

BAB II

TEORI ALIRAN DAYA

2.1 UMUM

Perhitungan aliran daya merupakan suatu alat bantu yang sangat penting untuk mengetahui kondisi operasi sistem. Perhitungan aliran daya pada tegangan, arus dan faktor daya di berbagai simpul suatu jaringan listrik dilakukan pada keadaan operasi normal. Hasil perhitungan aliran daya ini kemudian digunakan untuk mensimulasi kondisi gangguan yang besar, stabilitas transien maupun analisa kontigensi yaitu analisa keadaan dimana sebagian komponen sistem tidak terhubung ke sistem dengan baik.

Perhitungan aliran daya membutuhkan informasi ramalan kebutuhan beban di setiap titik pelayanan, rencana operasi pusat pembangkit dan rencana operasi fasilitas transmisi. Dari informasi di atas dapat disusun persamaan aliran daya dari satu Gardu Induk (G.I.) ke G.I. lainnya.

2.2 KONSEP PERHITUNGAN ALIRAN DAYA

Perhitungan aliran daya pada dasarnya adalah menghitung besaran tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ pada setiap G.I. pada kondisi tunak dan ketiga fasa seimbang. Hasil perhitungan ini digunakan untuk menghitung besar aliran daya aktif P dan daya reaktif Q di setiap peralatan transmisi, besarnya daya aktif P dan daya reaktif Q yang harus dibangkitkan setiap pusat pembangkit serta jumlah rugi-rugi di sistem.

Pada setiap bus G.I. ada 4 (empat) variabel operasi yang terkait, yaitu daya aktif P , daya reaktif Q , besaran tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ . Supaya persamaan aliran daya dapat dihitung 2 (dua) dari 4 (empat) variabel di atas harus diketahui untuk setiap G.I., sedangkan 2 (dua) variabel lainnya dihitung

Setiap G.I. dalam sistem tenaga listrik dikelompokkan menjadi 3 (tiga) tipe G.I., yaitu:

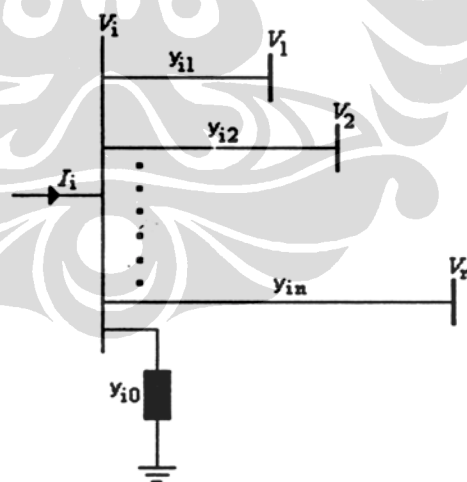
1. G.I. bus beban: Variabel yang diketahui adalah daya aktif P , daya reaktif Q . Kemudian akan dihitung besaran tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ disetiap G.I.

2. G.I. bus pembangkit: Variabel yang diketahui adalah daya aktif P dan besaran tegangan |V|, sedangkan daya reaktif Q dan sudut fasa tegangan δ merupakan hasil perhitungan.
3. G.I. bus penyanggah (G.I. *swing*): Variabel yang diketahui adalah besaran tegangan |V| dan sudut fasa tegangan δ yang merupakan sudut acuan. Sedangkan daya aktif P dan daya reaktif Q yang harus dikompensasi merupakan hasil perhitungan

2.2 1 Persamaan Aliran Daya

Sistem tenaga listrik tidak hanya terdiri dari dua bus, melainkan terdiri dari beberapa bus yang akan diinterkoneksi satu sama lain. Daya listrik yang diinjeksikan oleh generator kepada salah satu bus, bukan hanya dapat diserap oleh beban bus tersebut, melainkan dapat juga diserap oleh beban di bus yang lain. Kelebihan daya pada bus akan dikirimkan melalui saluran transmisi ke bus-bus lain yang kekurangan daya.

