nantinya akan dikirimkan ke perusahaan lain.

3. *Crude Stabilizer*

Merupakan bagian yang berfungsi sebagai menghilangkan komponen-komponen yang tidak diinginkan pada gas hasil produksi seperti gas tingan (*hydrogen sulfide*) sebelum dikirim menuju tangka penyimpanan

#### 4. *Lightning*

Bagian ini memiliki berupa panel-panel penerangan yang terhubung pada MMC A,B,C dan D hingga penerangan yang ada pada beban-beban di *Process Plant*

#### 5. *Mixer Tank*

Berfungsi sebagai pengontrol jumlah lumpur yang didapatkan dari sumur-sumur yang ada

#### 6. *Housing*

*Housing* atau perumahan merupakan tempat tinggal sementara bagi pekerja yang bekerja pada perusahaan tersebut pada jangka waktu tertentu. Selain perumahan, dapur juga menjadi beban yang ada pada *housing*.

#### 7. *Dispatch*

Bagian ini bertugas mengenai penyimpanan dan pengapalan minyak mentah maupun produk LPG propana dan butana. Selain itu, bagian ini juga melakukan hitungan (*metering*) terhadap produk minyak dan LPG yang akan dijual. Untuk menyimpan minyak mentah terdapat 5 buah *storage tank* bertipe *floating proof* yang masing-masing berkapasitas 500.000 barrel. Selain itu, terdapat 2 buah *storage tank* untuk menampung kondensat yang berasal dari LNG. Propana cair hasil pengolahan di *LEX Plant* disimpan dalam dua buah *sphere tank* yang masing-masing berkapasitas 25,000 bbl sedangkan butana cair disimpan

dalam dua buah *sphere tank* dengan kapasitas masing-masing 15,000 bbl. Pemuatan minyak dari tangki penyimpanan ke kapal tanker dilakukan dengan menggunakan SBM (*Single Buoy Mooring*). Sedangkan permuatan produk LPG Propana ke kapal tanker dilakukan dengan menggunakan *loading platform*.

Tabel 4.1 Beban-Beban *LEX Plant*

NO	BEBAN	DAYA (KW)
1	MMC A	380
2	MCC B	440
3	MCC C	230
4	MCC D	90
5	<i>Main Office</i>	80
6	<i>Crude Stabilizer</i>	90
7	<i>Waste Water Treatment (WEMCO)</i>	430
8	<i>Housing &amp; Dispatch</i>	300

Tabel 4.2 Beban-Beban LEX Plant

9	<i>Lightning</i>	85
10	<i>Tank Mixer A-G</i>	30
11	<i>Compressor Station</i>	120

- ***Prosses Plant***

Fasilitas *Process Plant* digunakan untuk memproses minyak mentah dari hasil dari pengeboran beberapa sumur minyak yang diproduksi di beberapa sumur. Selain itu juga pada *Plant* ini juga digunakan untuk mengirimkan ke perusahaan-perusahaan yang telah bekerja sama dalam proses pengolahan minyak mentah.

1. *Compressor Station*

*Compressor Station* ini adalah milik Perusahaan yang dioperasikan oleh perusahaan lain. Tujuan dari *station* ini adalah untuk menaikkan tekanan gas sehingga dapat mengalir ke pabrik Pupuk. *Station* ini terdiri dari dua tahap kompresi (2 *stage*). Tiap *stage* terdiri dari 3 kompresor. Tekanan masuk *stage* 1 adalah 170 psig dan tekanan keluar dari *stage* 2 adalah 775 psig.

## 2. *Warehouse*

Bagian utama dari Warehouse ini adalah beban-beban pendingin pada seluruh generator yang ada pada *LEX Plant* ataupun *Process Plant*.

## 3. *Utility*

Merupakan tempat beban-beban seperti *Jockey Pump*, *Generator Cooler Fan*, *Generator Building Fan*, dll.

## 4. *AB-C Train*

Pada fasilitas *train* A, B dan C yang setiap trainnya merupakan rangkaian peralatan proses seperti *separator*, *exchanger*, *compressor*, dan lainnya. Train A, B dan C digunakan untuk memproses minyak mentah dari sumur yang berbeda.

## 5. *Waste Water Treatmen*

*Waste Water Pump* atau biasa disebut WEMCO merupakan bagian yang terpenting dalam mengelola sisa-sisa hasil produksi yang tidak lagi dipakai dan dikelola sebelum dibuang kembali sehingga mencapai standar tertentu agar tidak merusak lingkungan



## **4.2 Pelepasan Beban**

Proses pelepasan beban yang akan dilakukan tentu tidak boleh memewati ketentuan-ketentuan yang ada

### **4.2.1.Kombinasi-Kombinasi Pelepasan Generator**

Pelepasan beban dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6 dapat dilakukan ketika terjadi penurunan frekuensi melalui ketidakseimbangan suplai daya aktif dengan perminaan daya pada beban. Ketidakseimbangan supali daya tersebut didapatkan melalui seknario variasi generator lepas. Perusahaan Minyak dan Gas Balikpapan memiliki 10 unit generator dengan penggerak utama adalah tenaga uap. Hanya 7 yang beroperasi, yaitu: 4 generator *LEX Plant* dan 3 generator *Prosses Plant*. Sedangkan 1 generator pada masing-masing *Plant* tersebut pada status *stand-by*. Pada *LEX Plant* maupun *Process Plant* memiliki *rate* suplai daya aktif yang berbeda, karena perbedaan tersebut maka dibuat beberapa kombinasi generator lepas yang dapat menggambarkan kemungkinan beban lebih yang terjadi pada sistem tenaga listrik.

Melalui 7 unit generator tersebut dibuat beberapa variasi generator lepas yang dapat terjad sehingga dapat mengakibatkan adanya beban lebih. Setelah melakukan kombinasi generator lepas diatas maka didapatkan banyaknya beban lebih (*overload*) pada masing-masing kondisi generator lepas seperti pada Tabel dibawah.

Tabel 4.4 Kombinasi Generator Lepas

No	G1A	G1B	G1C	G1D	G801A	G801B	G801C	Overload (kw)
1	0	1	1	1	1	1	1	538
2	1	1	1	1	0	1	1	309
3	0	0	1	1	1	1	1	1062
4	0	1	1	1	0	1	1	973
5	0	0	0	1	1	1	1	2111
6	0	0	1	1	0	1	1	1416
7	1	1	1	1	0	0	1	588
8	1	1	1	1	0	0	0	898
9	0	1	1	1	0	0	1	1250
10	0	1	1	1	0	0	0	1609
11	0	0	0	1	0	1	1	2631
12	0	0	1	1	0	0	1	2194
13	0	0	0	1	0	0	1	2994

Keterangan:

0 = Generator Lepas

1 = Generator Beroperasi

Berdasarkan hasil simulasi pada masing-masing kombinasi generator lepas, didapatkan bahwa sistem mengalami kelebihan terkecil pada saat salah satu generator pada Proses *Plant* mengalami lepas dari sistem yaitu kelebihan beban 309 kw. Sedangkan kelebihan terbesar pada saat kondisi 3 generator pada *LEX Plant* dan 2 generator *Process Plant* lepas dari sistem dengan kelebihan beban 2994 kw.

#### 4.2.2. Laju Penurunan Frekuensi

Untuk dapat mengatasi terjadinya penurunan frekuensi pada sistem tenaga listrik yang disebabkan oleh generator lepas dari sistem, maka diperlukan pelepasan beban

untuk memulihkan frekuensi tersebut kembali kepada frekuensi yang diizinkan. Pada bab sebelumnya telah dibahas mengenai syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk dapat melakukan pelepasan beban. Syarat tersebut antara lain adalah beban dilepas secara bertahap. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi apabila pelepasan beban tahap pertama telah dilakukan tetapi frekuensi belum juga pulih, sehingga kemudian masih dapat dilakukan pelepasan beban tahap kedua dan seterusnya untuk memperbaiki frekuensi. Oleh sebab itu, diperlukan perhitungan untuk dapat menentukan pada frekuensi tertentu dan besar beban yang dilepaskan pada setiap tahapan frekuensi tersebut.

Penentuan tahapan frekuensi mengacu kepada standar internasional IEEE C37-106-2003 dan variasi penurunan frekuensi per detik (Hz/s) yang mungkin terjadi didapatkan dari kombinasi generator lepas. Untuk dapat memperkirakan tahapan frekuensi kerja rele frekuensi ketika terjadi penurunan frekuensi pada sistem tenaga listrik, dibutuhkan perkiraan variasi penurunan frekuensi per detik (Hz/s) dari beberapa skenario kombinasi pelepasan generator yang telah ditentukan sebelumnya dengan menggunakan persamaan ayunan (*swing equation*).

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

Beberapa parameter yang digunakan untuk dapat menentukan besarnya penurunan frekuensi per detik atau laju penurunan antara lain adalah besar kelebihan beban dari masing-masing skenario yang telah didapatkan diatas, rata-rata *rating* MVA generator yang digunakan pada sistem tenaga listrik tersebut, rata-rata konstanta inersia

yang dimiliki generator, dan frekuensi nominal sistem. Sistem tenaga listrik Perusahaan Minyak dan Gas Balikpapan memiliki 7 buah generator yang beroperasi memiliki kapasitas dan diasumsikan semua generator memiliki konstanta inersia yang sama yaitu 5. Berikut perhitungan hingga didapatkannya laju penurunan frekuensi pada setiap kombinasi generator lepas:

Tabel 4.5 Kapasitas dan Konstanta Inersia Generator

Generator	H	MVA
G1A	5	1
G1B	5	1
G1C	5	1
G1D	5	1
G810A	5	0.588
G810B	5	0.588
G810C	5	0.588

Berdasarkan data konstanta inersia masing-masing generator diatas, maka konstanta inersia sistemnya adalah

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

$$H_{net} = \frac{5(1) + 5(1) + 5(1) + 5(1) + 5(0.588) + 5(0.588) + 5(0.588)}{1 + 1 + 1 + 1 + 0.588 + 0.588 + 0.588} = 5 \text{ MJ/MVA}$$

Kemudian diperlukan juga nilai rata-rata dari seluruh generator yang ada pada sistem tenaga listrik tersebut yang hanya beroperasi saja.

$$G = \frac{1 + 1 + 1 + 1 + 0.588 + 0.588 + 0.588}{7} = 823.43 \text{ kVA}$$

Sehingga didapatkan konstanta inersia sistem 5 MJ/MVA dan rata-rata generator yang beroperasi adalah 823.43 kVA. Selanjutnya laju penurunan frekuensi pada masing-masing kombinasi dapat dihitung dibawah ini.

- **Generator G1A Trip**

Beban Lebih = 538 kW

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

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{538}{2(5)(823.43)} \right) \times 50 = -3.27 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G810A Trip**

Beban Lebih = 309 kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{309}{2(5)(823.43)} \right) \times 50 = -1.88 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G1A dan G1B Trip**

Beban Lebih = 1062 kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{1062}{2(5)(823.43)} \right) \times 50 = -6.54 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G1A dan G810A Trip**

Beban Lebih = 973 kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{973}{2(5)(823.43)} \right) \times 50 = -5.91 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G1A, G1B dan G1C Trip**

Beban Lebih = 2111 kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{2111}{2(5)(823.43)} \right) \times 50 = -12.81 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G1A, G1B dan G810A Trip**

Beban Lebih = 18.16 kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{1416}{2(5)(823.43)} \right) \times 50 = -11.03 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G810A dan G810B Trip**

Beban Lebih = 588 kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{588}{2(5)(823.43)} \right) x 50 = -3.57 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G810A, G810B dan G810C Trip**

Beban Lebih = 898 kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{898}{2(5)(823.43)} \right) x 50 = -5.45 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G1A, G810A dan G810B Trip**

Beban Lebih = 1250kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{1250}{2(5)(823.43)} \right) x 50 = -7.59 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G1A, G810A, G810B dan G810C Trip**

Beban Lebih = 1609 kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{1323}{2(5)(823.43)} \right) x 50 = -8.03 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G1A, G1B, G1C dan G810A Trip**

Beban Lebih = 2631 kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{2631}{2(5)(823.43)} \right) \times 50 = -15.98 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G1A, G1B, G810A dan G810B Trip**

Beban Lebih = 2194 kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{2194}{2(5)(823.43)} \right) \times 50 = -13.32 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G1A, G1B, G810C, G810A dan G810B Trip**

Beban Lebih = 2994 kW

$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{2994}{2(5)(823.43)} \right) \times 50 = -18.18 \text{ Hz/s}$$

#### 4.2.3. Frekuensi Pelepasan Beban

Setelah mendapatkan beberapa laju penurunan frekuensi, untuk dapat menentukan pada frekuensi berapa pemutus tenaga benar-benar bekerja dibutuhkan perkiraan waktu kerja rele. Waktu kerja rele dipengaruhi oleh waktu *pick up*, waktu rele dan waktu pemutus tenaga (*CB*). Waktu *pick up* dipengaruhi oleh besarnya penurunan frekuensi per detik sehingga nilai waktu *pick up* akan berbeda di setiap kombinasi. Untuk dapat memperoleh nilai waktu *pick up* di setiap kombinasi maka digunakan rumus berikut ini:

$$t_{pick-up} = \frac{f_0 - f_1}{\frac{df}{dt}}$$

Frekuensi acuan tahap pertama yang digunakan adalah 49.6 Hz dengan waktu tunda 1 detik dengan mengingat frekuensi minimal yang diijinkan untuk generator turbin gas bekerja tanpa batas waktu dengan frekuensi nominal 50 Hz sesuai standar internasional IEEE C37-106 2003 adalah 49.6 Hz atau 99.16%. Waktu kerja rele yang digunakan 50 ms dan waktu kerja pemutus tenaga hingga rangkaian terbuka adalah 100 ms. Kemudian, lamanya waktu kerja rele mulai dari *pick up* hingga pemutus tenaga bekerja dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$t_{trip} = t_{pick-up} + t_{cb} + t_{relay}$$

$$t_{trip} = t_{pick-up} + 0,15$$

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 kerja rele ( $t_{trip}$ ).

