

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stabilitas Sistem Daya

Stabilitas suatu sistem tenaga listrik adalah kemampuan dari sistem itu untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami suatu gangguan. Sebaliknya ketidak-stabilan suatu sistem adalah kehilangan sinkron dari sistem itu. Jadi masalah stabilitas terkait dengan penilaian mesin sinkron setelah gangguan. Untuk mempermudah analisis, masalah stabilitas secara umum dibagi dalam dua kategori utama, yaitu stabilitas *steady state* (keadaan tunak) dan stabilitas *dinamik*. Stabilitas *steady state* dipandang sebagai kemampuan dari sistem tenaga untuk memperoleh kembali kesinkronan setelah terjadi gangguan kecil. Perluasan dari stabilitas *steady state* dikenal dengan stabilitas *dynamic*. Stabilitas *dynamic* adalah suatu stabilitas yang difokuskan setelah terjadi gangguan kecil untuk waktu yang lama dengan memasukkan komponen kontrol otomatis.

2.2 Analisis Steady State

Analisis aliran daya adalah studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak (*Steady State*). Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Analisis ini juga memerlukan informasi aliran daya dalam kondisi normal maupun darurat. Masalah aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal tertentu atau bus tertentu. Representasi fasa tunggal selalu dilakukan karena sistem dianggap seimbang. Di dalam studi aliran daya, bus-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-tiap bus terdapat 4 besaran, yaitu:

- a. Daya real atau daya aktif (P)
- b. Daya reaktif (Q)
- c. Harga skalar tegangan ($|V|$)
- d. Sudut fasa tegangan (θ)

Pada tiap-tiap bus hanya ada 2 macam besaran yang ditentukan sedangkan kedua besaran yang lain merupakan hasil akhir dari perhitungan. Besaran-besaran yang ditentukan dapat dilihat pada tabel berikut:

Type Bus	Nilai Perkiraan	Tidak diketahui
Slack (swing)	$ V , \theta$	P, Q
Voltage Controlled	P, $ V $	Q, θ
Load	P, Q	$ V , \theta$

Tabel 2.1 Penentuan Besaran Pada Setiap Bus

- Sumber: Materi Kuliah ASTE 1 - Load Flow (Lomi, Abraham. 2014:172)
- Persamaan unjuk kerja sistem tenaga listrik dapat dinyatakan dalam bentuk admitansi sebagai berikut:

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- I_{bus} : Arus Bus yang diinjeksikan (A)
- Y_{bus} : Matrik Admitansi Bus (\bar{Y})
- V_{bus} : Tegangan Bus (V)

- Injeksi arus pada suatu bus i dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot V_j \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan :

- I_i = arus pada bus i
- V_j = tegangan pada bus j
- Y_{ij} = impedansi antara bus i dan bus j

- Persamaan (2) Bila dituliskan dalam bentuk polar adalah:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots \dots \dots (2.3)$$

- Daya aktif dan daya reaktif pada bus i adalah:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i \dots\dots\dots(2.4)$$

Atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- I_i = arus pada bus i
- V_i = Tegangan pada bus i
- P_i = daya aktif pada bus i
- Q_i = daya reaktif pada bus i

Persamaan aliran daya diselesaikan menggunakan pengulangan (metode iterasi), dengan menetapkan nilai-nilai perkiraan untuk tegangan bus yang tidak diketahui, dan menghitung nilai baru untuk setiap tegangan pada bus, dari nilai perkiraan bus yang lain. Untuk menyelesaikan analisis aliran daya digunakan metode, pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu *Newton-Raphson*.

2.1.1 Metode Newton Raphson

Metode ini menerapkan modifikasi Deret Taylor untuk mendapatkan turunan persamaan matematika sebagai dasar perhitungan iterasi yang melibatkan penggunaan Matrik Jacobian.

Dengan mensubstitusikan persamaan (3) ke dalam persamaan (4) diperoleh persamaan:

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

Atau

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

- Pemisahan bagian real dan imajiner, akan diperoleh persamaan daya nyata pada bus i adalah:

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

- persamaan daya reaktif pada bus i adalah:

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

- Persamaan sudut fasa tegangan dan tegangan yang baru seperti pada persamaan berikut:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

- $\delta_i^{(k+1)}$: sudut fasa tegangan baru
- $\delta_i^{(k)}$: sudut fasa tegangan lama
- $\Delta\delta_i^{(k)}$: nilai koreksi sudut fasa tegangan
- $|V_i^{(k+1)}|$: tegangan yang baru
- $|V_i^{(k)}|$: tegangan yang lama
- $\Delta|V_i^{(k)}|$: nilai koreksi tegangan

2.3 Analisis Dynamic

Stabilitas *dynamic* adalah suatu stabilitas yang difokuskan setelah terjadi gangguan kecil untuk waktu yang lama dengan memasukkan komponen kontrol otomatis. Adapun yang dianalisis pada stabilitas *dynamic* adalah stabilitas sudut rotor, stabilitas frekuensi dan stabilitas tegangan.