Diagram satu garis G.I. tipe bus dari suatu sistem tenaga listrik terdapat pada gambar 2.1.[1]



Gambar 2.1. Diagram satu garis GI tipe bus dari sistem tenaga

Arus pada G.I. i adalah :

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=i}^n y_{ij} V_j \text{ dimana } j \neq i \dots\dots\dots(2.1)$$

Persamaan daya pada GI i adalah:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \dots\dots\dots(2.2)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) diperoleh:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=i}^n y_{ij} V_j \text{ dimana } j \neq i \dots\dots\dots(2.4)$$

Dari persamaan di atas tampak bahwa persamaan aliran daya bersifat tidak linier dan harus diselesaikan dengan metode numerik iteratif.

2.2.2 Metode Newton-Raphson [2]

Kecepatan relatif dari bermacam-macam metode analisis aliran beban sukar dipastikan karena ini akan berubah dari komputer yang satu ke komputer yang lain. Perlu diketahui keefektifan suatu teknik merupakan fungsi kecepatan konvergensi, lama waktu tiap iterasi dan kepekaannya terhadap parameter-parameter rangkaian.

Salah satu metoda untuk menghitung aliran daya yang terjadi adalah metode Newton-Raphson. Metode Newton-Raphson memiliki perhitungan lebih baik untuk sistem tenaga yang lebih besar dan tidak linier, karena lebih efisien dan praktis. Jumlah iterasi yang dibutuhkan sedikit untuk memperoleh pemecahan berdasarkan ukuran sistem. Metode ini lebih disukai karena konvergensinya jauh lebih cepat dan persamaan aliran dayanya dirumuskan dalam bentuk polar.

Dalam bentuk matriks admitansi, persamaan (2.1) dapat ditulis menjadi:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \dots\dots\dots(2.5)$$

Atau dalam bentuk polar menjadi:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij} V_j| \angle (\theta_{ij} + \delta_j) \dots\dots\dots(2.6)$$

Daya kompleks di G.I. i adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij} V_j| \angle (\theta_{ij} + \delta_j) \dots\dots\dots(2.7)$$

Daya aktif di G.I. i adalah:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| V_j |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \dots \dots \dots (2.8)$$

Daya reaktif di G.I. i adalah:

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| V_j |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \dots \dots \dots (2.9)$$

