

PROFIL AMPLITUDO TEGANGAN TERHADAP KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA INTERKONEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN METODE NEWTON RAPSON

Syamsir¹, Syarifuddin Nojeng²

^{1,2}Staf Pengajar, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Jln. Urip Sumoharjo 90231 INDONESIA

(tel: 0411-443685; fax: 0411-443685; e-mail: syamsir.syamsir@umi.ac.id ; syarifuddin.nojeng@umi.ac.id

ABSTRACT

In an electric power network system, shunt capacitors are widely used to meet reactive power shortages, reduce energy losses, regulate voltage, and improve system operating security. The installation of the shunt capacitor causes the current flowing in the conductor to be smaller, thus reducing the amount of power losses and voltage drop on the channel. Power flow is a study carried out to obtain data regarding the magnitude of power flow, current and voltage profile. By using a 31 bus system with a shunt capacitor installed on bus 21 of 40 MVAR and 80 MVAR, the voltage amplitude will improve on the bus and also the voltage amplitude in the entire system.

Keyword : Voltage Amplitude, Reactive power compensation, Newton Raphson method

ABSTRAK

Dalam suatu sistem jaringan tenaga listrik, kapasitor shunt digunakan secara luas untuk memenuhi kekurangan daya reaktif, mengurangi rugi-rugi energi, mengatur tegangan, dan meningkatkan keamanan operasi sistem. Pemasangan kapasitor shunt tersebut menyebabkan arus yang mengalir pada penghantar menjadi lebih kecil, sehingga akan mengurangi besarnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran. Aliran daya adalah studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan data mengenai besar aliran daya, arus dan profil tegangan. Dengan menggunakan sistem 31 bus dengan kapasitor shunt dipasang pada bus 21 sebesar 40 MVAR dan 80 MVAR, maka amplitudo tegangan akan semakin membaik pada bus tersebut dan juga amplitudo tegangan pada seluruh sistem.

Kata kunci : Amplitudo tegangan, kompensasi daya reaktif, metode Newton Raphson

I. PENDAHULUAN

Daya reaktif sudah lama dikenal sebagai faktor yang signifikan di dalam desain dan pengoperasian pada sistem tenaga listrik. Secara umum dengan cara yang sederhana, telah diamati bahwa daya reaktif disebabkan oleh impedansi dari jaringan yang sebagian besar merupakan komponen reaktif. Penyaluran daya aktif mengakibatkan suatu perbedaan sudut fasa antara tegangan pada sisi kirim dan tegangan pada sisi terima, sedangkan penyaluran daya reaktif mengakibatkan suatu perbedaan magnitude dari tegangan tersebut.

Daya reaktif tidak hanya dikonsumsi oleh elemen-elemen jaringan, tetapi juga dibutuhkan di dalam sistem kelistrikan untuk pengoperasian peralatan-peralatan seperti motor, transformator dan peralatan elektronika daya. Jika suatu sistem memerlukan penyaluran daya reaktif dapat dilakukan dengan mengatur batas maksimum dan minimum pembangkit atau

membangkitkan sumber daya reaktif yang telah terpasang pada lokasi-lokasi tertentu pada sistem.

Perkembangan pengetahuan dibidang sistem tenaga listrik saat ini memungkinkan untuk meningkatkan kemampuan beban (loadability) dan keamanan sistem dengan menempatkan kapasitor shunt pada saat beban tinggi atau menempatkan reaktor shunt saat beban ringan. Dalam suatu sistem jaringan tenaga listrik, kapasitor shunt digunakan secara luas untuk memenuhi kekurangan daya reaktif, mengurangi rugi-rugi energi, mengatur tegangan, dan meningkatkan keamanan operasi sistem.

Perubahan tap transformator digunakan untuk mengatur aliran daya pada transmisi dengan menambah tegangan antara sisi pembangkit dengan sisi beban. Reaktor shunt yang dipasang pada sistem tegangan tinggi digunakan untuk menjaga tegangan pada saat beban ringan, karena pada saat sistem kehilangan beban atau beban menjadi ringan reaktansi saluran yang dialiri arus akan menjadi sumber daya reaktif sehingga

tegangan akan naik. Dengan terpasangnya reaktor shunt, daya reaktif akan diserap oleh reaktor sehingga level tegangan dapat dipertahankan.

