

## ANALISA ALIRAN DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK MENGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6

Ali Supriyadi \*)

### Abstrak

*Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang. Dengan studi aliran daya dapat mengetahui tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem, baik magnitude maupun sudut fasa tegangan, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran yang ada dalam system, kondisi dari semua peralatan, apakah memenuhi batas batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya listrik yang diinginkan.*

*Untuk menyelesaikan studi aliran daya, metode yang sering digunakan adalah metode Gauss-Seidel dan metode Newton Raphson. Metode Newton Raphson lebih cepat mencapai nilai konvergen sehingga proses iterasi yang berlangsung lebih sedikit. Dengan menggunakan ETAP dapat diketahui dengan cepat tindakan apa yang harus diketahui, dari hasil analisa untuk memperbaiki keadaan over excited pada generator 2 dilakukan penambahan kapasitor pada bus yang terhubung langsung dengan generator 2 sebesar 21 Mvar.*

### I. PENDAHULUAN

Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang. Dengan studi aliran daya dapat mengetahui tegangan-tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem, baik magnitude maupun sudut fasa tegangan, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran yang ada dalam system, kondisi dari semua peralatan, apakah memenuhi batasbatas yang ditentukan untuk menyalurkan daya listrik yang diinginkan.

#### 1.1 Bus Referensi (*Swing* atau *Slack Bus*)

Bus ini berfungsi untuk mensuplai kekurangan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dalam sistem. Parameter atau besaran yang di tentukan adalah tegangan (V) dan sudut fasa ( $\delta$ ). Setiap sistem tenaga listrik hanya terdapat 1 bus referensi, yaitu bus yang didalamnya terdapat pembangkit atau generator yang memiliki kapasitas terbesar di antara pembangkit yang lain didalam sistem.

#### 1.2 Bus Generator (*Voltage Control Bus*)

Bus ini merupakan bus yang tegangannya dapat dikontrol melalui pengaturan daya reaktif agar tegangannya tetap. Parameter atau besaran yang diketahui adalah daya

aktif (P) dan tegangan (V). Bus ini dinamakan PV bus.

### 1.3 Bus Beban (*Load Bus*)

Bus ini adalah bus yang terhubung dengan beban sistem. Parameter atau besaran yang ditentukan adalah daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), maka bus ini disebut juga PQ bus.

Sebelum analisis aliran daya dilakukan, komponen sistem yang terdiri dari pembangkit (generator), transformator, saluran transmisi dan beban harus di representasikan atau di modelkan melalui diagram satu garis (*oneline diagram*) dengan menganggap sistem tiga fasa dalam keadaan seimbang. Diagram ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran secara ringkas suatu sistem tenaga listrik secara keseluruhan, dalam hal ini sistem tenaga listrik di Sumatera Utara. Untuk itu di butuhkan data-data yang terkait dengan komponen-komponen tersebut. Menurut Stevenson (1996), data-data yang dibutuhkan untuk analisis aliran daya adalah sebagai berikut :

- a. Data pembangkit (generator), yaitu kapasitas daya aktif (P) dalam satuan Megawatt (MW) dan reaktif (Q) dalam satuan Megavolt Ampere (MVA) , tegangan terminal (V) dalam satuan Kilovolt (KV) dan reaktansi sinkron (X) dalam satuan Ohm ( $\Omega$ ).
- b. Data Transformator Daya, yaitu kapasitas tiap trafo dalam satuan Megavolt Ampere (MVA), tegangan (V) dalam satuan Kilovolt (KV) dan reaktansi bocor (X) dalam satuan Ohm ( $\Omega$ ).
- c. Data saluran transmisi, yaitu resistansi (R) dalam ohm ( $\Omega$ ) dan reaktansi (X) dalam ohm ( $\Omega$ ).
- d. Data beban, yaitu daya aktif (P) dalam Megawatt (MW) dan daya reaktif (Q) dalam satuan Megavolt Ampere (MVA).

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Studi Aliran Daya Listrik

Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang (Stevenson,1996).