$$f_{load shedding} = \left( f_n - \frac{df}{dt}(t_{trip}) \right)$$

Melalui rumus diatas, perkiraan nilai frekuensi saat pemutus tenaga benar-benar bekerjanantinya dapat digunakan sebaga pedoman dalam menentukan tahapelepasan beban kedua dan seterusnya dengan menggunakan tahap pelepasan beban pertama adalah ketika frekuensi sistem turun hingga 49.6 Hz. Dari skenario kombinasi generator lepas terdapat berbagai variasi nilai frekuensi ketika pemutus

tenaga benar-benar bekerja. Variasi nilai tersebut, nilai frekuensi yang paling tinggi akan menjadi pedoman untuk pelepasan beban tahap kedua, yaitu sedikit lebih kecil dari nilai frekuensi tersebut. Berikut perhitungan untuk setiap kombinasi generator lepas:

- **Generator G1A Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{f_0 - f_1}{\frac{df}{dt}}$$

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{3.27} = 0.122 \text{ s}$$

$$t_{trip} = t_{pick-up} + t_{cb} + t_{relay}$$

$$t_{trip} = 0.122 + 0.15 = 0.272 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = \left( f_n - \frac{df}{dt} (t_{trip}) \right)$$

$$f_{load shedding} = (50 - [3.27 \times 0.272]) = 49.11 \text{ Hz}$$

- **Generator G810A Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{1.88} = 0.212 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.212 + 0.15 = 0.363 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [1.88 \times 0.363]) = 49.32 \text{ Hz}$$

- **Generator G1A dan G1B Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{6.45} = 0.06 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.06 + 0.15 = 0.212 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [6.49 \times 0.212]) = 48.63 \text{ Hz}$$

- **Generator G1A dan G810A Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{5.91} = 0.067 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.067 + 0.15 = 0.217 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [5.91 \times 0.217]) = 48.71 \text{ Hz}$$

- **Generator G1A, G1B dan G1C Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{12.82} = 0.03 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.03 + 0.15 = 0.18 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [12.82 \times 0.18]) = 47.68 \text{ Hz}$$

- **Generator G1A, G1B dan G810A Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{11.03} = 0.036 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.036 + 0.15 = 0.186 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [11.03 \times 0.186]) = 47.95 \text{ Hz}$$

- **Generator G810A dan G810B Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{3.57} = 0.11 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.112 + 0.15 = 0.262 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [3.57 \times 0.262]) = 49.06 \text{ Hz}$$

- **Generator G810A, G810B dan G810C Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{1.88} = 0.007 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.0073 + 0.15 = 0.223 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [5.45 \times 0.223]) = 48.71 \text{ Hz}$$

- **Generator G1A, G810A dan G810B Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{7.59} = 0.052 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.052 + 0.15 = 0.202 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [7.9 \times 0.202]) = 48.46 \text{ Hz}$$

- **Generator G1A, G810A, G810B dan G810C Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{9.77} = 0.04 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.04 + 0.15 = 0.19 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [9.77 \times 0.19]) = 48.13 \text{ Hz}$$

- **Generator G1A, G1B, G1C dan G810A Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{15.98} = 0.025 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.025 + 0.15 = 0.175 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [15.98 \times 0.175]) = 47.20 \text{ Hz}$$

- **Generator G1A, G1B, G810A dan G810B Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{1.332} = 0.03 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.03 + 0.15 = 0.18 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [13.32 \times 0.18]) = 47.60 \text{ Hz}$$

- **Generator G1A, G1B, G810C, G810A dan G810B Trip**

$$t_{pick-up} = \frac{50 - 49.6}{18.18} = 0.02 \text{ s}$$

$$t_{trip} = 0.02 + 0.15 = 0.17 \text{ s}$$

$$f_{load shedding} = (50 - [18.18 \times 0.17]) = 46.87 \text{ Hz}$$

Berdasarkan perhitungan waktu pemutusan dan frekuensi pelepasan beban yang telah dihitung diatas, maka hanya diambil 4 pelepasan beban saja yaitu :

Tabel 4.6 Frekuensi *Pick-Up*

Tahap Ke-	Frekuensi <i>Pick-Up</i> (Hz)
1	49.32
2	49.11
3	48.78
4	48.46

#### 4.2.4. Prioritas Beban Berdasarkan Kepentingan Produksi

Beban di Perusahaan Minyak dan Gas Balikpapan dikelompokkan menjadi tiga tingkatan , berdasarkan kepentingan beban terhadap proses produksi ataupun kegunaan beban lainnya. Tingkatan tersebut menggambarkan tingkat urgensi beban. Ketiga kelompok tersebut adalah:

- Tingkat I yaitu beban – beban utama yang menunjang proses produksi, jadi beban yang ini jika ada pemadaman (Black out) maka produksi juga akan terhenti. Dampak dengan adanya pemadaman dapat mengakibatkan bahaya , sehingga beban tingkat ini tidak boleh berhenti.

- Tingkat II yaitu beban yang menjadi penunjang atau pelengkap bagi *performance proses* produksi, jadi beban ini hanya berfungsi agar produksi yang dihasilkan memiliki spesifikasi sesuai keinginan pelanggan, atau agar produksi mempunyai hasil yang optimal. Untuk kelompok tingkat II ini merupakan beban dengan prioritas kedua untuk tetap mendapatkan daya listrik apabila pembangkit masih mampu melayakkan pelayanan, dan jika pembangkit tidak mampu melakukan pelayanan maka beban ini dapat dilepaskan atau dipadamkan dan produksi dapat tetap berjalan meskipun spesifikasi hasil produksi masih dibawah standar yang ditentukan.
- Tingkat III yaitu beban yang tergolong bukan beban penunjang produksi dan beban produksi , dimana beban ini dirasa kurang penting dari sisi kepentingan produksi. Beban tingkat III ini yang menjadi prioritas terakhir untuk dipertahankan atau prioritas utama yang akan dilepaskan (dipadamkan) apabila terjadi kegagalan pada pembangkit.

Beban yang termasuk kedalam prioritas I,II, dan III diantaranya terdapat pada

Tabel di bawah ini

- **Kelompok I (Tingkat I)**

Yang termasuk beban tingkat I yaitu tergolong beban yang sangat penting , beban yang berperan penting dalam proses produksi :

- Transformator A
- Transformator B
- Transformator C

- Feeder menuju Proses *Plant*
- Beban Proteksi Keselamatan

- **Kelompok II (Tingkat II)**

Yang termasuk beban tingkat II yaitu tergolong beban sebagai beban penunjang proses produksi :

- Pompa 71

- **Kelompok III (Tingkat III)**

Yang termasuk tingkat III yaitu selain beban yang disebutkan diatas yaitu beban yang tidak termasuk dalam beban proses produksi :

- *Mess Hall*
- *Housing*
- *Dispatch*
- Klinik
- *Office*

Sesuai dengan kategori beban diatas , beban yang dilepaskan jika terjadi kegagalan dalam pembangkit adalah beban non esensial, beban yang tidak termasuk beban proses produksi sehingga bisa untuk di lepaskan jika terjadi kegagalan pembangkit. Beban yang akan dilepaskan yaitu beban yang tergolong dalam Tingkat III. Tabel 4.5 dibawah ini menunjukkan prioritas beban yang dilepas berdasarkan terjadi kegagalan operasi pada generator

Tabel 4.7 Prioritas Pelepasan Beban

Beban	*Prioritas
Housing	0
Dispatch	0
Main Office	1
Pompa P-71	1

Tabel 4.8 Prioritas Pelepasan Beban

AB-Train	2
MCC D	3
MCC B	3
Warehouse	3
Utility	4
WEMCO	5
MCC A dan C	5
Feeder To <i>Process Plant</i>	5

\*prioritas 0 adalah beban yang paling pertama dilepas

Berdasarkan Tabel 4.5 diatas, memperlihatkan bahwa Housing dan Dispatch dipilih menjadi beban yang paling pertama yang dlepas ketika terjadi gangguan. Housing dipilih karena termasuk beban tingkat 3 dan Dispatch karena hanya berfungsi sebagai pengapalan dan pengukuran hasil produksi. Kemudian Main Office prioritas berikutnya karena merupakan wilyah perkantoran yang mencakup selain kantor juga ada bagian maintenance dan juga klinik. Begitu juga dengan Pompa P-71 karena sudah menjadi beban tingkat 2 yang hanya membantu proses produksi.

Beban prioritas ke 3 adalah AB Train, MCC D dan MMC B karena dengan lepasnya beban-beban ini hanya akan mengurangi jumlah hasil produksi. Untuk prose minyak mentah, *Process Plant* masih mampu melakukan produksi melalui C Train dan *LEX Plant* masih dapat melalui MCC A atau C.

#### 4.2.5. Laju Pemulihan dan Besar Beban yang Dilepas

Ketepatan dalam menentukan jumlah beban yang dilepas saat frekuensi mencapai nilai tertentu, sangat diperlukan dalam pelepasan beban. Untuk sebuah perusahaan yang bergerak dalam bidang minyak dan gas, jumlah beban yang tersebut harus dirancang seminimal mungkin tanpa mengurangi unjuk kerja sistem tenaga listrik. Jumlah beban yang harus dilepaskan untuk memulihkan frekuensi bergantung pada kecepatan pemulihan frekuensi yang diharapkan. Untuk dapat memperkirakan kecepatan pemulihan yang terjadi setelah pelepasan beban, hal yang harus ditentukan adalah lamanya waktu pemulihan yang ingin dicapai. Waktu pemulihan yang diharapkan ketika terjadi penurunan frekuensi pada sistem tenaga listrik ini adalah 10 detik. Dengan menggunakan persamaan berikut pada setiap skenario, maka akan didapatkan variasi kecepatan pemulihan frekuensi dimana frekuensi awal setiap skenario adalah frekuensi ketika pemutus tenaga bekerja:

$$f_0 = f + \frac{df}{dt}t$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{f_0 - f}{t}$$

Sehingga perhitungan laju pemulihan frekuensi pada setiap frekuensi pelepasan beban adalah

- **Generator G810A Trip**

$$\frac{df}{dt} = \frac{f - f_0}{t}$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{50 - 49.32}{10} = 0.028 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G1A Trip**

$$\frac{df}{dt} = \frac{50 - 49.06}{10} = 0.089 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G810A, G810B, dan G801C Trip**

$$\frac{df}{dt} = \frac{50 - 48.78}{10} = 0.12 \text{ Hz/s}$$

- **Generator G1A, G810A dan G810B Trip**

$$\frac{df}{dt} = \frac{50 - 48.46}{10} = 0.15 \text{ Hz/s}$$

Dengan menggunakan nilai kecepatan pemulihan frekuensi yang harus dicapai maka dapat ditentukan besarnya beban yang harus dilepas dengan menggunakan persamaan berikut:

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

$$P_{load\ shedding} = - \left[ P_{load} - P_{gen} \times \frac{\frac{df}{dt} 2GH_{net}}{f_0} \right]$$

Sehingga perhitungan jumlah beban yang harus dilepaskan pada setiap frekuensi pelepasan beban adalah

- **Generator G801A Trip**

$$P_{load\ shedding} = - \left[ P_{load} - P_{gen} \times \frac{\frac{df}{dt} 2GH_{net}}{f_0} \right]$$

$$P_{load\ shedding} = - \left[ -309 \times \frac{0.068 \times 2 \times 823.43 \times 5}{50} \right] = 320\ kW$$

- **Generator G1A Trip**

$$P_{load\ shedding} = - \left[ -538 \times \frac{0.089 \times 2 \times 823.43 \times 5}{50} \right] = 552\ kW$$

- **Generator G810A, G810B, dan G801C Trip**

$$P_{load\ shedding} = - \left[ -898 \times \frac{0.12 \times 2 \times 823.43 \times 5}{50} \right] = 918\ kW$$

- **Generator G1A, G810A dan G810B Trip**

$$P_{load\ shedding} = - \left[ -1250 \times \frac{0.15 \times 2 \times 823.43 \times 5}{50} \right] = 1275\ kW$$

#### 4.2.6. Beban yang Dipilih untuk Dilepas

Selama proses pelepasan beban, *islanding* dapat terjadi pada sistem tenaga listrik, sehingga dalam pemilihan beban setiap tahap pelepasan beban merupakan

kombinasi beban di *LEX Plant* dan *Process Plant* serta prioritas beban. Berikut ini adalah tahap-tahap pelepasan beban beserta pemilihan beban yang akan dilepas pada saat terjadi penurunan frekuensi:

Tabel 4.9 Besar Daya Pelepasan Beban

Tahap ke-	<i>Plant</i>	Beban	kW
1	LEX	Housing	126
		Dispatch	158
2	LEX	Pompa P-71	225
3	Process	AB Train	271
4	LEX	MCC D	90
	LEX	MCC B	380
	Process	Warehouse	32
Total			1282

Selain pelepasan beban, pada sistem tenaga listrik Perusahaan Minyak dan Gas Balikpapan juga dapat dilakukan pemindahan beban dari *LEX Plant* ke *Process Plant* atau sebaliknya. Hal ini bertujuan agar ketika terjadi kondisi generator lepas pada sgenerator pemindahan beban akan menyeimbangan suplai daya yang dikirim pada sistem tenaga listrik tersebut. Beban-beban yang dapat dipindahkan antara lain:

- Compressor Station
- Waste Water Treatment (WEMCO)

### 4.3. Pengaturan *Under Frequency Relay* pada Perangkat Lunak ETAP

Untuk dapat mensimulasikan adanya gangguan generator lepas dari sistem dan melihat respon frekuensi dari sistem akibat gangguan tersebut pada skripsi ini digunakan perangkat lunak ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) dengan menggunakan fitur Analisa Stabilitas Transien (*Transient Stability Analysis*). Komponen yang digunakan untuk mendeteksi dan mengambil tindakan ketika terjadi penurunan frekuensi pada sistem tenaga listrik adalah rele frekuensi 81. Oleh sebab itu, dalam simulasi diperlukan beberapa pengaturan pada rele frekuensi. Pengaturan tersebut antara lain:

- Frekuensi *pick-up*
- Waktu tunda
- Pemutus tenaga yang terkait

Berikut pengaturan rele frekuensi pada perangkat lunak ETAP:

Tabel 4.10 Pengaturan Rele Frekuensi

No	<i>Plant</i>	Beban	CB	Rele	%Hz	f (Hz)	Waktu Tunda	kW
1	LEX	Housing	764	UFR 20	99.2	49.32	1 s	160
2	LEX	Dispatch	764	UFR 20	99.2	49.32	1 s	151
3	LEX	Pompa-71	CB 25	UFR 23	98.12	49.11	1 s	230

Tabel 4.11 Pengaturan Rele Frekuensi

4	LEX	Main Office	743	UFR 27	98.12	49.11	1 s	80
5	Process	AB-Train	CB 19	UFR 32	97.2	48.73	1 s	275
6	LEX	MCC D	762	UFR 35	96.92	48.46	1 s	90
6	LEX	MCC B	760	UFR 39	96.92	48.46	1 s	380
6	Process	Warehouse	745A	UFR 37	96.92	48.46	1 s	35

#### 4.4. Simulasi dan Analisis Hasil

Pada skripsi ini dilakukan beberapa simulasi lepasnya generator untuk mengetahui respon dari sistem pelepasan beban yang telah dirancang sebelumnya. Ketika terjadi peristiwa lepasnya generator maka jumlah suplai daya aktif akan lebih kecil daripada jumlah daya aktif permintaan beban. Akibat dari peristiwa tersebut frekuensi sistem pun turun. Dengan dirancangnya sistem pelepasan beban akibat penurunan frekuensi sebelumnya, diharapkan frekuensi sistem segera pulih setelah dilakukan pelepasan beban. Simulasi lepasnya generator dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ETAP.