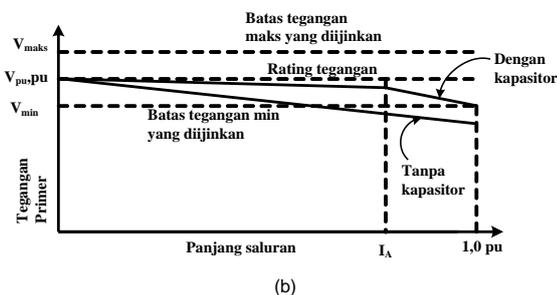
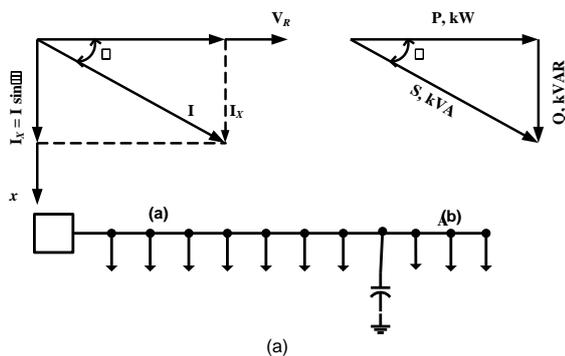
II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Teori tentang kompensasi kapasitor

Dalam penyaluran energi listrik ada beberapa masalah yang dihadapi antara lain jatuh tegangan, faktor daya yang rendah dan rugi-rugi daya. Beban pada jaringan distribusi bisa berupa beban kapasitif maupun induktif, namun pada umumnya merupakan beban induktif. Apabila beban reaktif induktif semakin tinggi maka akan berakibat memperbesar jatuh tegangan, memperbesar rugi-rugi daya, menurunkan faktor daya dan menurunkan kapasitas penyaluran daya.

Untuk mengurangi beban daya reaktif induktif diperlukan sumber daya reaktif kapasitif, salah satu diantaranya adalah dengan kapasitor yang dipasang secara paralel pada penghantar penyulang distribusi primer radial. Pemasangan kapasitor shunt tersebut menyebabkan arus yang mengalir pada penghantar menjadi lebih kecil, sehingga akan mengurangi besarnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada penyulang. Keuntungan yang dapat diperoleh dari pemasangan kapasitor antara lain :

- a. Perbaikan faktor daya.
- b. Penambahan kapasitas penyaluran daya.
- c. Pengurangan rugi-rugi daya.
- d. Penurunan jatuh tegangan.



Gbr. 1 Hubungan antara daya aktif dan reaktif pada saluran

2. Kapasitor dan Reaktor Shunt

Dalam sistem tenaga listrik sering diperlukan kapasitor shunt dan reaktor shunt yang dipakai sebagai alat kompensasi pada saluran transmisi. Kompensasi diperlukan antara lain untuk memperbaiki tegangan

agar variasi tegangan tetap berada pada batas-batas yang diizinkan

Pada kondisi kebutuhan daya aktif dan daya reaktif yang cukup besar maka tegangan cenderung menurun melewati batas yang diizinkan, Oleh sebab itu untuk mengatasi kondisi yang demikian maka dipasang kapasitor shunt yang dapat menyuplai daya reaktif sehingga tegangan dapat naik kembali. Sebaliknya bila kebutuhan daya aktif dan reaktif sangat kecil maka pengaruh dari kapasitor akan menyebabkan naiknya tegangan di sisi penerima, melewati batas yang diizinkan. Pemasangan reaktor shunt akan menyerap pelepasan muatan dari kapasitansi saluran sehingga tegangan turun kembali.

3. Studi aliran daya

Aliran daya adalah studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai besar aliran daya, arus ataupun tegangan dalam kondisi steady state. Informasi tersebut penting guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Analisis yang memerlukan pula informasi aliran daya dalam keadaan normal maupun darurat.

Masalah aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal tertentu. Representasi fase tunggal selalu dilakukan karena sistem dianggap seimbang. Dalam studi aliran beban daya bus dibagi dalam 3 macam, yaitu:

- a. Slack bus atau swing bus atau bus referensi.
- b. Voltage controlled bus atau bus generator
- c. Load bus atau bus beban

Pada tiap bus terdapat 4 besaran yaitu:

- a. Daya real atau daya nyata P
- b. Daya reaktif Q
- c. Harga skalar tegangan
- d. Sudut fase

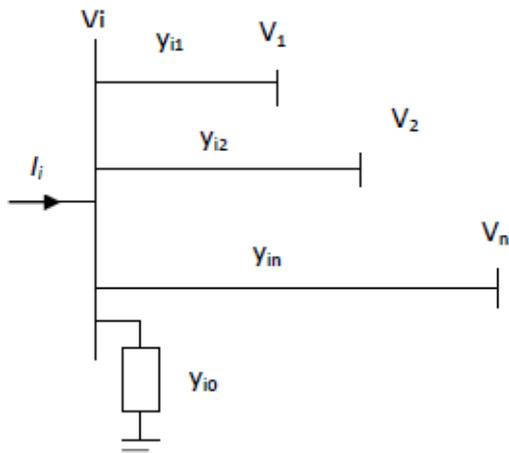
Pada tiap bus hanya 2 besaran yang ditentukan sedangkan dua besaran yang lain merupakan hasil akhir dari perhitungan. Besaran yang ditentukan adalah:

- a. Slack bus, besaran tegangan V dan sudut fasenya.
- b. Voltage controlled bus, daya real P dan harga skalar tegangan
- c. Load bus, daya real P dan daya Q.