Adapun tujuan dari studi analisa aliran daya antara lain (Sulasno,1993):

- a. Untuk mengetahui tegangan-tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem, baik magnitude maupun sudut fasa tegangan.
- b. Untuk mengetahui daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran yang ada dalam sistem.
- c. Untuk mengetahui kondisi dari semua peralatan, apakah memenuhi batas batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya listrik yang diinginkan.
- d. Untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru.
- e. Untuk memperoleh kondisi awal untuk studi-studi selanjutnya seperti studi hubung singkat, stabilitas, dan pembebanan ekonomis.



$$[G_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q) + B_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q) \dots \dots \dots (10)$$

$$p = 1, 2, 3, \dots n$$

dimana superskrip *spec* berarti yang ditetapkan (*specified*) dan *calc* adalah yang dihitung (*calculated*).

Proses iterasi ini akan berlangsung sampai perubahan daya aktif ( $\Delta P_p$ ) dan perubahan daya reaktif ( $\Delta Q_p$ ) tersebut telah mencapai nilai konvergen ( $\epsilon$ ) yang telah ditetapkan. Pada umumnya nilai konvergen antara 0,01 sampai 0,0001. (Sulasno,1993).

Matrik Jacobian terdiri dari turunan parsial dari  $P$  dan  $Q$  terhadap masing-masing variabel, besar dan sudut fasa tegangan, dalam Persamaan (7) dan Persamaan (8). Besar dan sudut fasa tegangan yang diasumsikan serta daya aktif dan daya reaktif yang dihitung digunakan untuk mendapatkan elemenelemen *Jacobian*. Setelah itu akan diperoleh harga dari perubahan besar tegangan  $\frac{\Delta|v|}{|v|}$ , dan perubahan sudut fasa tegangan,  $\Delta\delta$ .

Secara umum persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut (Pai,1979) :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}_{(k)} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \frac{\Delta|V|}{|V|} \end{bmatrix}_{(k)} \dots \dots \dots (11)$$

Submatrik  $H$ ,  $N$ ,  $J$ ,  $L$  menunjukkan turunan parsial dari Persamaan (7) dan (8) terhadap  $|V|$  dan  $\delta$ , dimana matrik tersebut disebut matrik *Jacobian*. Nilai dari masing masing elemen Jacobian sebagai berikut (Pai,1979) :

a. Untuk  $p \neq q$

$$H_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} = |V_p||V_q|[G_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q) - B_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q)]$$

$$N_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial |V_q|} = |V_p||V_q|[G_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q) + B_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q)]$$

$$J_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} = -|V_p||V_q|[G_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q) + B_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q)]$$

$$K_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial |V_q|} = |V_p||V_q|[G_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q) - B_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q)] \dots \dots \dots (12)$$

b. Untuk  $p = q$

$$H_{pp} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_p} = -Q_p - B_{pp}|V_p|^2$$

$$N_{pp} = \frac{\partial P_p}{\partial |V_p|} = P_p + G_{pp}|V_p|^2$$

$$J_{pp} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_p} = P_p + G_{pp}|V_p|^2$$

$$K_{pp} = \frac{\partial Q_p}{\partial |V_p|} = Q_p - B_{pp}|V_p|^2 \dots \dots \dots (13)$$

dengan :

$$P_p = |V_p| \sum_{q=1}^n |V_q|[G_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q) + B_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q)]$$

$$Q_p = |V_p| \sum_{q=1}^n |V_q|[G_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q) + B_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q)]$$

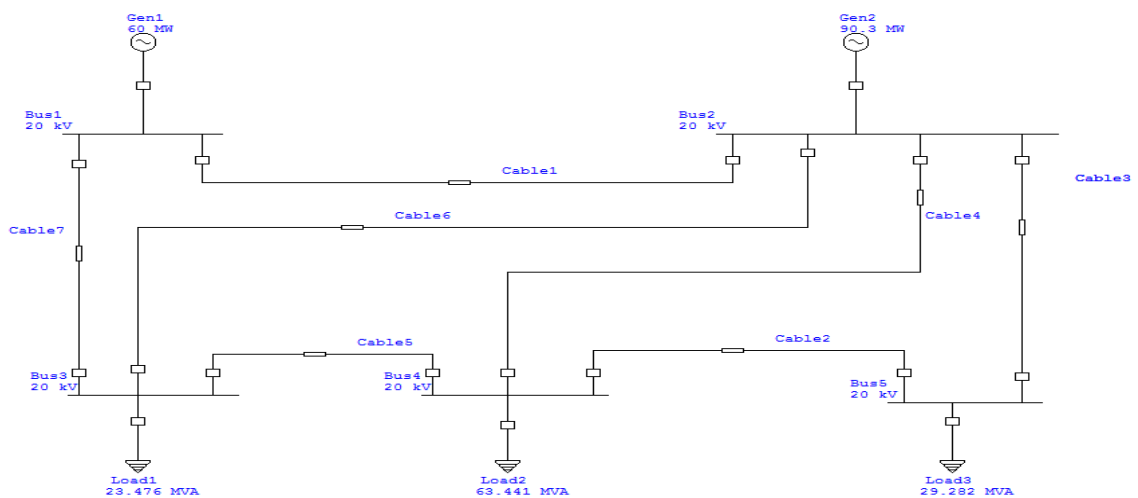
### III. ANALISA ALIRAN DAYA MENGGUNAKAN ETAP