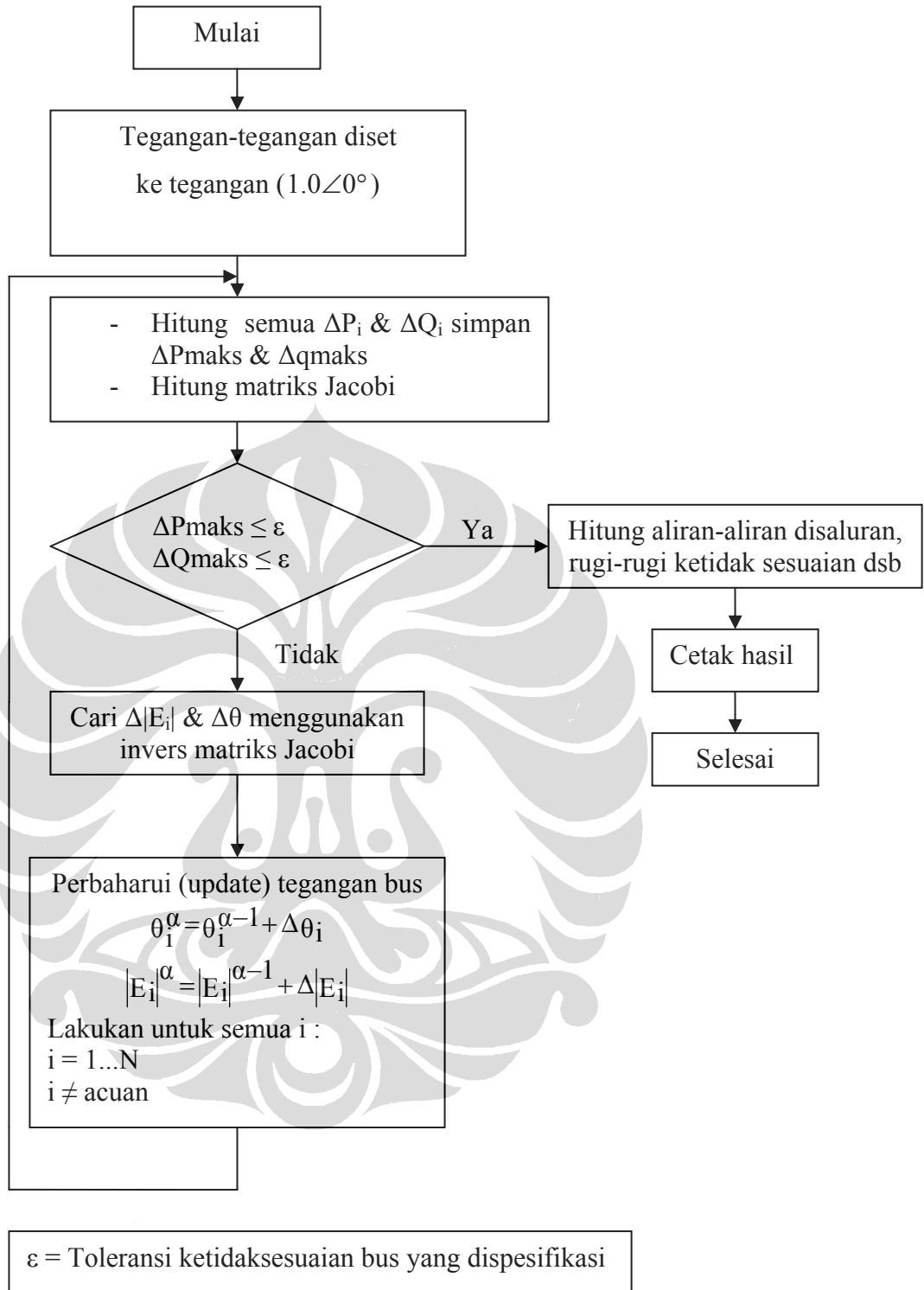
Untuk setiap G.I. beban akan dibentuk sepasang persamaan P_i dan Q_i sedangkan untuk G.I. pembangkit akan dibentuk satu persamaan P_i . Dengan memasukkan nilai taksiran besaran tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ di setiap G.I. dan memperluas persamaan (2.8) dan persamaan (2.9) ke dalam deret Taylor sampai orde pertama maka diperoleh persamaan:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana J_1, J_2, J_3 dan J_4 adalah matriks Jakobi dengan elemen sebagai berikut:

$$[J^m] = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] & \left[\frac{\partial P}{\partial |V|} \right] \\ \left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right] & \left[\frac{\partial Q}{\partial |V|} \right] \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.11)$$

Secara singkat prosedur perhitungan aliran daya metode iteratif Newton-Raphson diuraikan sebagai berikut: [3]



Gambar 2.2. Diagram alir program komputer aliran daya metode Newton-Raphson

Sesudah perhitungan mencapai tingkat konvergensi yang ditetapkan (konvergen), dari besaran tegangan V dan sudut fasa tegangan setiap G.I. yang diperoleh. Selanjutnya dilakukan perhitungan aliran daya di setiap fasilitas transmisi, besaran daya aktif P dan daya reaktif Q yang harus dibangkitkan oleh setiap pembangkit serta rugi-rugi di sistem transmisi.

2.3. TEGANGAN SISTEM

Dalam penyediaan tenaga listrik bagi para pelanggan, tegangan yang konstan seperti halnya frekwensi yang konstan, merupakan salah satu syarat utama yang harus dipenuhi. Oleh karena masalah pengaturan tegangan merupakan masalah operasi sistem tenaga listrik yang perlu mendapat penanganan sendiri. Pengaturan tegangan erat kaitannya dengan pengaturan daya reaktif dalam sistem tenaga listrik.