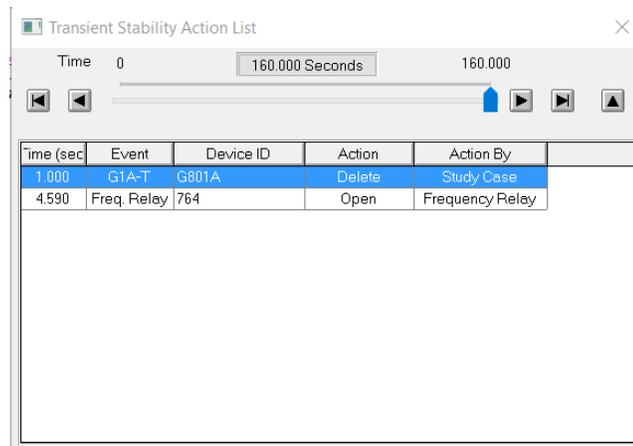
Fitur yang digunakan untuk melakukan simulasi ini adalah analisis stabilitas transien (*transient stability analysis*). Pada fitur ini dapat dilihat perubahan perilaku beberapa parameter dalam sistem tenaga listrik sebelum dan sesudah terjadi gangguan, dalam hal ini gangguan yang dimaksud adalah generator lepas. Untuk dapat mengamati

perubahan perilaku sistem tenaga listrik, setiap simulasi dijalankan selama 160 detik dan 300 detik. Pada setiap simulasi hal yang diamati adalah:

- a. Perubahan daya aktif generator yang masih beroperasi
- b. Perubahann frekuensi sistem
- c. Besarnya beban yang dilepaskan
- d. Waktu pemulihan yang diharapkan
- e. Frekuensi berada dalam keadaan yang diizinkan pada frekuensi kerja 50 Hz yaitu 49.6 – 50.4 Hz.

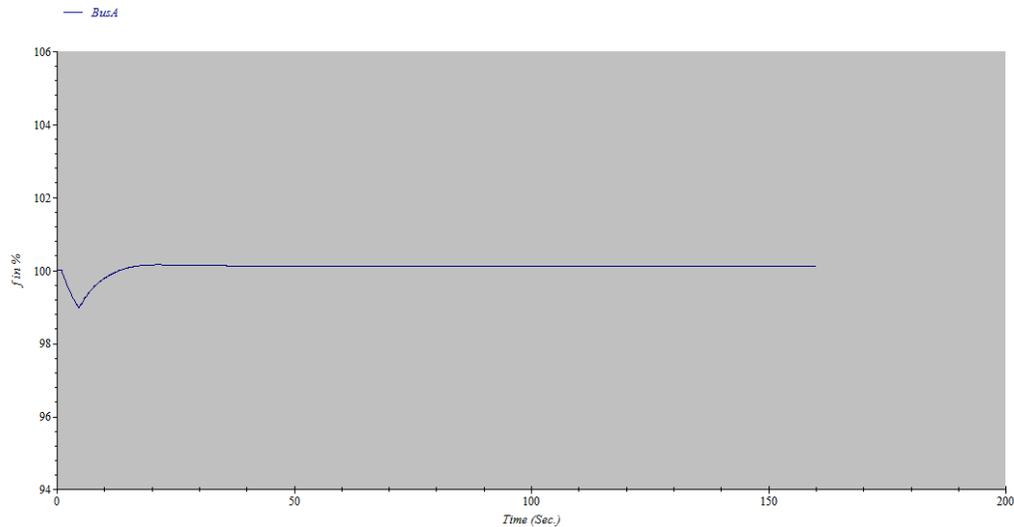
#### 4.4.1 Generator G801A Lepas

Pada skenario ini terdapat 1 unit generator yang lepas dari sistem yaitu generator G810A yang ada pada *Process Plant*, sehingga sistem akan kehilangan beban sebanyak 500 kW. Berikut ini beberapa hasil dari simulasi yang telah dilakukan di ETAP:



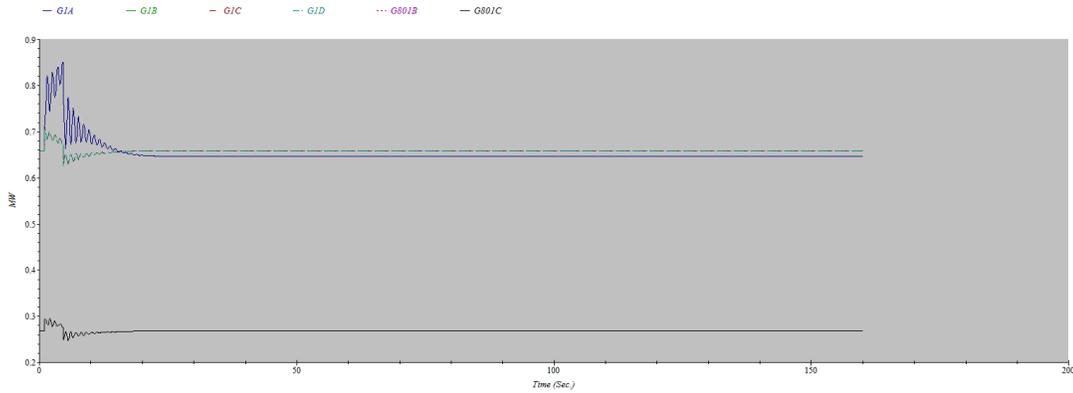
Time (sec)	Event	Device ID	Action	Action By
1.000	G1A-T	G801A	Delete	Study Case
4.590	Freq. Relay	764	Open	Frequency Relay

Gambar 4.2 Action List Generator G801A Lepas

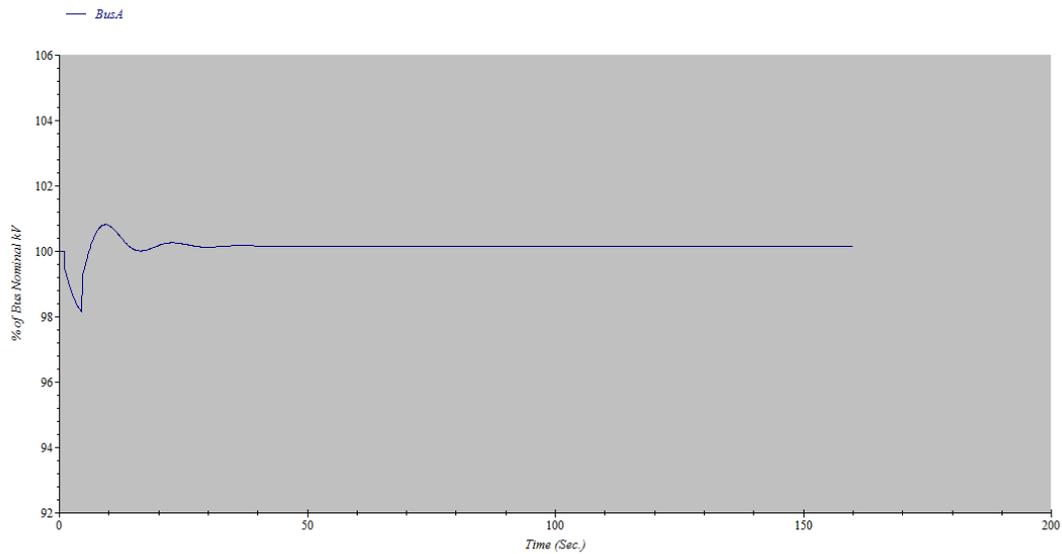


*Gambar 4.3 Perubahan Frekuensi Bus A Saat Generator G801A Lepas*

Pada simulasi yang telah dilakukan diatas, didapatkan bahwa generator G801A lepas pada 1 sekon. Kemudian frekuensi sistem menurun ke 49.3 Hz di waktu 3.5 sekon sehingga diperlukan pelepasan beban tahap pertama yaitu melepas beban Housing dan Dispatch (CB 764) yang memiliki total daya 311 kW pada 4.59 sekon setelah waktu tunda selama 1 sekon pada UFR 20. Terlihat pada hasil simulasi bahwa setelah 15 sekon di frekuensi stabil di angka 50.05 Hz (100.1%). Berdasarkan standrat IEEE C37-106 2003 bahwa pada frekuensi nominal 50Hz, frekuensi sistem pada 50.05 Hz merupakan frekuensi yang diizinkan untuk beroperasi secara terus menerus sehingga dikatakan frekuensi ini aman.



*Gambar 4.4 Perubahan Daya Aktif Seluruh Generator Saat Generator G801A Lepas*



*Gambar 4.5 Perubahan Tegangan Saat Generator G801A Lepas*

Pada parameter tegangan, sebelum terjadinya generator G801A lepas, tegangan masih berada pada tegangan normal yaitu 4.16 kV. Pada saat generator lepas di waktu 1 detik, tegangan turun sebanyak 2% selama 5 detik dan kembali pada level tegangan 4.16 kV pada waktu 10 sekon. Sehingga mberdasarkan standar SEMI F47 mengenai *voltage sag*, bahwa pada pada besar tegangan >80% masih diizinkan beroperasi secara

terus menerus (*continuous*). Kemudian menurut IEEE 1159-1995 mengenai *undervoltage*, yang terjadi tidak melebihi 90 persen sehingga dikatakan pelepasan beban sesuai standar tegangan. Daya aktif yang dihasilkan generator sebelum gangguan adalah 3441 kW dengan permintaan beban adalah 3435 kW. Daya aktif yang disuplai dari generator yang berada di *Process Plant* sebelum gangguan sebanyak 804 kW. Setelah generator G801A mengalami gangguan atau lepas dari sistem maka menyebabkan seluruh generator mengalami peningkatan dalam suplai daya aktif namun tidak melebihi rating pada setiap generator. Pada kondisi ini sistem tetap mengalami kelebihan beban sekitar 300 kW. Pada kondisi ini tentu perlu dilakukan pelepasan beban tahap pertama yaitu melepas beban pada CB 764. Pada waktu 10 detik, setelah, beban *Housing dan Dispatch* sebagai beban dengan prioritas pertama yang dilepas ketika terjadi gangguan, seluruh generator kembali mensuplai daya secara normal.

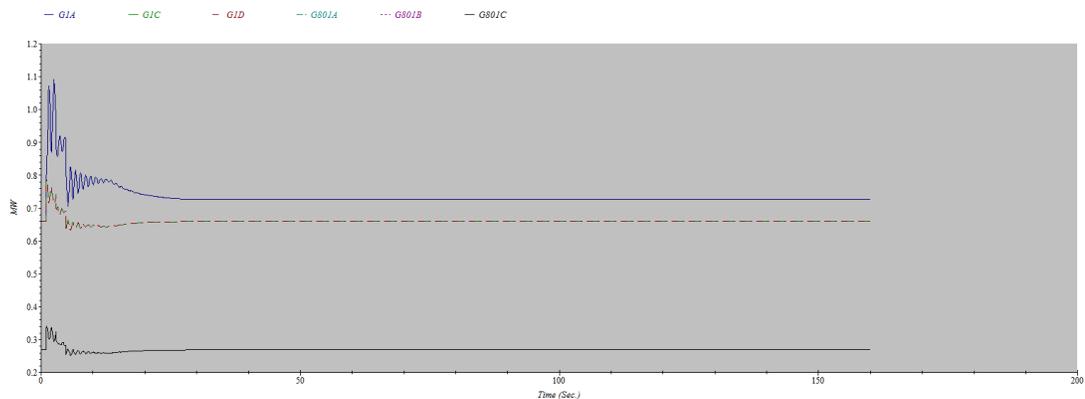
#### **4.4.2 Generator G1B Lepas**

Pada skenario ini terdapat 1 unit generator yang lepas dari sistem yaitu generator G1B yang ada pada *LEX Plant*, sehingga sistem akan kehilangan beban sebanyak 300 kW. Berikut ini beberapa hasil dari simulasi yang telah dilakukan di ETAP:

Time 0 160.000 Seconds 160.000

Time (sec)	Event	Device ID	Action	Action By
1.000	G1A-T	G1B	Delete	Study Case
2.910	Freq. Relay	764	Open	quency Re
4.720	Freq. Relay	743	Open	quency Re
4.720	Freq. Relay	CB25	Open	quency Re