#### 3.1 Langkah-langkah menjalankan simulasi aliran daya pada ETAP

- a. Menggambar single-line diagram pada lembar kerja ETAP.
- b. Memasukkan parameter-parameter setiap komponen
  - Power grid (rated kV, MVA<sub>sc</sub>, %V, V<sub>angle</sub>, dll)
  - Bus (Nominal Kv)
  - Transformator (Kv prim, Kv sek, rating MVA, %Z, X/R, dll)
  - Line (panjang, R<sub>0</sub>, X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, R<sub>1,2</sub>, X<sub>1,2</sub>, Y<sub>1,2</sub>, dll)
  - Load (1 fasa/ 3 fasa, MVA, PF, Amps, rated KV, dll)

- c. Mengganti mode load-flow dengan cara klik load flow analysis pada mode toolbar.
- d. Pilih metode aliran daya dengan cara klik load flow study case, disini terdapat beberapa pilihan metode yaitu: newtonraphson, gaus siedel, fast decouple.
- e. Run load flow dengan cara klik ikon run load flow pada load flow toolbar.
- f. Untuk melihat hasil secara komplit klik report manager. Disini terdapat beberapa pilihan format dari hasil aliran daya yaitu: pdf, Microsoft word, Microsoft excel, dll.

#### 3.2 Single Line Diagram



Gambar 1. Single Line Diagram Sistem Distribusi Tenaga Listrik

#### 3.3 Data Percobaan :

##### a. Data Generator

Generator 1

Mode : Swing  
Tegangan : 20 Kv  
Daya : 60 MW

Mode : Swing  
Tegangan : 20 Kv  
Daya : 90,3 MW  
PF : 95%

b. Data Beban

- Beban 1
  - V : 20 Kv
  - P : 20,13 MW
  - Q : 12,08 Mvar
- Beban 2
  - V : 20 Kv
  - P : 54,4 MW
  - Q : 32,64 Mvar
- Beban 3
  - V : 20 Kv
  - P : 25,01 MW
  - Q : 15,23 Mvar