Slack bus berfungsi mensuplai kekurangan daya real P dan reaktif Q termasuk rugi rugi pada line transmisi, karena rugi rugi daya tersebut dapat diketahui setelah penyelesaian akhir diperoleh.

Formulasi masalah aliran beban

Berdasarkan sistem tenaga listrik yang dinyatakan pada gambar 1. Berikut ini, impedansi dinyatakan pu berdasarkan pada dasar MVA dan untuk penyederhaannya resistansi diabaikan. Berdasarkan hukum kirchoff, impedansi tersebut diubah menjadi sebagai berikut:



Gbr. 2 Suatu Sistem bus

Persamaan arus pada saluran transmisi dinyatakan sebagai berikut:

$$I = YV \tag{1}$$

Dimana Y = Admittansi rangkaian
V = tegangan

Atau :

$$I = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot V_j \quad (i=1, 2, 2, 3, \dots, n) \tag{2}$$

$$Y_{ij} = \frac{1}{X_{ij}} \tag{3}$$

Untuk menyelesaikan aliran beban, persamaan daya pada titik adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{P_i - jQ_i}{V_i} \quad (i=1, 2, \dots, n) \tag{4}$$

Dimana P dan Q adalah injeksi daya aktif dan eraktif pada Node, sehingga:

$$I = \frac{P_i - jQ_i}{V_i} = \sum_{j=1}^n V_{ij} \cdot \hat{V}_j \quad (i=1, 2, \dots, n) \tag{5}$$

Persamaan daya pada Node:

$$I = P_i + jQ_i = \dot{V} \sum_{j=1}^n V_{ij} \cdot \hat{V}_j \quad (i=1, 2, \dots, n) \tag{6}$$

Sehingga persamaan tersebut dapat ditulis menjadi:

$$P_i + jQ_i = V_i \cdot e^{j\theta_i} \sum (G_{ij} - jB_{ij}) \cdot V_j \cdot e^{-j\theta_j} \quad (i=1, 2, \dots, n) \tag{7}$$

4. Penyelesaian dengan metode Newton Raphason

Penyelesaian ddengan metode nweton rapshon adalh suatu bentuk penyelesaian dengan persamaan non

linear yang diselesaiaik dengan algoritma linear. Konsep penyelesaian Newton Raphson adalah sebagai berikut:

$$f(x) = 0 \tag{8}$$

$$\text{Dengan memisalkan } x = x^{(0)} - \Delta x^{(0)} \tag{9}$$

Dimana $\Delta x^{(0)}$ adalah diketahui, bentuk penyelesaian yang dinyatakan dalam persamaan ekspandi deret taylor adalah:

$$f(x^{(0)} - \Delta x^{(0)}) = f(x^{(0)}) - f'(x^{(0)})\Delta x^{(0)} + f''(x^{(0)})\frac{\Delta x^{(0)2}}{2!} - \tag{10}$$

$$\dots + (-1)^n f^{(n)}(x^{(0)})\frac{\Delta x^{(0)n}}{n!} + \dots = 0$$

Secara umum proses iterasi pada metode Newton Raphson adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} f_1(x_1^{(t)}, x_2^{(t)}, \dots, x_n^{(t)}) \\ f_2(x_1^{(t)}, x_2^{(t)}, \dots, x_n^{(t)}) \\ \vdots \\ f_n(x_1^{(t)}, x_2^{(t)}, \dots, x_n^{(t)}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(t)} \\ \Delta x_2^{(t)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(t)} \end{bmatrix} \tag{11}$$

Dalam bentuk matriks:

$$F(x^t) = J^t \Delta x^t \tag{12}$$

Dimana:

$$F(x) = \begin{bmatrix} f_1(x_1^{(t)}, x_2^{(t)}, \dots, x_n^{(t)}) \\ f_2(x_1^{(t)}, x_2^{(t)}, \dots, x_n^{(t)}) \\ \vdots \\ f_n(x_1^{(t)}, x_2^{(t)}, \dots, x_n^{(t)}) \end{bmatrix} \tag{13}$$

$$\Delta X^{(t)} = \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(t)} \\ \Delta x_2^{(t)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(t)} \end{bmatrix} \tag{14}$$