2.3.1 Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas Sudut Rotor dalam sebuah mesin sinkron, penggerak utama memberikan sebuah torsi mekanis (T_m) pada poros mesin dan mesin menghasilkan suatu torsi elektromagnetik (T_e). Pada saat terjadi gangguan, torsi mekanik lebih besar dari torsi elektromagnetik, dan menghasilkan torsi percepatan (T_a). Persamaannya sebagai berikut:

$$T_a = T_m - T_e \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana: T_a = Torsi percepatan

T_m = Torsi mekanis

T_e = Torsi elektromagnetik

Untuk sistem yang stabil selama gangguan, sudut rotor akan berosilasi disekitar titik keseimbangan. Ketika terjadi gangguan atau penambahan beban secara tiba-tiba dalam jumlah besar, maka daya keluar elektrik generator akan jauh melampaui daya masuk mekanis. Jadi generator akan berputar lebih lambat sehingga sudut daya generator bertambah besar dan daya masuk generator juga bertambah. Jika sudut rotor meningkat tanpa batas, mesin dikatakan tidak stabil selama mesin

terus mempercepat dan tidak mencapai keadaan keseimbangan baru. Dalam multi mesin, mesin akan melepas sinkronisasi dengan mesin lainnya. Waktu pemutusan kritis terjadi penurunan pada lokasi gangguan yang dekat dengan generator utama.

2.3.2 Stabilitas Frekuensi

Kestabilan frekuensi mengacu pada kemampuan sistem untuk mempertahankan nilai frekuensi tetap stabil dalam kisaran nominalnya setelah terjadi gangguan besar pada sistem sehingga mengakibatkan ketidak seimbangan yang signifikan antara generator dan beban. Hal itu tergantung pada kemampuan sistem untuk mengembalikan keseimbangan generator dan beban. Gangguan sistem yang besar biasanya mengakibatkan perubahan besar terhadap frekuensi, tegangan, aliran daya, dan variabel sistem lainnya. Umumnya, masalah stabilitas frekuensi berkaitan dengan ketidakmampuan tanggap peralatan, koordinasi yang buruk dalam kontrol.

Frekuensi nominal di Indonesia adalah 50 Hz, diusahakan untuk tidak lebih tinggi dari 50,5 Hz dan selama waktu keadaan darurat dan gangguan, frekuensi sistem diizinkan turun hingga 47,5 Hz atau naik hingga 52,0 Hz sebelum unit pembangkit diizinkan keluar dari sistem yang beroperasi

2.3.3 Stabilitas Tegangan

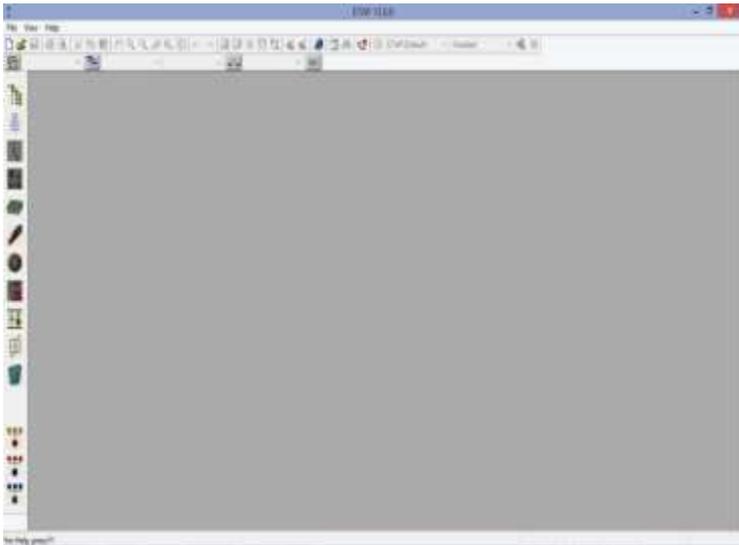
Stabilitas tegangan mengacu pada suatu pernyataan "kemampuan suatu sistem tenaga untuk menjaga tegangan tetap stabil di semua bus dalam suatu sistem setelah mengalami gangguan terhadap kondisi operasi awal" (Kundur, 1994). Jika stabilitas tegangan terjaga, tegangan dan daya pada sistem akan dapat dikendalikan setiap saat. Secara umum, ketidak mampuan sistem untuk memasok kebutuhan yang diperlukan menyebabkan ketidakstabilan tegangan. Suatu sistem memasuki daerah ketidakstabilan tegangan ketika suatu gangguan menyebabkan kondisi sistem mengalami drop tegangan yang tidak dapat dikendalikan.

2.4 ETAP Power Station

ETAP (Electric Dynamik and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat di dalamnya

pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

ETAP Power Station dapat melakukan penggambaran *single line* diagram secara grafis dan Menyediakan beberapa analisa/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), *motor starting*, *harmonics power systems*, *transient stability*, *protective device coordination* dan *Reliability Index Assessment*.



Gambar 2.2 Tampilan Awal *ETAP Power Station*

ETAP Power Station juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP Power Station adalah :

- One Line Diagram, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.

- Library, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisis.
 - Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
- Study Case, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa