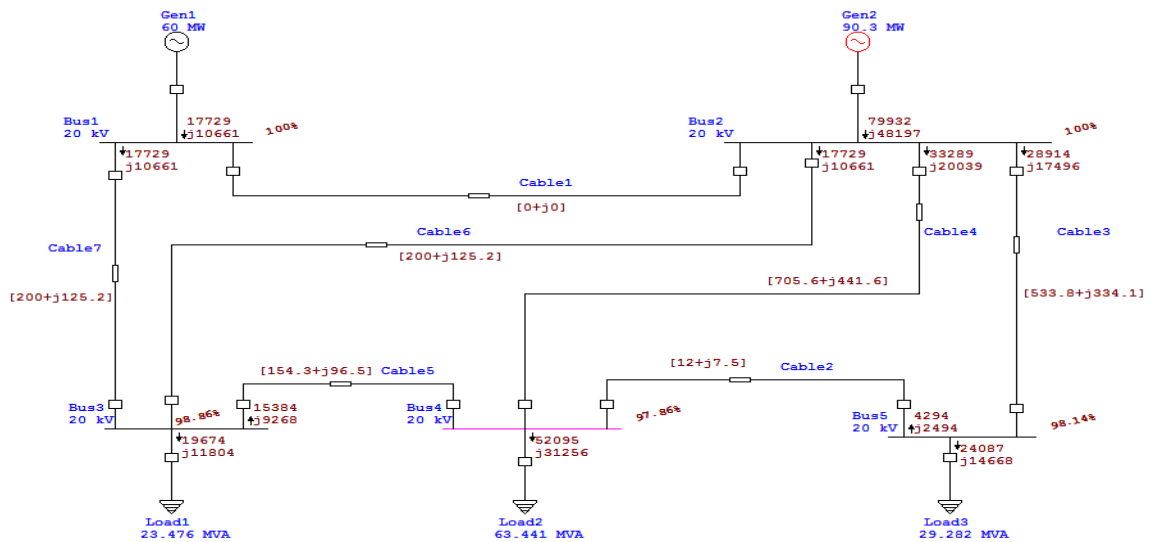
- Heesung – XLPE – 3/C
- Metric CU 50 Hz 30 Kv
- Panjang : 40 km
- Size 120 mm<sup>2</sup>
- Cable 4 (bus 2 – 4)
- Heesung – XLPE – 3/C
- Metric CU 50 Hz 30 Kv
- Panjang : 50 km
- Size 120 mm<sup>2</sup>
- Cable 5 (bus 4 – 3)
- Heesung – XLPE – 3/C
- Metric CU 50 Hz 30 Kv
- Panjang : 50 km
- Size 120 mm<sup>2</sup>
- Cable 6 (bus 2 – 3)
- Heesung – XLPE – 3/C
- Metric CU 50 Hz 30 Kv
- Panjang : 130 km
- Size 120 mm<sup>2</sup>
- Cable 7 (bus 1 – 3)
- Heesung – XLPE – 3/C
- Metric CU 50 Hz 30 Kv
- Panjang : 20 km
- Size 120 mm<sup>2</sup>

c. Data Saluran

- Cable 1 (bus 1 – 2)
- Heesung – XLPE – 3/C
- Metric CU 50 Hz 30 Kv
- Panjang : 150 km
- Size 120 mm<sup>2</sup>
- Cable 2 (bus 4 – 5)
- Heesung – XLPE – 3/C
- Metric CU 50 Hz 30 Kv
- Panjang : 60 km
- Size 120 mm<sup>2</sup>
- Cable 3 (bus 2 – 5)

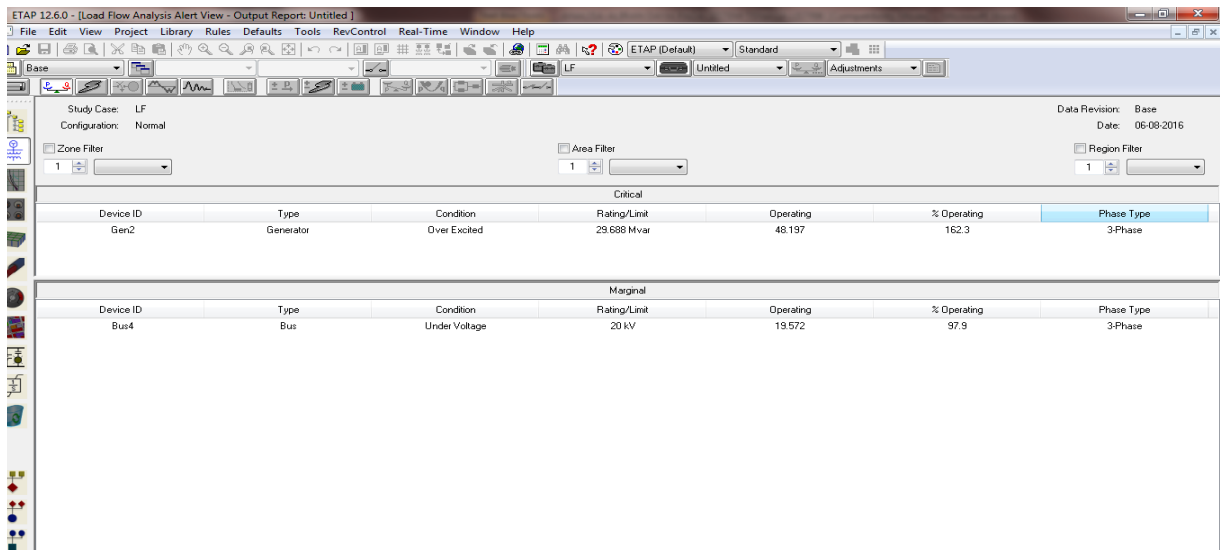
3.4 Hasil Simulasi

a. Simulasi aliran daya ETAP



Gambar 2. Model Sistem Distribusi Tenaga Listrik setelah di simulasi aliran daya ETAP 12.6