Konvergensi dicapai pada:

$$\|\Delta X^{(t)}\| \leq \epsilon_1 \tag{15}$$

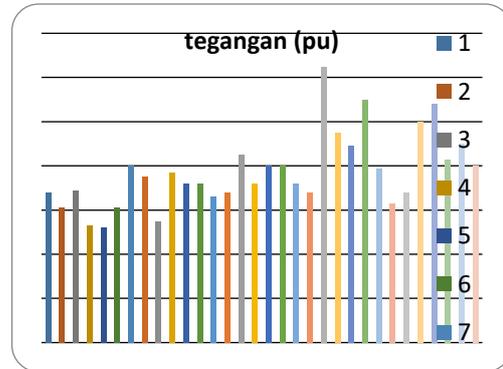
III. DATA DAN HASIL PENGUJIAN

Dengan menggunakan data sistim 31 Bus

TABEL 1. DATA SISTEM 31 BUS

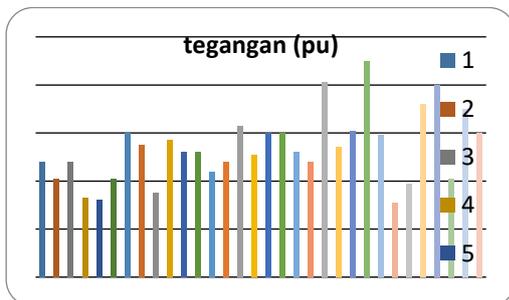
No bus	BEBAN (MW)
1	14,9
2	22,2
3	17,3
4	6,6
5	21
6	27,9
7	38
8	40
9	45,1
10	52,4
11	14,4
12	22,3
13	17,7
14	24,3
15	11,8
16	6,1
17	5,1
18	17,71
19	10,9
20	7
21	10,5
22	20,7
23	15,5
24	15,8
25	5,3
26	15
27	14,3
28	10,2
29	23,8
30	14,9
31	7,8

Pada gambar 4 menunjukkan penampilan tegangan pada setiap bus sesudah menggunakan kompensasi daya reaktif pada bus No.21 sebesar 40 MVAR. Berdasarkan hasil analisis, amplitudo tegangan bus terbesar pada No.21 semakin baik yaitu mencapai 1.050.



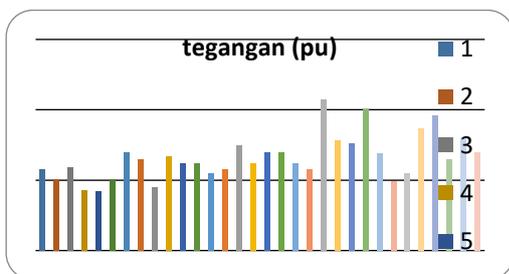
Gbr. 5 Profile tegangan (pu) pada setiap bus dengan kompensasi kapasitor 80MVAR pada bus N0.21.

Pada gambar 5 menunjukkan penampilan tegangan pada setiap bus sesudah menggunakan kompensasi daya reaktif pada bus No.21 sebesar 80 MVAR. Berdasarkan hasil analisis, amplitudo tegangan bus terbesar pada No.21 semakin baik yaitu mencapai 1.061.



Gbr. 3 Profile tegangan (pu) pada setiap bus tanpa kapasitor

Pada gambar 3 menunjukkan penampilan tegangan pada setiap bus sebelum terdapat kompensasi daya reaktif, dimana amplitudo tegangan bus terbesar pada No.24. Sedangkan tegangan terkecil pada bus No.26.



Gbr. 4 Profile tegangan (pu) pada setiap bus dengan kompensasi kapasitor 40MVAR pada bus No.21.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis perbaikan tegangan dengan menggunakan kapasitor, dapat disimpulkan bahwa dengan dipasangnya kapasitor pada bus 21, maka diperoleh pengurangan rugi daya sesuai dengan nilai kapasitor yang dipasang. Apabila kapasitor shunt dipasang pada Bus 21 sebesar 40 MVAR dan 80 MVAR, maka amplitudo tegangan akan semakin membaik pada bus tersebut dan juga amplitudo tegangan pada semua sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan Terima kasih kepada YBW-UMI dan LP2S UMI serta pengelola jurnal Logitech

REFERENSI

- [1] Hadi Saadat, Power system analysis, Hadi Saadat, McGraw Hill International editions, 1999.
- [2] Anderson, P.M, Fouad A.A. Power system control and stability, the Iowa state university press, Ames, Iowa, 1977.
- [3] Xi-Fan Wang, Yonghua Song, Malchom Irving, Modern Power system analysis, springer, 2008.
- [4] Matlab software ver. 7.