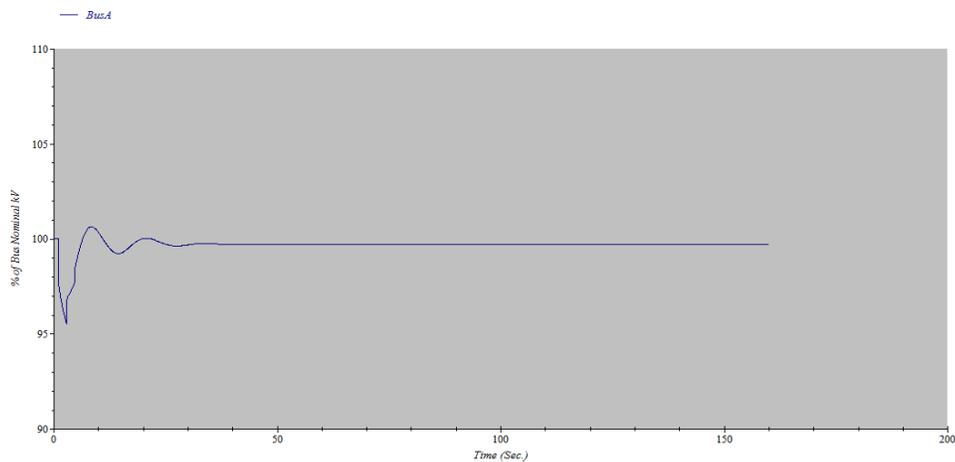
Gambar 4.6 Action List Generator G1B Lepas



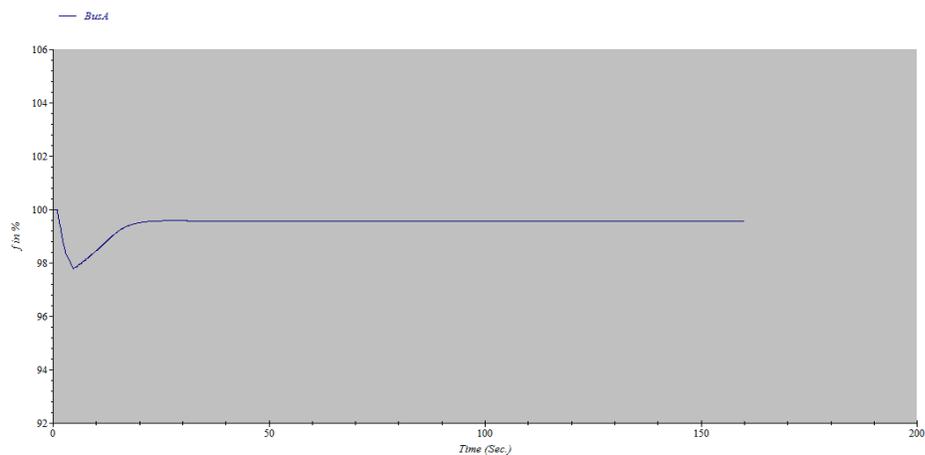
Gambar 4.7 Perubahan Daya Aktif Seluruh Generator Saat Generator G1B Lepas

Berdasarkan simulasi pada bagian ini, dimana generator G1B mengalami gangguan sehingga menyebabkan generator lepas pada sistem di waktu 1 sekon, sehingga sistem kehilangan 600 kW. Oleh karena itu diperlukan pelepasan beban hingga tahap ke-2. Daya aktif yang dihasilkan generator sebelum gangguan adalah 3441 kW dengan permintaan beban adalah 3435 kW. Daya aktif yang disuplai dari generator yang berada di *Process Plant* sebelum gangguan sebanyak 804 kW. Ketika

generator lepas pada waktu 1 sekon suplai daya dari G1A meningkat hingga melebihi nilai rating generator tersebut yaitu 1.1 MW selama  $\pm 2$  detik, kemudian kembali pada operasi normal pada waktu 20 detik setelah gangguan. Pada generator yang ada di *Process Plant* mengalami kenaikan suplai daya juga pada saat generator G1B lepas, namun hanya sampai pada 350 kW atau masih dibawah rating generator



Gambar 4.8 Perubahan Tegangan Bus A Saat Generator G1B Lepas

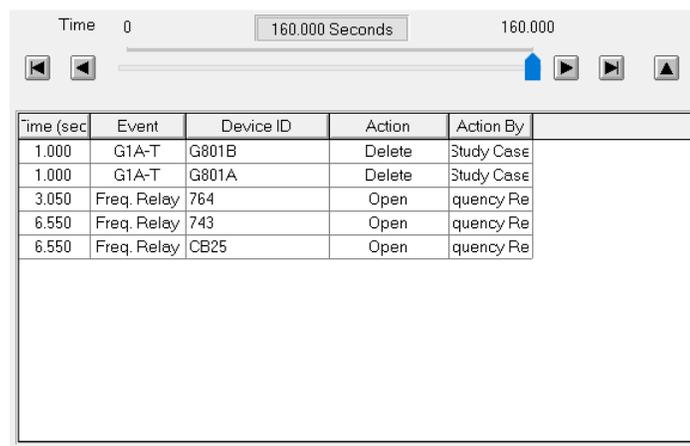


Gambar 4.9 Perubahan Frekuensi Seluruh Generator Saat Generator G1B Lepas

Pada parameter tegangan sistem di Bus A mengalami penurunan hingga mencapai 94,5 % terendah ketika G1B lepas dari sistem. Kemudian setelah dilakukan pelepasan beban hingga tahap ke-2 yaitu lepasnya beban Housing, Dispatch, Pompa P-71 dan *Main Office* tegangan dapat kembali pada keadaan normal yaitu pada 25 sekon. Meskipun tegangan dapat kembali normal dalam waktu 25 sekon, namun tegangan tersebut masih dikatakan aman karena menurut standar SEMI F47 tegangan kedip diizinkan lebih dari 1 detik atau seterusnya ketika tidak mencapai 80% dari tegangan nominalnya. Artinya tegangan pada 94.5% atau 3.91 kV masih dikatakan aman. Kemudian menurut IEEE 1159-1995 mengenai *undervoltage*, yang terjadi tidak melebihi 90 persen sehingga dikatakan pelepasan beban sesuai standar tegangan. Mengenai perubahan frekuensi yang didapatkan pada simulasi, dapat diketahui bahwa ketika G1B lepas dari sistem pada waktu 1 sekon maka perlu dilakukan pelepasan beban hingga tahap ke-2. Pada waktu 2,9 sekon, beban Housing dan Dispatch dilepas dari sistem karena telah mencapai frekuensi 49.32 Hz. Kemudian hingga mencapai tahap kedua yaitu dilepasnya beban Pompa P-71 dan Main Office sebesar 305 kW atau frekuensi telah mencapai 49.06 Hz sehingga kedua beban tersebut dilepas pada waktu 4.7 sekon. Frekuensi dapat kembali normal dalam waktu 10 sekon. Hal ini berarti skema pelepasan yang dibahas sebelumnya masih berada dalam batas aman, karena berdasarkan standar IEEE C37-106 2003 bahwa pada frekuensi 97 % atau 48.5 Hz pada frekuensi terendah yang dicapai, dapat kembali pulih dalam waktu 10 sekon dari yang diizinkan paling lama adalah 10 menit.

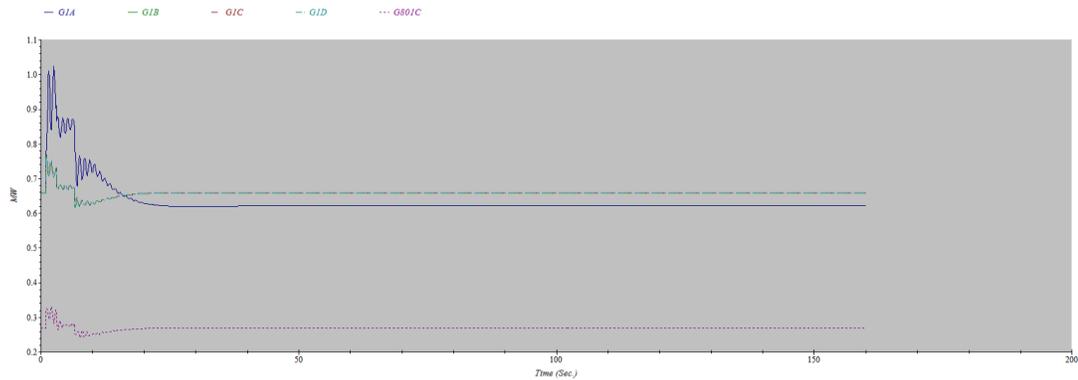
#### 4.4.3 Generator G801A dan G801B Lepas

Pada skenario ini terdapat 1 unit generator yang lepas dari sistem yaitu generator G801A dan G801B yang ada pada *Process Plant*, sehingga sistem akan kehilangan beban sebanyak 588 kW. Berikut ini beberapa hasil dari simulasi yang telah dilakukan di ETAP:



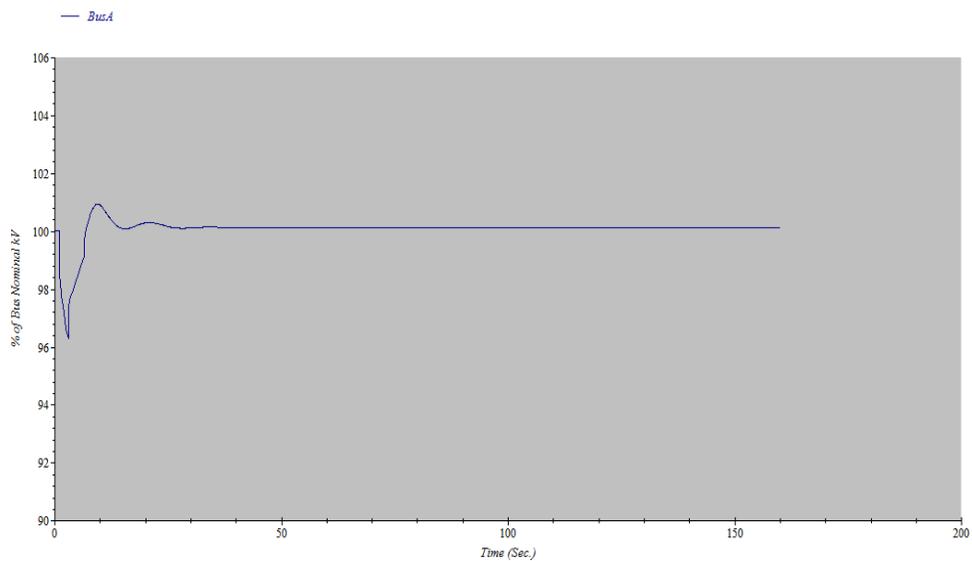
Time (sec)	Event	Device ID	Action	Action By
1.000	G1A-T	G801B	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G801A	Delete	Study Case
3.050	Freq. Relay	764	Open	quency Re
6.550	Freq. Relay	743	Open	quency Re
6.550	Freq. Relay	CB25	Open	quency Re

Gambar 4.10 Action List Generator G801A dan G801B Lepas

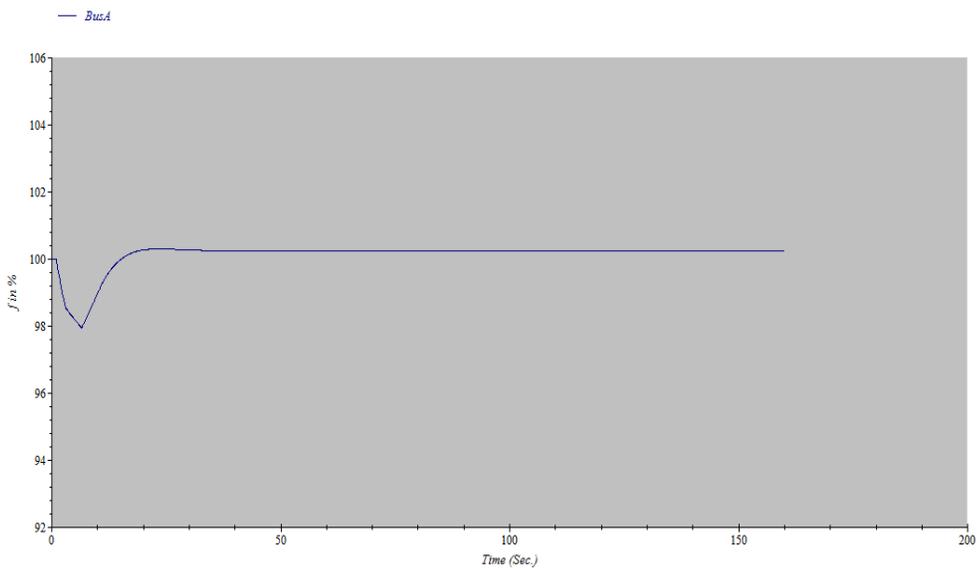


Gambar 4.11 Perubahan Daya Aktif Saat Generator G801A dan G801B Lepas

Pada simulasi ketika generator G801A dan G801B pada *Process Plant* mengalami gangguan sehingga menyebabkan generator tersebut lepas dari sistem pada waktu 1 sekon dan kelebihan beban hingga 588 kW. Diketahui bahwa pada Gambar 4.9 sistem akan melakukan pelapasan beban hingga tahap ke-2. Dimana beban-beban yang dileepas adalah Housing, Dispatch, Pompa 71 dan Main Office. Daya aktif yang dihasilkan generator sebelum gangguan adalah 3441 kW dengan permintaan beban adalah 3435 kW. Daya aktif yang disuplai dari generator yang berada di *Process Plant* sebelum gangguan sebanyak 804 kW. Pada saat terjadi ganggua di 1 sekon, terlihat bahwa generator G1A sempat mensuplai daya hingga 1.1 MW namun hanya berselang sekitar 3 sekon saja hingga kemudian pada 10 sekon setiap generator kembali bekerja secara normal atau kembali dibawah rating masing-masing generator