b. Alert View



Gambar 3. Alert View

c. Load Flow Analysis

LOAD FLOW REPORT

Bus	Voltage			Generation		Load		Load Flow				XFMR		
	ID	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap
* Bus1	20.000	100.000	0.0		17.729	10.661	0	0	Bus2	0.000	0.000	0.0	0.0	
									Bus3	17.729	10.661	597.2	85.7	
* Bus2	20.000	100.000	0.0		79.932	48.197	0	0	Bus1	0.000	0.000	0.0	0.0	
									Bus5	28.914	17.496	975.6	85.6	
									Bus4	33.289	20.039	1121.7	85.7	
Bus3	20.000	98.860	0.0		0	0	19.674	11.804	Bus3	17.729	10.661	597.2	85.7	
									Bus4	15.384	9.268	524.4	85.7	
									Bus2	-17.529	-10.536	597.2	85.7	
Bus4	20.000	97.858	0.0		0	0	52.095	31.256	Bus1	-17.529	-10.536	597.2	85.7	
									Bus5	-4.282	-2.487	146.1	86.5	
									Bus2	-32.583	-19.598	1121.7	85.7	
Bus5	20.000	98.137	0.0		0	0	24.087	14.668	Bus3	-15.230	-9.171	524.4	85.7	
									Bus4	4.294	2.494	146.1	86.5	
									Bus2	-28.380	-17.162	975.6	85.6	

\* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)  
 # Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

Gambar 4. Load flow Report

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag	
	ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From		To
Cable1		0.000	0.000	0.000	0.000			100.0	100.0	
Cable7		17.729	10.661	-17.529	-10.536	200.0	125.2	100.0	98.9	1.14
Cable3		28.914	17.496	-28.380	-17.162	533.8	334.1	100.0	98.1	1.86
Cable4		33.289	20.039	-32.583	-19.598	705.6	441.6	100.0	97.9	2.14
Cable6		17.729	10.661	-17.529	-10.536	200.0	125.2	100.0	98.9	1.14
Cable5		15.384	9.268	-15.230	-9.171	154.3	96.5	98.9	97.9	1.00
Cable2		-4.282	-2.487	4.294	2.494	12.0	7.5	97.9	98.1	0.28