Sistem tenaga listrik terdiri dari banyak G.I dan Pusat Pembangkit Tenaga Listrik. Dalam setiap G.I maupun Pusat Pembangkit Tenaga Listrik terdapat bus. Tegangan dari bus di G.I dan tegangan di bus Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, membentuk profil tegangan sistem. Tegangan pada setiap bagian sistem tenaga listrik tidak sama, sehingga pengaturan tegangannya lebih sulit. Tegangan pada suatu sistem tenaga listrik dipengaruhi oleh:[4]

1. Arus penguat generator
2. Daya reaktif beban
3. Daya reaktif yang didapat dalam sistem (selain generator), misalnya dari kondensator dan dari reaktor.
4. Posisi tap transformator

2.3.1 Pengaturan Tegangan

Meskipun kelangsungan catu daya dapat diandalkan, dana yang dibutuhkan tersedia dan pekerjaan dilakukan secara ekonomis, tetap tidak mungkin untuk mempertahankan tegangan tetap pada sistem distribusi, karena tegangan jatuh akan terjadi di semua bagian sistem dan akan berubah dengan adanya perubahan beban. Ukuran penghantar, karakteristik transformator dan kebiasaan konsumen adalah hal yang harus diperhitungkan. Secara singkat kualitas tegangan tergantung pada dua hal:

1. Kelangsungan pelayanan
2. Pengaturan tegangan sistem

Perubahan tegangan pada sistem tenaga listrik seperti penurunan tegangan dari hasil studi dan simulasi pada pembangkit dan beban, memberi dampak adanya perubahan arus sistem, rugi-rugi sistem dan faktor daya. Untuk itu diperlukan pengatur tegangan. Untuk melakukan pengaturan tegangan pada sistem tenaga listrik, ditentukan oleh dua faktor, yaitu :

1. Besarnya daya reaktif yang harus disediakan
2. Tempat atau bus penyediaan daya reaktif harus tepat

Mengatur tegangan pada suatu bus dalam sistem tenaga listrik akan lebih muda apabila di bus tersebut ada sumber daya reaktif yang bisa diatur. Dalam sistem tenaga listrik ada dua variabel yang dapat diatur secara bebas, yaitu daya nyata (MW) dan daya reaktif (MVAR) yang merupakan variabel pengatur (*control variabel*). Pengaturan tegangan dapat dilakukan dengan : [5]

1. Penyetelan arus penguat generator
2. Pemasangan kompensator shunt. Kompensator shunt ini akan menyerap daya reaktif yang berlebihan untuk mengurangi tingkat tegangan bus apabila beban rendah (sebagai induktor), dan mengalirkan daya reaktif (MVAR) untuk menaikkan tegangan pada kondisi beban yang tinggi (sebagai kapasitor).
3. Penyetelan tingkat tegangan sub-transmisi pada titik-titik pencatuan
4. Gunakan transformator dengan pemindahan “tap” otomatis untuk jaringan-jaringan sub-station
5. Tambahkan saluran pencatu atau distribusi tambahan
6. Besarkan ukuran penghantar dari saluran pencatu yang ada
7. Atur kembali sistem yang ada, pindah-pindahkan beban
8. Beban-beban antar fasa dibuat seimbang
9. Ubah sistem satu fasa menjadi tiga fasa
10. Bila memungkinkan buat loop tertutup
11. Tambah kapasitas transformator distribusi
12. Ubah peletakan tap pada transformator distribusi
13. Tambah kompensasi tegangan jatuh saluran, yaitu kapasitor-kapasitor seri

14. Pasang pengatur tegangan
15. Tingkatkan tegangan distribusi
16. Pasang kapasitor paralel, dengan switch atau tanpa switch
17. Pasang kapasitor seri

Di lain pihak, beban dalam sistem mengambil daya aktif dan daya reaktif dari sistem. Beban tidak bisa diatur karena tergantung kepada kebutuhan banyak pelanggan yang mempergunakan tenaga listrik dari sistem. Secara pengetahuan kontrol, beban merupakan variabel pengganggu (*distrurbxice variabel*)

Ada tiga syarat utama untuk pengaturan tegangan secara umum:[6]

1. Tegangan tidak boleh naik-turun sangat besar atau berkedip
2. Tegangan harus mendekati tingkat optimum tertentu
3. Penyebaran tegangan tidak boleh lebih atau kurang dari batas yang sudah ditentukan