Gambar 4.12 Perubahan Tegangan Bus A Saat Generator G801A dan G801B Lepas



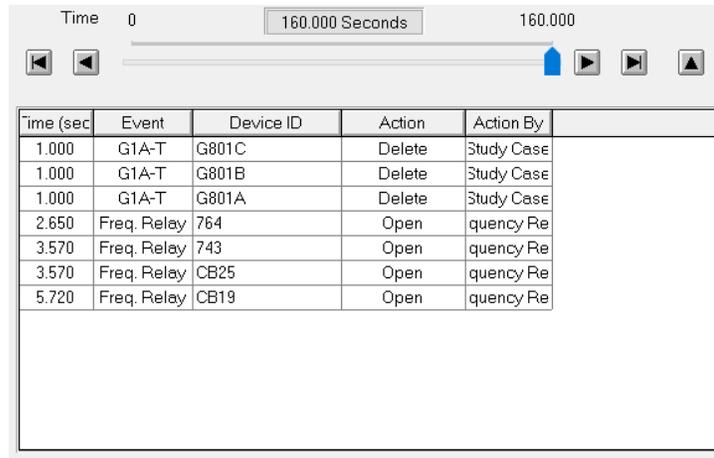
Gambar 4.13 Perubahan Frekuensi Seluruh Generator Saat Generator G801A dan G801B Lepas

Pada parameter teganga ketika generator lepas G801A dan G801B pada waktu 1 sekon terlihat tegangan turun 96,2% atau 4 kV kemudian kembali stabil pada waktu

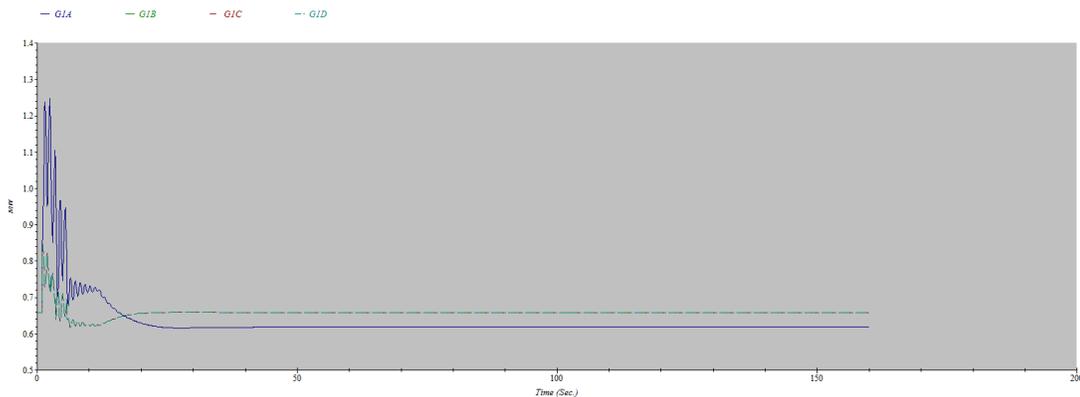
20 sekon. Berdasarkan standar SEMI F47 mengenai voltage sag, pada tegangan 96.2% dari tegangan nominal yaitu pada tegangan lebih dari 80% tidak ditetapkan batas waktunya sehingga pada hasil simulasi ini dapat dikatakan aman. Kemudian menurut IEEE 1159-1995 mengenai *undervoltage*, yang terjadi tidak melebihi 90 persen sehingga dikatakan pelepasan beban sesuai standar tegangan. Untuk perubahan frekuensi saat generator G801A dan G801B lepas dari sistem pada waktu 1 sekon mengalami penurunan frekuensi hingga 98% atau 49 Hz dimana pelepasan beban dilakukan sampai tahap ke-2 yaitu melepas beban Housing, Dispatch, Pompa-71 dan Main Office. Pada waktu 2 sekon frekuensi mencapai 49.32 Hz sehingga pada waktu 3 sekon, pelepasan beban tahap-1. Kemudian pada waktu 5 sekon frekuensi sistem mencapai 98.2% sehingga dilakukan pelepasan beban tahap ke-2. Setelah pelepasan beban frekuensi kembali normal pada 50.12 Hz. Pada hasil simulasi ini menunjukkan bahwa frekuensi dapat kembali normal pada waktu 15 sekon setelah generator lepas pada waktu 1 sekon, sehingga skema pelepasan beban ini dapat dikatakan aman karena pada frekuensi terendah 98 % atau 49 Hz berdasarkan standar IEEE C37-106 2003 mengizinkan generator bekerja maksimal dalam waktu 50 menit.

#### **4.4.4 Generator G801A, G801B dan G801C Lepas (50.13 Hz)**

Pada skenario ini terdapat 1 unit generator yang lepas dari sistem yaitu generator G801A, G801B dan G801C yang ada pada *Process Plant*, sehingga sistem akan kehilangan beban sekitar 900 kW. Berikut ini beberapa hasil dari simulasi yang telah dilakukan di ETAP:



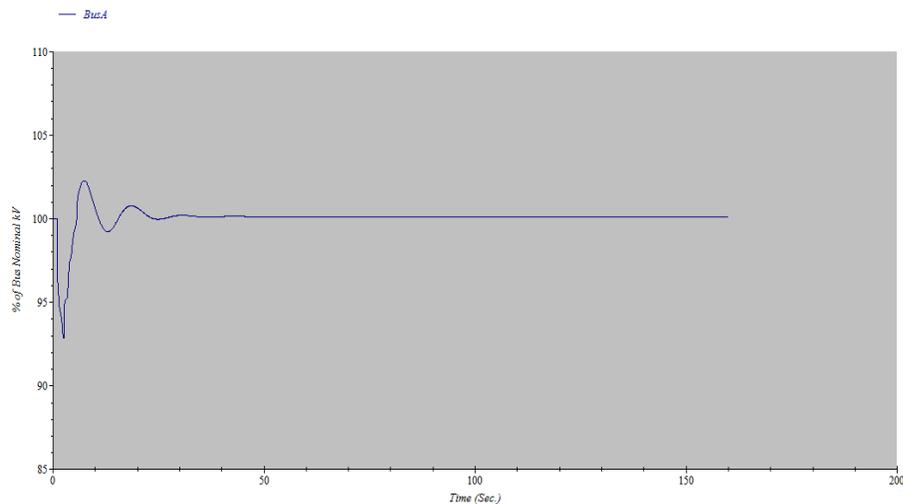
Gambar 4.14 Action List Generator G801A, G801B dan G801C Lepas



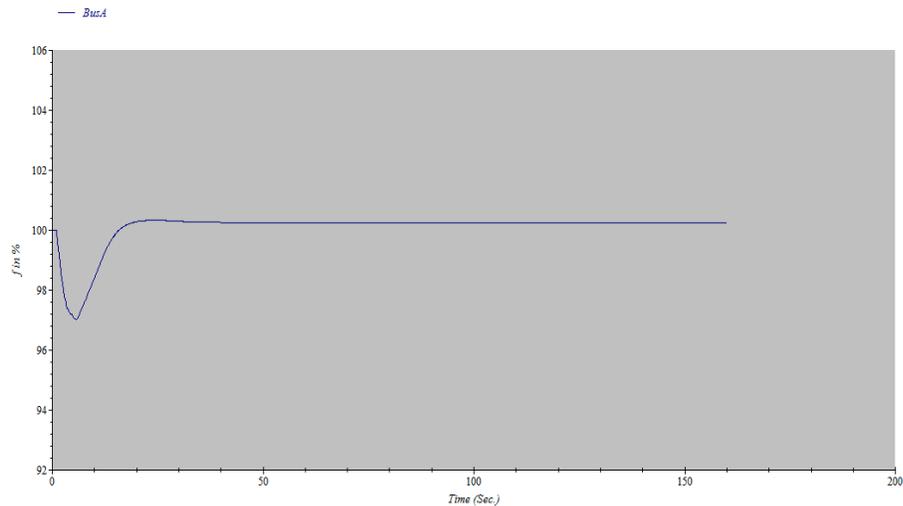
Gamba 4.15 Perubahan Daya Aktif Saat Generator G801A, G801B dan G801C Lepas

Pada saat seluruh generator yang ada pada *Process Plant* lepas dari sistem atau dapat diktakan bahwa beban-bean yang ada pada *Plant* tersebut sudah tidak disuplai oleh generator pada *Process Plant* tetapi akan disuplai dari generator di *LEX Plant* melalui kabel yang menghubungkan keduanya. Diketahui bahwa pada Gambar sistem akan melakukan pelapasan beban hingga tahap ke-3. Dimana beban-beban yang dilepas adalah *Housing*, *Dispatch*, *Pompa 71* dan *Main Office*. Daya aktif yang

dihasilkan generator sebelum gangguan adalah 3441 kW dengan permintaan beban adalah 3435 kW. Daya aktif yang disuplai dari generator yang berada di *Process Plant* sebelum gangguan sebanyak 804 kW. Saat terjadi gangguan, maka generator yang berada pada *LEX Plant* akan menuplai daya menuju beban-beban yang ada di *Process Plant*. Sehingga terjadi peningkatan suplai daya aktif pada tiap generator *LEX Plant*. Osilasi daya terjadi pada G1A hingga mencapai 1.2 MW. Namun saat dilakukan pelepasan beban hingga tahap ke-3, selama waktu 5 sekon pada masing-masing generator sudah kembali menyuplai daya yang diizinkan yaitu kurang dari rating 800kW.



*Gambar 4.16 Perubahan Tegangan Bus A Saat Generator G801A, G801B dan G801C Lepas*



Gambar 4.17 Perubahan Frekuensi Saat Generator G801A, G801B dan G801C Lepas

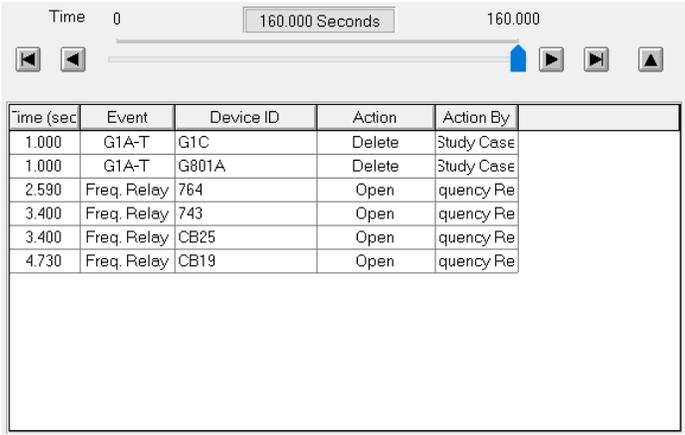
Berdasarkan hasil simulasi diatas, didapatkan bahwa pada parameter tegangan ketika seluruh generator *Process Plant* lepas dari sistem maka tegangan akan mengalami penurunan hingga 92.5% atau 3.84 kV. Namun, setelah dilakukan process pelepasan beban hingga tahap ke-3 yang dilakukan selama 4 sekon, tegangan dapat kembali mencapai tegangan nominal 4.16 kV pada waktu 30 sekon. Walaupun, tegangan kembali normal pada pada waktu 30 sekon, namun tegangan kedip yang terjadi masih dikatakan aman dan dapat bekerja secara terus menerus karena menurut standar SEMI F47 dimana tegangan lebih dari 80% dari tegangan nominal masih diizinkan untuk dapat beroperasi secara terus menerus. Kemudian menurut IEEE 1159-1995 mengenai *undervoltage*, yang terjadi tidak melebihi 90 persen sehingga dikatakan pelepasan beban sesuai standar tegangan.

Untuk parameter frekuensi, ketika seluruh generator *Process Plant* lepas dari sistem pada waktu 1 sekon, maka frekuensi akan menurun hingga kurang dari 48.5 Hz.

Oleh karena itu diperlukan pelepasan beban hingga tahap ke-3 yaitu hingga lepasnya beban AB-Train dari sistem. Selama proses pelepasan beban yang terjadi hingga 30 detik, frekuensi dapat kembali normal ke frekuensi yang diizinkan untuk beroperasi secara terus-menerus yaitu 50.13 Hz. Dalam rentang waktu tersebut, skema pelepasan beban yang dilakukan dapat dikatakan aman, karena menurut standar C37.106-2003 bahwa pada frekuensi 48.5 Hz, generator hanya diizinkan beroperasi selama 10 menit.