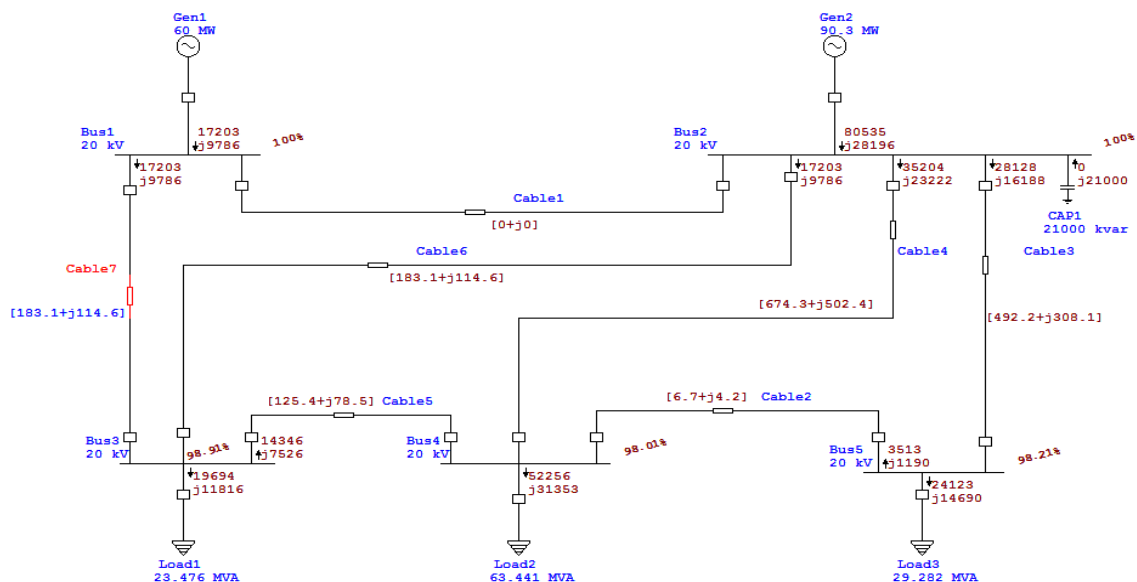
Gambar 5. Losses Report

**3.5 Analisa**

Dari hasil simulasi aliran daya menggunakan software ETAP 12.6 di atas dapat dilihat daya yang mengalir pada tiap bus. Besarnya daya yang mengalir tergantung pada beban yang terpasang pada bus tersebut. Bus 4 diketahui pada kondisi under voltage (marginal) dan pada generator 2 mengalami over excited (critical) karena setting marginal 95%.

Untuk memperbaiki keadaan bus 4 yang under voltage dilakukan dengan memperbaiki impedansi dengan memperbesar luas penampang pada kabel 4.

Sedang untuk memperbaiki keadaan generator 2 yang mengalami over excited, dilakukan dengan memasang kapasitor



Gambar 6. Model Sistem Distribusi Tenaga Listrik setelah di simulasi aliran daya ETAP 12.6 (Setelah melakukan koreksi luas penampang kabel dan penambahan kapasitor)

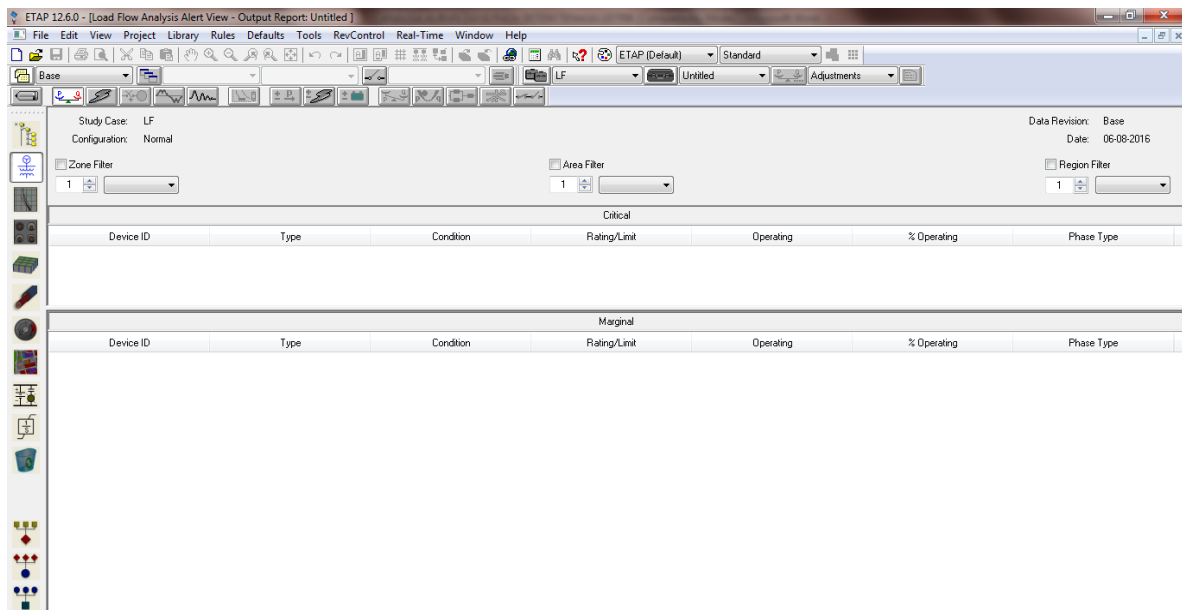


Besarnya kapasitor yang harus dipasang dapat diketahui dari alert view. Pada alert view ditunjukkan bahwa rating/limitnya adalah sebesar 29,688 Mvar sedangkan pada kenyataannya beroperasi (operating) sebesar 48,197 Mvar. Besar nilai kapasitor yang harus ditambahkan adalah Mvar operating – 95 % Mvar rating.

$$C = 48,197 - (0,95 \times 29,688)$$

$$C = 20 \text{ Mvar}$$

Karena setting marginal 95% (artinya akan mengalami keadaan marginal apabila beroperasi 95%) jadi nilai kapasitor harus lebih besar dari 20 Mvar agar operatingnya kurang dari 95%. Untuk itu diambil nilai kapasitor sebesar 21 Mvar / 21000 kvar.