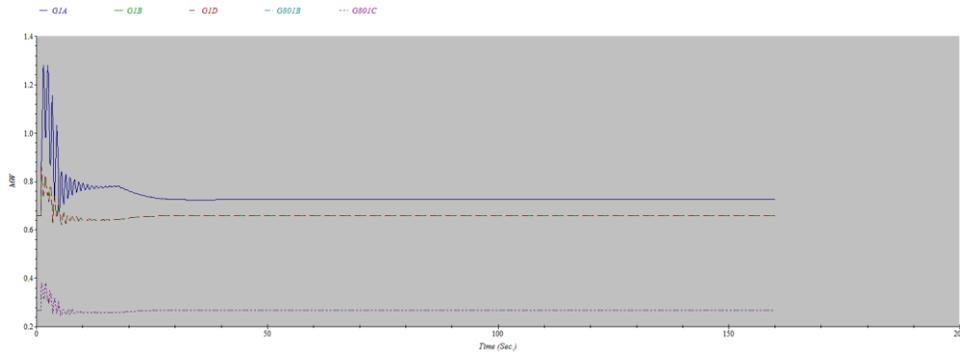
#### 4.4.5 Generator G1C dan G801A Lepas

Pada skenario ini terdapat 1 unit generator yang lepas dari sistem yaitu generator G1C dan G801A, sehingga sistem akan kehilangan suplai daya sekitar 900 kW. Berikut ini beberapa hasil dari simulasi yang telah dilakukan di ETAP:



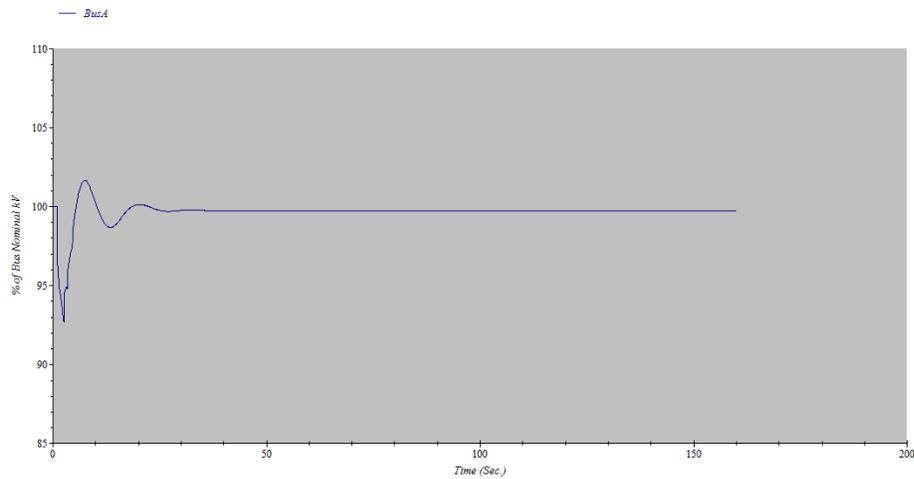
Time (sec)	Event	Device ID	Action	Action By
1.000	G1A-T	G1C	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G801A	Delete	Study Case
2.590	Freq. Relay	764	Open	quency Re
3.400	Freq. Relay	743	Open	quency Re
3.400	Freq. Relay	CB25	Open	quency Re
4.730	Freq. Relay	CB19	Open	quency Re

Gambar 4.18 Action List Generator G1C dan G801A Lepas

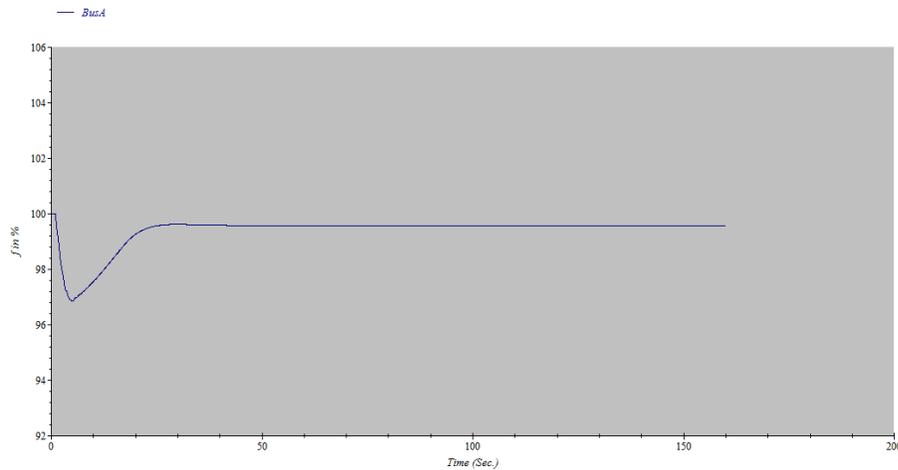


Gambar 4.19 Perubahan Daya Aktif Saat Generator G1C dan G801A Lepas

Pada simulasi ketika generator G1C dan G801A mengalami gangguan sehingga menyebabkan generator tersebut lepas dari sistem pada waktu 1 detik dan kelebihan beban hingga 973 kW. Diketahui bahwa pada Gambar sistem akan melakukan pelapasan beban hingga tahap ke-3. Dimana beban-beban yang dilepas adalah Housing, Dispatch, Pompa 71, Main Office dan AB Train. Daya aktif yang dihasilkan generator sebelum gangguan adalah 3441 kW dengan permintaan beban adalah 3435 kW. Daya aktif yang disuplai dari generator yang berada di *Process Plant* sebelum gangguan sebanyak 804 kW. Setelah generator G1C dan G801A mengalami gangguan dan lepas dari sistem pada waktu 1 detik, generator mengalami osilasi suplai daya hingga 1.3 MW pada generator G1A. Ketika pelepasan beban telah dilakukan hingga tahap ke -3 yang dilakukan selama 4.7 detik, terjadi penurunan kembali suplai daya aktif pada titik normal yaitu dibawah rating generator pada waktu 25 detik.



Gambar 4.20 Perubahan Tegangan Bus A Saat Generator G1C dan G801A Lepas



Gambar 4.21 Perubahan Frekuensi Saat Generator G1C dan G801A Lepas

Suplai daya aktif mengalami peningkatan pada generator yang masih beroperasi menyebabkan penurunan frekuensi pada sistem hingga mencapai 97% dari frekuensi nominal. Ketika mencapai frekuensi ini, maka yang terjadi adalah pelepasan beban hingga tahap ke-3 yaitu hingga lepasnya beban AB Train pada *Process Plant*. Frekuensi dapat kembali pada frekuensi yang diizinkan beroperasi secara terus menerus pada waktu 20 sekon. Meskipun frekuensi dapat pulih selama 20 sekon, hal

ini masih dapat dikatakan aman karena berdasarkan standar IEEE C37.106-2003 bahwa pada frekuensi 48.13 Hz, generator maksimal beroperasi dalam waktu 10 menit sedangkan pada skema ini frekuensi kembali pulih pada 49.79 selama 20 sekon saja. Selain menyebabkan penurunan pada frekuensi, osilasi suplai daya juga menyebabkan menurunnya tegangan atau terjadi tegangan kedip yang terjadi ketika generator G1C dan G801A lepas dari sistem pada waktu 1 sekon hingga mencapai 92.5% dari tegangan nominalnya 4.16 kV. Setelah dilakukan pelepasan beban sempat terjadi overvoltage namun hanya mencapai titik tertinggi 101% hingga mencapai normal sebesar 4.14 kV pada waktu 25 sekon. Berdasarkan hasil ini, tegangan kedip yang terjadi dapat dikatakan aman karena menurut standar SEMI F47 dimana pada tegangan nominal lebih dari 80% dapat beroperasi secara terus-menerus. Kemudian menurut IEEE 1159-1995 mengenai *undervoltage*, yang terjadi tidak melebihi 90 persen sehingga dikatakan pelepasan beban sesuai standar tegangan.

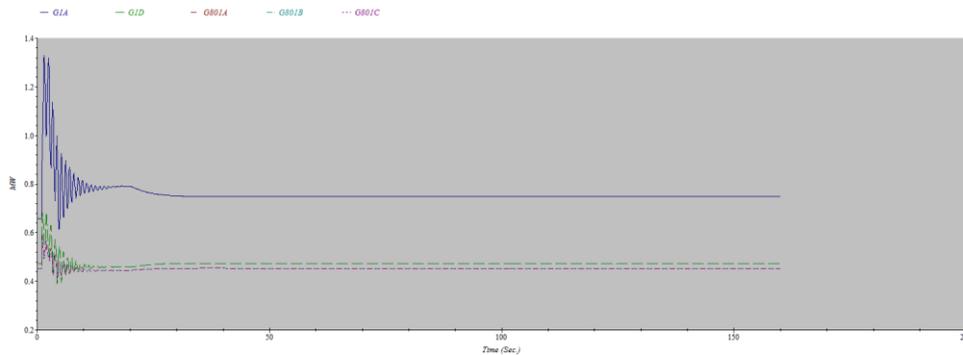
#### **4.4.6 Generator G1B dan G1C Lepas**

Pada skenario ini terdapat 1 unit generator yang lepas dari sistem yaitu generator G1B dan G1C yang ada pada *Process Plant*, sehingga sistem akan kehilangan beban sekitar 1062 kW. Berikut ini beberapa hasil dari simulasi yang telah dilakukan di ETAP:

Time 0 160.000 Seconds 160.000

Time (sec)	Event	Device ID	Action	Action By
1.000	G1A-T	G1C	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G1B	Delete	Study Case
2.550	Freq. Relay	764	Open	quency Re
3.270	Freq. Relay	743	Open	quency Re
3.270	Freq. Relay	CB25	Open	quency Re
4.160	Freq. Relay	CB19	Open	quency Re

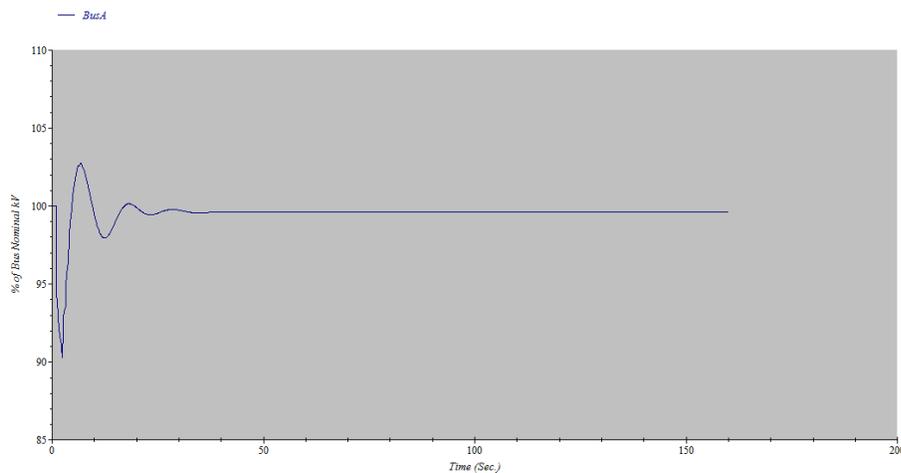
Gambar 4.22 Action List Generator G1B dan G1C Lepas



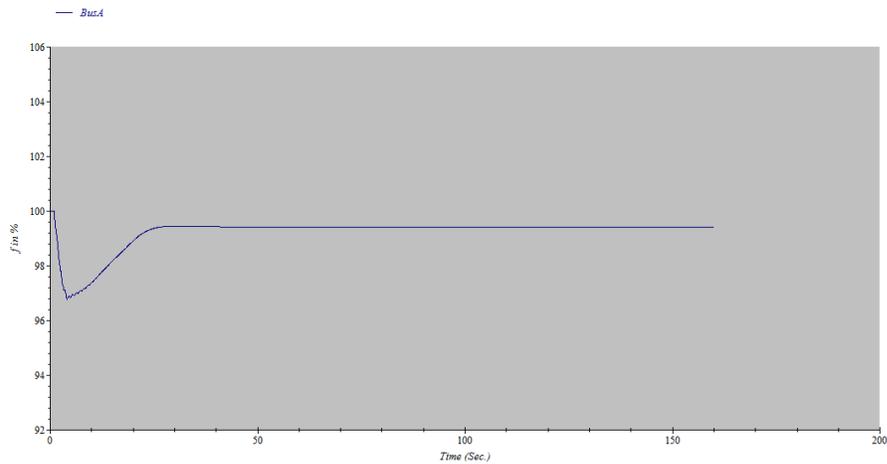
Gambar 4.23 Perubahan Daya Aktif Saat Generator G1B dan G1C Lepas

Pada simulasi ketika generator G1C dan G1B mengalami gangguan sehingga menyebabkan generator tersebut lepas dari sistem pada waktu 1 detik dan kelebihan beban hingga 1062 kW. Diketahui bahwa pada Gambar 4.21 sistem akan melakukan pelapasan beban hingga tahap ke-3. Dimana beban-beban yang dilepas adalah Housing, Dispatch, Pompa 71, Main Office dan AB Train. Namun pada simulasi ini

dilakukan pemindahan beban pada WEMCO dan Compressor Station dari *LEX Plant* menuju *Process Plant*. Hal ini dilakukan karena pada *LEX Plant* kelebihan suplai daya yang cukup besar yaitu 1062kW sehingga diperlukan pemindahan beban. Daya aktif yang dihasilkan generator sebelum gangguan adalah 3441 kW dengan permintaan beban adalah 3435 kW. Daya aktif yang disuplai dari generator yang berada di *Process Plant* sebelum gangguan meningkat menjadi 1362 kW. Setelah menjadi gangguan pada generator G1C dan G1B sehingga generator tersebut lepas dari sistem pada waktu 1 detik. Sehingga terjadi osilasi peningkatan suplai daya aktif hingga 1,3 MW pada generator G1A selama proses pelepasan beban. Ketika pelepasan beban hingga tahap 3 selai pada waktu 4,16 detik masing-masing generator yang masih beroperasi kembali menyuplai daya aktif di bawah rating pada waktu 25 detik.



Gambar 4.24 Perubahan Tegangan Bus A Saat Generator G1B dan G1C Lepas



Gambar 4.25 Perubahan Frekuensi Saat Generator G1B dan G1C Lepas

Suplai daya aktif mengalami peningkatan pada generator yang masih beroperasi menyebabkan penurunan frekuensi pada sistem hingga mencapai 97% dari frekuensi nominal. Ketika mencapai frekuensi ini, maka yang terjadi adalah pelepasan beban hingga tahap ke-3 yaitu hingga lepasnya beban AB Train pada *Process Plant*. Frekuensi dapat kembali pada frekuensi yang diizinkan beroperasi secara terus menerus pada waktu 20 sekon. Meskipun frekuensi dapat pulih selama 20 sekon, hal ini masih dapat dikatakan aman karena berdasarkan standar IEEE C37.106-2003 bahwa pada frekuensi 48.13 Hz, generator maksimal beroperasi dalam waktu 10 menit sedangkan pada skema ini frekuensi kembali pulih pada 49.71 selama 20 sekon saja. Selain menyebabkan penurunan pada frekuensi, osilasi suplai daya juga menyebabkan menurunnya tegangan atau terjadi tegangan kedip yang terjadi ketika generator G1C dan G1B lepas dari sistem pada waktu 1 sekon hingga mencapai 92.5% dari tegangan nominalnya 4.16 kV. Setelah dilakukan pelepasan beban sempat terjadi overvoltage namun hanya mencapai titik tertinggi 101% hingga mencapai normal sebesar 4.15 kV

pada waktu 30 sekon. Berdasarkan hasil ini, tegangan kedip yang terjadi dapat dikatakan aman karena menurut standar SEMI F47 dimana pada tegangan nominal lebih dari 80% dapat beroperasi secara terus-menerus. Kemudian menurut IEEE 1159-1995 mengenai *undervolatge*, yang terjadi tiak melebihi 90 persen sehingga dikatakan pelepasan beban sesuai standar tegangan.

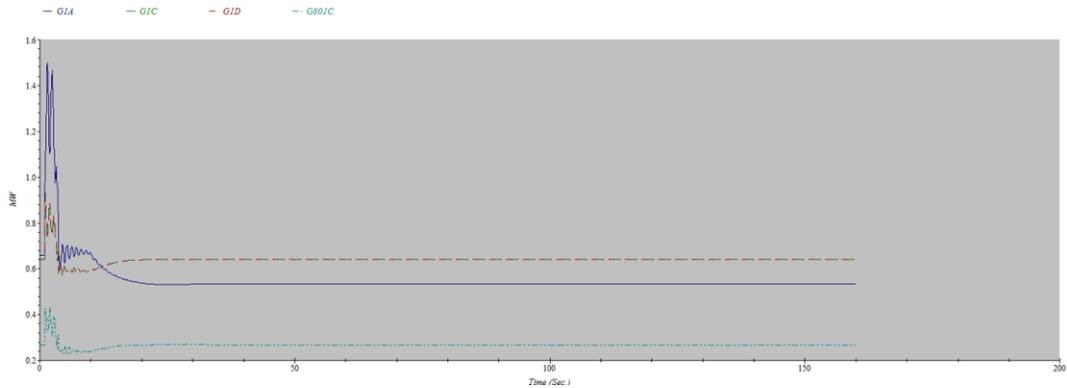
#### 4.4.7 Generator G1B, G801A dan G801B Lepas

Pada skenario ini terdapat 3 unit generator yang lepas dari sistem yaitu generator G1B, G801A dan G801B sehingga sistem akan *overload* sekitar 1250 kW.

Berikut ini beberapa hasil dari simulasi yang telah dilakukan di ETAP:

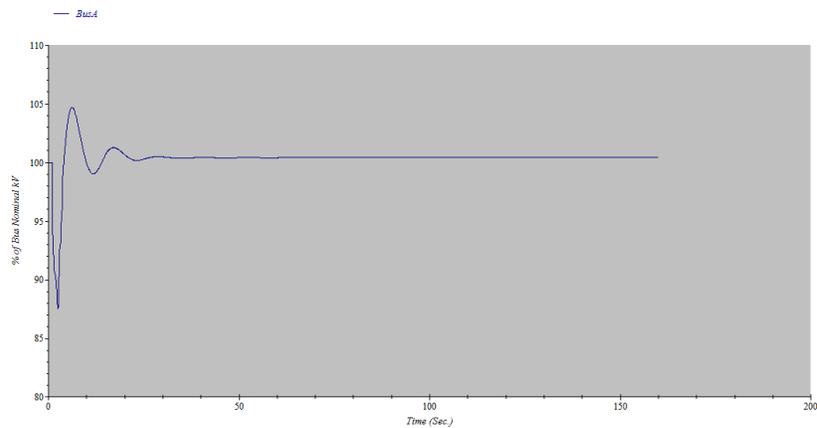
Time (sec)	Event	Device ID	Action	Action By
1.000	G1A-T	G801B	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G801A	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G1B	Delete	Study Case
2.380	Freq. Relay	764	Open	quency Re
2.980	Freq. Relay	743	Open	quency Re
2.980	Freq. Relay	CB25	Open	quency Re
3.560	Freq. Relay	CB19	Open	quency Re
4.330	Freq. Relay	CB9	Open	quency Re
4.330	Freq. Relay	CB8	Open	quency Re
4.330	Freq. Relay	CB20	Open	quency Re

Gambar 4.26 Action List Generator G1B, G801A dan G801B Lepas

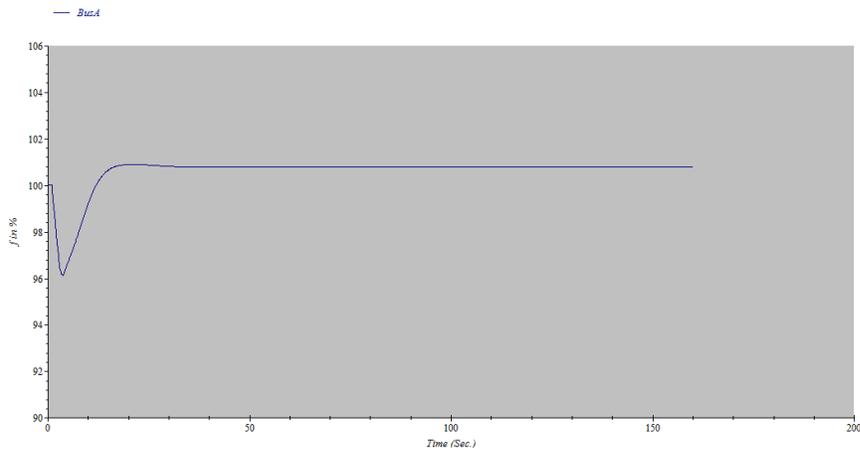


Gambar 4.27 Perubahan Daya Aktif Saat Generator G1B, G801A dan G801B Lepas

Pada simulasi ketika generator G1B, G801A dan G801B mengalami gangguan sehingga menyebabkan generator tersebut lepas dari sistem pada waktu 1 detik dan kelebihan beban hingga 1250 kW. Diketahui bahwa pada Gambar sistem akan melakukan pelapasan beban hingga tahap ke-4. Dimana beban-beban yang dilepas adalah Housing, Dispatch, Pompa 71, Main Office, AB Train dan MCC B. Daya aktif yang dihasilkan generator sebelum gangguan adalah 3441 kW dengan permintaan beban adalah 3435 kW. Setelah menjadi gangguan pada generator G1B, G801A dan G801B sehingga generator tersebut lepas dari sistem pada waktu 1 detik. Sehingga terjadi osilasi peningkatan suplai daya aktif hingga 1,5 MW pada generator G1A selama proses pelepasan beban. Ketika pelepasan beban hingga tahap 4 selai pada waktu 4,3 detik masing-masing generator yang masih beroperasi kembali menyupai daya aktif di bawah rating pada waktu 25 detik.



Gambar 4.28 Perubahan Tegangan Bus A Saat Generator G1B, G801A dan G801B Lepas



Gambar 4.29 Perubahan Frekuensi Saat Generator G1B, G801A dan G801B Lepas

Suplai daya aktif mengalami peningkatan pada generator yang masih beroperasi menyebabkan penurunan frekuensi pada sistem hingga mencapai 96% dari frekuensi nominal. Ketika mencapai frekuensi ini, maka yang terjadi adalah pelepasan beban hingga tahap ke-4 yaitu hingga lepasnya beban MCC B pada *LEX Plant*. Frekuensi dapat kembali pada frekuensi yang diizinkan beroperasi secara terus menerus pada waktu 30 detik. Meskipun frekuensi dapat pulih selama 30 detik, hal ini masih dapat

dikatakan aman karena berdasarkan standar IEEE C37.106-2003 bahwa pada frekuensi 48.46 Hz generator, maksimal beroperasi dalam waktu 10 menit sedangkan pada skema ini frekuensi kembali pulih pada 50.39 Hz selama 30 sekon saja. Selain menyebabkan penurunan pada frekuensi, osilasi suplai daya juga menyebabkan menurunnya tegangan atau terjadi tegangan kedip yang terjadi ketika generator G1C dan G1B lepas dari sistem pada waktu 1 sekon hingga mencapai 87.5% dari tegangan nominalnya 4.16 kV. Setelah dilakukan pelepasan beban sempat terjadi overvoltage namun hanya mencapai titik tertinggi 104% hingga mencapai normal sebesar 4.15 kV pada waktu 30 sekon. Berdasarkan hasil ini, tegangan kedip yang terjadi dapat dikatakan aman karena menurut standar SEMI F47 dimana pada tegangan nominal lebih dari 80% dapat beroperasi secara terus-menerus. Meskipun tegangan turun hingga melewati 90% dari tegangan nominal dan dikatakan tegangan kedip *momentary* berdasarkan IEEE 1159-1995, namun berdasarkan standar SEMI F47 masih dikatakan aman.

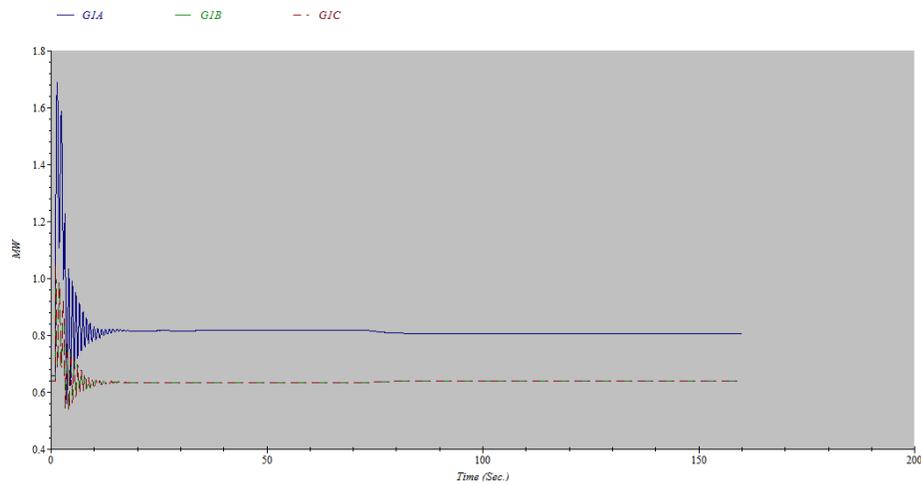
#### **4.4.8 Generator G1D, G801A, G801B dan G801C Lepas**

Pada skenario ini terdapat 4 unit generator yang lepas dari sistem yaitu generator G1D dan semua generator pada *Process Plant* sehingga sistem akan *overload* sekitar 1323 kW. Berikut ini beberapa hasil dari simulasi yang telah dilakukan di ETAP:

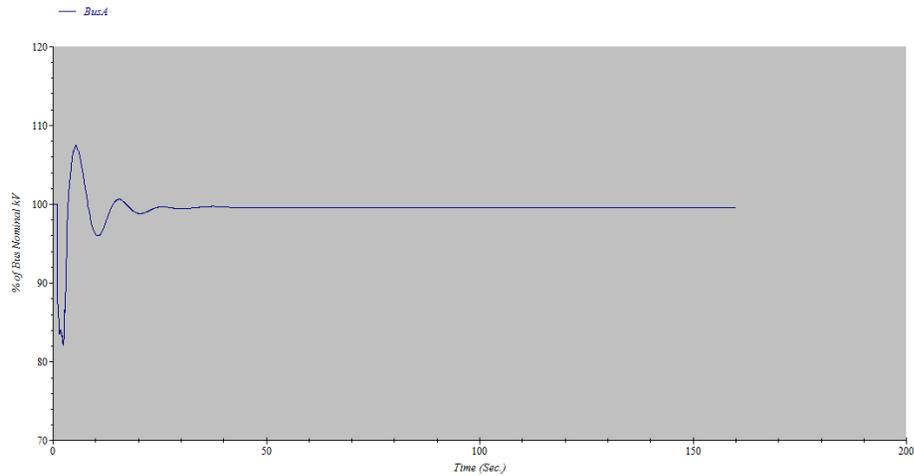
Time 0 160.000 Seconds 160.000

Time (sec)	Event	Device ID	Action	Action By
1.000	G1A-T	G801C	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G801B	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G1D	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G801A	Delete	Study Case
2.570	Freq. Relay	764	Open	quency Re
2.780	Freq. Relay	743	Open	quency Re
2.780	Freq. Relay	CB25	Open	quency Re
3.030	Freq. Relay	CB19	Open	quency Re
3.330	Freq. Relay	760	Open	quency Re
3.330	Freq. Relay	CB9	Open	quency Re
3.330	Freq. Relay	CB8	Open	quency Re

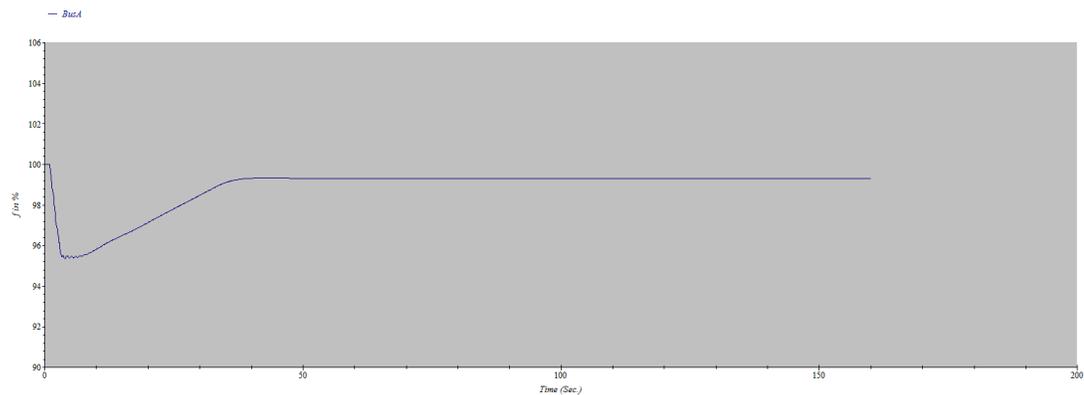
Gambar 4.30 Action List Generator G1D, G801A, G801B dan G801C Lepas



Gambar 4.31 Perubahan Daya Aktif Saat Generator G1D, G801A, G801B dan G801C Lepas



Gambar 4.32 Perubahan Tegangan Bus A Saat Generator *G1D*, *G801A*, *G801B* dan *G801C* Lepas



Gambar 4.33 Perubahan Frekuensi Saat Generator *G1D*, *G801A*, *G801B* dan *G801C* Lepas

Suplai daya aktif mengalami peningkatan pada generator yang masih beroperasi menyebabkan penurunan frekuensi pada sistem hingga mencapai 95% dari frekuensi nominal. Ketika mencapai frekuensi ini, maka yang terjadi adalah pelepasan beban hingga tahap ke-4 yaitu hingga lepasnya beban MCC B pada *LEX Plant*. Frekuensi dapat kembali pada frekuensi yang diizinkan beroperasi secara terus menerus pada

waktu 40 sekon. Meskipun frekuensi dapat pulih selama 40 sekon, hal ini masih dapat dikatakan aman karena berdasarkan standar IEEE C37.106-2003 bahwa pada frekuensi 47.5 Hz, generator maksimal beroperasi dalam waktu 15 detik. Namun hal itu hanya berlangsung selama 6 detik. Sedangkan pada skema ini frekuensi kembali pulih pada 49.65 Hz selama 40 sekon saja. Selain menyebabkan penurunan pada frekuensi, osilasi suplai daya juga menyebabkan menurunnya tegangan atau terjadi tegangan kedip yang terjadi ketika generator G1D, G801A, G801B dan G801C lepas dari sistem pada waktu 1 sekon hingga mencapai 82% dari tegangan nominalnya 4.16 kV. Setelah dilakukan pelepasan beban sempat terjadi overvoltage namun hanya mencapai titik tertinggi 106% hingga mencapai normal sebesar 4.15 kV pada waktu 30 sekon. Berdasarkan hasil ini, tegangan kedip yang terjadi dapat dikatakan aman karena menurut standar SEMI F47 dimana pada tegangan nominal lebih dari 80% dapat beroperasi secara terus-menerus. Meskipun tegangan turun hingga melewati 90% dari tegangan nominal dan dikatakan tegangan kedip *momentary* berdasarkan IEEE 1159-1995, namun berdasarkan standar SEMI F47 masih dikatakan aman.