Gambar 7. Alert View  
(Setelah melakukan koreksi luas penampang kabel dan penambahan kapasitor)

**LOAD FLOW REPORT**

Bus		Voltage			Generation		Load		Load Flow					XFMR
ID	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap	
* Bus1	20.000	100.000	0.0	17.203	9.786	0	0	Bus2	0.000	0.000	0.0	0.0		
								Bus3	17.203	9.786	571.3	86.9		
* Bus2	20.000	100.000	0.0	80.535	28.196	0.000	-21.000	Bus1	0.000	0.000	0.0	0.0		
								Bus5	28.128	16.188	936.9	86.7		
								Bus4	35.204	23.222	1217.4	83.5		
Bus3	20.000	98.910	0.0	0	0	19.694	11.816	Bus3	17.203	9.786	571.3	86.9		
								Bus4	14.346	7.526	472.8	88.6		
								Bus2	-17.020	-9.671	571.3	86.9		
Bus4	20.000	98.009	-0.1	0	0	52.256	31.353	Bus1	-17.020	-9.671	571.3	86.9		
								Bus5	-3.506	-1.185	109.0	94.7		
								Bus2	-34.529	-22.720	1217.4	83.5		
								Bus3	-14.221	-7.448	472.8	88.6		
Bus5	20.000	98.212	0.0	0	0	24.123	14.690	Bus4	3.513	1.190	109.0	94.7		
								Bus2	-27.636	-15.880	936.9	86.7		

\* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)  
# Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

Gambar 8. Load flow Report  
(Setelah melakukan koreksi luas penampang kabel dan penambahan kapasito)

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
Cable1	0.000	0.000	0.000	0.000			100.0	100.0	
Cable7	17.203	9.786	-17.020	-9.671	183.1	114.6	100.0	98.9	1.09
Cable3	28.128	16.188	-27.636	-15.880	492.2	308.1	100.0	98.2	1.79
Cable4	35.204	23.222	-34.529	-22.720	674.3	502.4	100.0	98.0	1.99
Cable6	17.203	9.786	-17.020	-9.671	183.1	114.6	100.0	98.9	1.09
Cable5	14.346	7.526	-14.221	-7.448	125.4	78.5	98.9	98.0	0.90
Cable2	-3.506	-1.185	3.513	1.190	6.7	4.2	98.0	98.2	0.20
					1664.7	1122.3			

Gambar 9. *Losses Report*

(Setelah melakukan koreksi luas penampang kabel dan penambahan kapasito)

**IV. KESIMPULAN**

1. Analisa aliran daya merupakan suatu analisa aliran daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit melalui suatu saluran hingga ke beban.
2. Besarnya daya yang mengalir tergantung pada besarnya beban yang terpasang pada bus.
3. Dengan menggunakan ETAP dapat diketahui dengan cepat tindakan apa yang harus

diketahui. Pada analisa di atas, untuk memperbaiki keadaan over excited pada generator dilakukan penambahan kapasitor pada bus yang terhubung langsung dengan generator. Untuk memperbaiki keadaan bus 4 yang under voltage dilakukan dengan memperbaiki impedansi dengan memperbesar luas penampang pada kabel 4, dan sekaligus memperbaiki losses.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. John J. Grainger, William D. Stevenson, Jr., "*Power System Analysis*", McGraw-Hill Inc, 1994
2. Hadi Saadat, "*Power System Analysis*", McGraw-Hill Inc, 1999
3. Turan Gonen, "*Modern Power System Analysis*", John Wiley & Sons, 1988
4. Sulasno, Ir. "*Analisis Sistem tenaga*", Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 1993
5. Sulasno, Ir. "*Sistem Distribusi Tenaga Listrik*", Semarang: Satya Wacana, 1993

\*) Ali Supriyadi adalah pejabat fungsional Widyaiswara