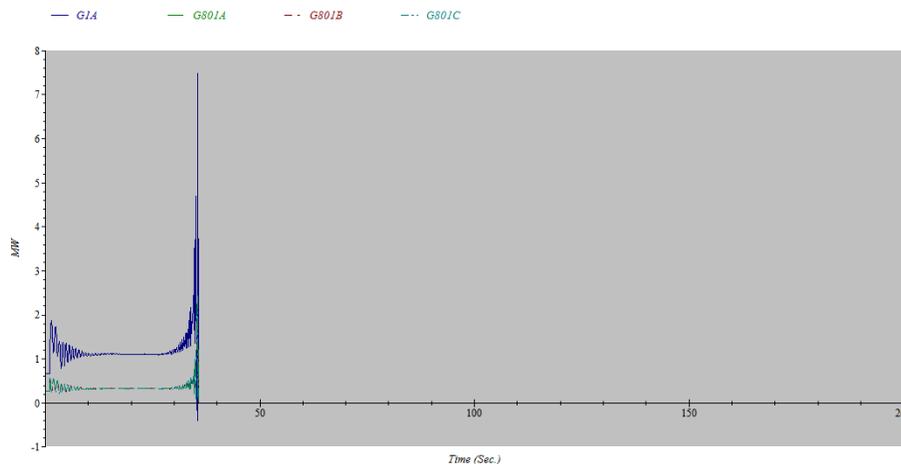
#### **4.4.9 Generator G1B, G1C dan G1D Lepas**

Pada skenario ini terdapat 1 unit generator yang lepas dari sistem yaitu generator G1B, G1C dan G1D yang ada pada *Process Plant*, sehingga sistem akan kehilangan beban sekitar 2111 kW. Berikut ini beberapa hasil dari simulasi yang telah dilakukan di ETAP:

Time 0 160.000 Seconds 160.000

Time (sec)	Event	Device ID	Action	Action By
1.000	G1A-T	G1C	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G1D	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G1B	Delete	Study Case
2.390	Freq. Relay	764	Open	quency Re
2.710	Freq. Relay	743	Open	quency Re
2.710	Freq. Relay	CB25	Open	quency Re
2.910	Freq. Relay	CB19	Open	quency Re
3.060	Freq. Relay	CB9	Open	quency Re
3.070	Freq. Relay	760	Open	quency Re
3.070	Freq. Relay	CB8	Open	quency Re

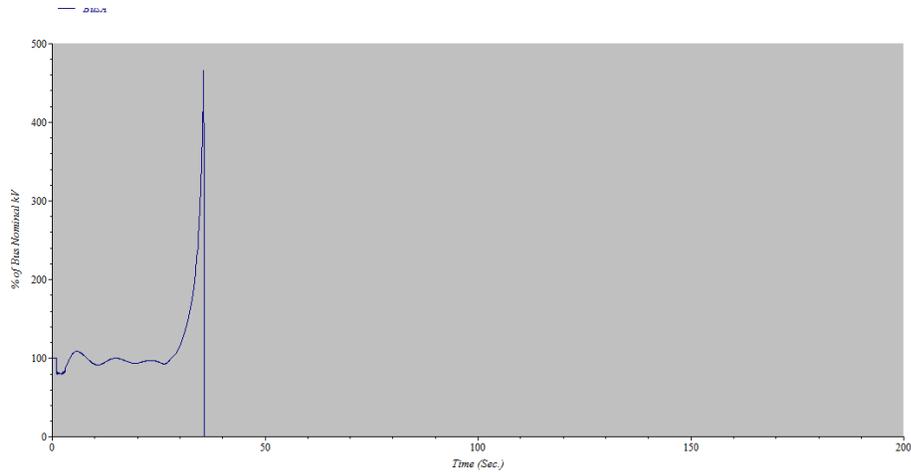
Gambar 4.34 Action List Generator G1B, G1C dan G1D Lepas



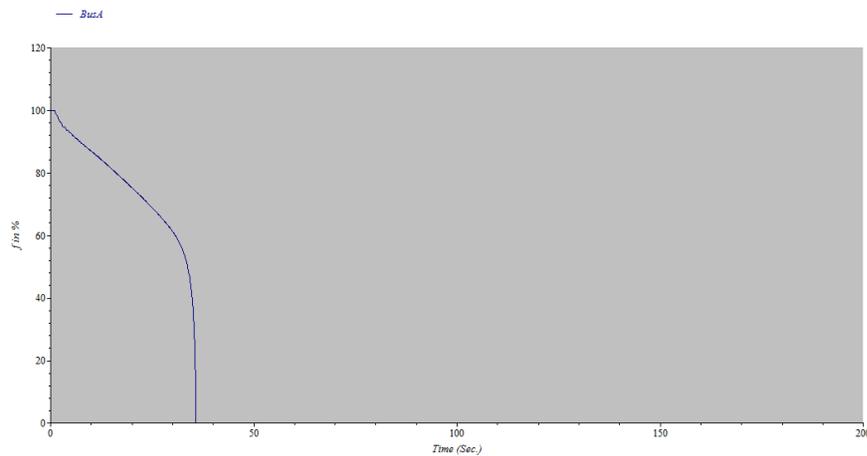
Gambar 4.35 Perubahan Daya Aktif Saat Generator G1B, G1C dan G1D Lepas

Pada hasil simulasi ini terlihat bahwa ketika 3 unit generator *LEX Plant* mengalami gangguan sehingga menyebabkan lepasnya ketiga generator tersebut menyebabkan sistem kelebihan beban sebesar 2111 kW. Terlihat pada Gambar bahwa pelepasan beban telah sampai tahap ke 4 dimana beban yang dilepas telah sampai pada MCC B. Hal itu berarti beban yang telah dilepas sekitar 1200kW. Dengan jumlah beban

yang dilepas seperti itu, tidak akan cukup menutupi kelebihan beban. Sehingga yang terjadi adalah meningkatnya suplai daya generator hingga ketitik 8WM pada G1A dan menyebabkan kegagalan kerja shingga seluruh sistem dikatan black out.



Gambar 4.36 Perubahan Tegangan Bus A Saat Generator G1B, G1C dan G1D Lepas



Gambar 4.37 Perubahan Frekuensi Saat Generator G1B, G1C dan G1D Lepas

Hasil pada perubahan tegangan maupun frekuensi juga menunjukkan bahwa ketika pelepasan beban sudah tidak mampu lagi mengimbangi besarnya permintaan daya pada beban maka yang terjadi baik frekuensi maupun tegangan akan menurun

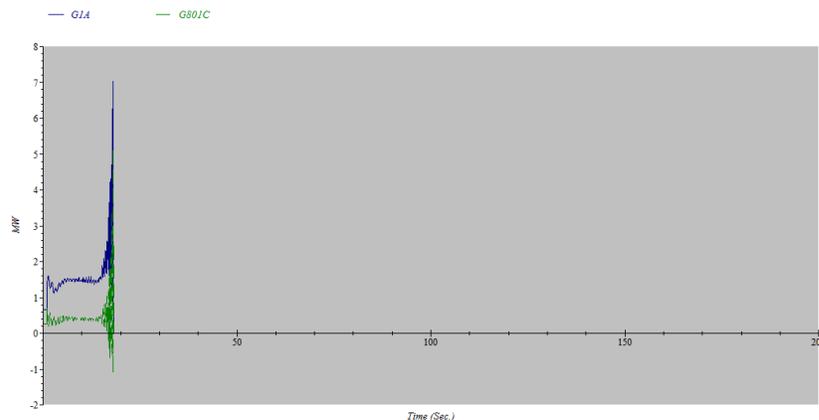
secara drastic atau dengan kata lain menuju titik nol (*black out*). Maka hal yang paling mungkin dilakukan untuk menyelamatkan proses produksi adalah dengan melakukan *islanding*.

#### 4.4.10 Generator G1B, G1C, G1D, G801A dan G801B Lepas

Pada skenario ini terdapat 1 unit generator yang lepas dari sistem yaitu generator G801A, G801B dan G801C, sehingga sistem akan kehilangan beban sekitar 3000 kW. Berikut ini beberapa hasil dari simulasi yang telah dilakukan di ETAP:

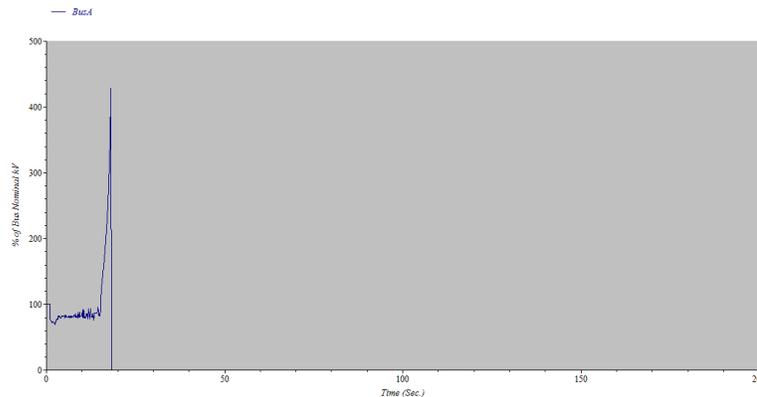
Time (sec)	Event	Device ID	Action	Action By
1.000	G1A-T	G801B	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G801A	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G1C	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G1D	Delete	Study Case
1.000	G1A-T	G1B	Delete	Study Case
2.540	Freq. Relay	764	Open	quency Re
2.750	Freq. Relay	743	Open	quency Re
2.750	Freq. Relay	CB25	Open	quency Re
2.950	Freq. Relay	CB19	Open	quency Re
3.170	Freq. Relay	CB9	Open	quency Re
3.180	Freq. Relay	760	Open	quency Re
3.180	Freq. Relay	CB8	Open	quency Re

Gambar 4.38 Action List Generator G1B, G1C, G1D, G801A dan G801B Lepas

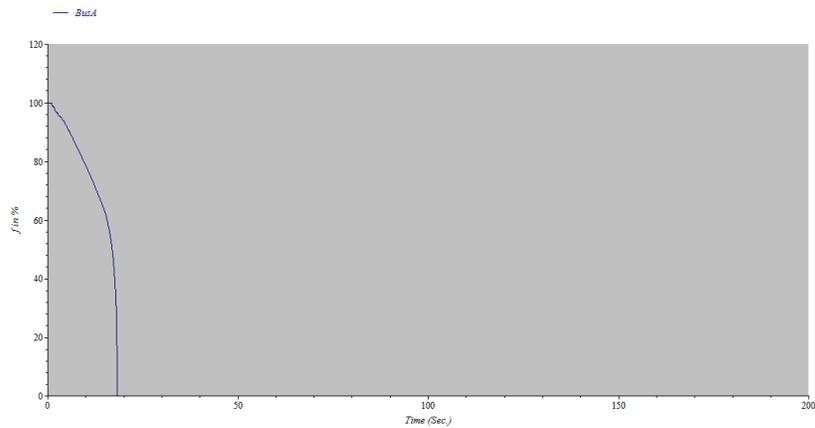


Gambar 4.39 Perubahan Daya Aktif Saat Generator G1B, G1C, G1D, G801A dan G801B Lepas

Pada hasil simulasi ini terlihat bahwa ketika 5 unit generator mengalami gangguan sehingga menyebabkan lepasnya generator tersebut menyebabkan sistem kelebihan beban sebesar 3000 kW atau merupakan kelebihan beban terbesar. Terlihat pada Gambar bahwa pelepasan beban telah sampai tahap ke 4 dimana beban yang dilepas telah sampai pada MCC B. Hal itu berarti beban yang telah dilepas sekitar 1200kW. Dengan jumlah beban yang dilepas seperti itu, tidak akan cukup menutupi kelebihan beban. Sehingga yang terjadi adalah meningkatnya suplai daya generator hingga ketitik 7 WM pada G1A dan menyebabkan kegagalan kerja sehingga seluruh sistem dikatakan black out hanya kurun waktu kurang dari 5 detik.



*Gambar 4.40 Perubahan Tegangan Bus A Saat Generator G1B, G1C, G1D, G801A dan G801B Lepas*



Gambar 4.41 Perubahan Frekuensi Saat Generator G1B, G1C, G1D, G801A dan G801B Lepas

Hasil pada perubahan tegangan maupun frekuensi juga menunjukkan bahwa ketika pelepasan beban sudah tidak mampu lagi mengimbangi besarnya permintaan daya pada beban maka yang terjadi baik frekuensi maupun tegangan akan menurun secara drastis atau dengan kata lain menuju titik nol (*black out*). Maka hal yang paling mungkin dilakukan untuk menyelamatkan proses produksi adalah dengan melakukan *islanding*.