

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

PT. Pertamina (Persero) *Refinery Unit VI* Balongan merupakan objek vital nasional yang tidak boleh terputus pasokan energi listriknya, oleh karena itu sistem tenaga listrik menjadi jaminan agar selalu andal paling tidak sistem harus memenuhi kriteria keandalan N-1.

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Peran utama dari suatu sistem tenaga listrik adalah menyediakan dan menyalurkan energi listrik secara andal dan terus menerus kepada beban. Secara umum keandalan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai suatu kemampuan sistem untuk memberikan suatu pasokan tenaga listrik yang cukup dengan kualitas yang memuaskan.

Menurut Alvarado dan Oren, 2004, Kriteria keandalan keamanan N-1 merupakan kriteria yang fundamental dalam operasi sistem tenaga listrik yang diterima dan dipergunakan hampir di seluruh dunia (universal). Dengan terpenuhinya tingkat keandalan keamanan N-1 secara kasar sama dengan terpenuhinya keseimbangan antara kebutuhan beban dengan jumlah pembangkitan. Dengan demikian suatu sistem tenaga listrik yang andal paling tidak harus memenuhi kriteria keandalan keamanan N-1. Pemenuhan kriteria keandalan N-1 tersebut harus dilakukan dengan tidak mempersoalkan biaya.

Keandalan dan keamanan sistem tenaga listrik dapat dicapai dengan melakukan operasi sistem yang toleran terhadap keluarnya salah satu elemen sistem (*single outage*) ataupun keluarnya lebih dari satu elemen sistem (*multiple outage*). Artinya, dengan keluarnya salah satu elemen sistem (atau lebih) seharusnya tidak menyebabkan keluarnya elemen sistem secara bertingkat (*cascading outage*) yang mengakibatkan pemadaman sebagian atau pemadaman total. Suatu sistem tenaga listrik yang mampu bertahan, utuh, dan tidak mengalami pemadaman akibat keluarnya salah satu elemen sistem dikatakan sistem tersebut andal atau aman dengan kriteria N-1 (Alvarado dan Oren, 2004).

Menurut Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2004:79) sistem dinyatakan berada dalam keadaan operasi yang berhasil atau andal bila:

1. Frekuensi dalam batas kisaran operasi normal ( $50 \pm 0,2$  Hz), kecuali penyimpangan dalam waktu singkat diperkenankan pada kisaran ( $50 \pm 0,5$  Hz), sedangkan selama kondisi gangguan frekuensi boleh berada pada batas 47,5 Hz sampai 51,5 Hz.
2. Tegangan di Gardu Induk berada dalam batas yang ditetapkan dalam aturan penyambungan yaitu : Tegangan 500 kV adalah  $\pm 5\%$  sedangkan Tegangan 150 kV, 70 kV, 20 kV adalah  $+5\%$  dan  $-10\%$ . Batas-batas ini harus menjamin bahwa tegangan pada semua pelanggan berada pada kisaran yang telah ditetapkan sepanjang pengatur tegangan jaringan distribusi dan peralatan pemasok daya reaktif bekerja dengan baik. Operasi pada batas-batas tegangan ini diharapkan dapat membantu mencegah terjadinya tegangan-kolleps (*voltage collapse*) dan masalah stabilitas sistem.

## 2.2 Landasan Teori

Penelitian ini memfokuskan kepada keandalan sistem ketika terjadi kontingensi (N-1) yaitu tripnya salah satu generator pada sistem 20 kV PT. Pertamina (Persero) *Refinery Unit VI* Balongan. Untuk mengetahui kondisi keandalan saat terjadi kontingensi (N-1) maka dilakukan simulasi aliran daya dengan metode *Adaptive Newton-Raphson*.

### 2.2.1 Kontingensi (N-1)

Kontingensi N-1 merupakan terlepasnya satu generator atau saluran transmisi. Terlepasnya satu generator atau saluran transmisi diakibatkan karena adanya gangguan. Gangguan yang terjadi pada sistem dapat menimbulkan perubahan aliran daya pada sistem tenaga listrik, saat terjadi perubahan aliran daya akan mengakibatkan perubahan kuat arus pada saluran dan perubahan tegangan pada bus.

Analisis kontingensi merupakan suatu analisis yang digunakan untuk memprediksi aliran daya dan kondisi-kondisi tegangan bus bila terjadi gangguan-gangguan yang antara lain: *outage* saluran transmisi, *outage* transformer, *outage* beban, *outage* unit pembangkit, *outage* kapasitor/reaktor dan sebagainya. Kontingensi adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh kegagalan atau pelepasan dari satu atau lebih generator dan/atau transmisi (Ditjen LPE, 2004).

Perhitungan yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh akibat terjadinya kontingensi (N-1) yaitu dengan membandingkan aliran daya dalam kondisi normal dengan aliran daya dalam kondisi kontingensi (N-1). Untuk

mengetahui kondisi kontingensi (N-1) yaitu dengan melakukan simulasi gangguan pada suatu unit pembangkit atau saluran transmisi.

### 2.2.2 Analisis aliran daya

Analisis aliran daya adalah studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi lunak. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkit 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. (Cekdin, 2007).

Analisis aliran daya dalam sistem tenaga listrik memerlukan representasi atau pemodelan komponen sistem tenaga listrik. Salah satu teknik dalam analisis kontingensi adalah dengan metode aliran daya *Newton-Rahpson*. Grainger dan Stevenson (1998). Metode ini mencoba untuk mensimulasikan pengaruh gangguan kontingensi pada *tripnya* satu generator terhadap perubahan tegangan bus dan sudut fase tegangan serta perubahan prosentasi pembebanan pada sistem tenaga listrik.

Dasar dari metode *newton raphson* dalam penyelesaian aliran daya adalah deret Taylor untuk suatu fungsi dengan dua variable lebih. Metode *newton raphson* menyelesaikan aliran daya dengan menggunakan suatu set persamaan non linier untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan tiap bus (Cekdin, 2007).

Dalam metode ini persamaaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. Arus yang memasuki bus  $i$  dapat dicari melalui persamaan (2.1).

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot V_{ij} \quad \text{Persamaan 2.1}$$

Persamaan (2.1) bila di tulis dalam bentuk polar akan membentuk persamaan (2.2):

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_{ij}| < \theta_{ij} + \delta_j \quad \text{Persamaan 2.2}$$

Daya kompleks pada bus  $i$  membentuk persamaan (2.3):

$$P_i - jQ_i = V_i * I_i \quad \text{Persamaan 2.3}$$

Mensubstitusikan persamaan (2.2) untuk  $I_i$  kedalam persamaan (2.3) sehingga akan menghasilkan persamaan (2.4):

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| < \theta_{ij} + \delta_j \quad \text{Persamaan 2.4}$$

Memisahkan bagian real dengan imajiner pada persamaan (2.4):

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad \text{Persamaan 2.5}$$

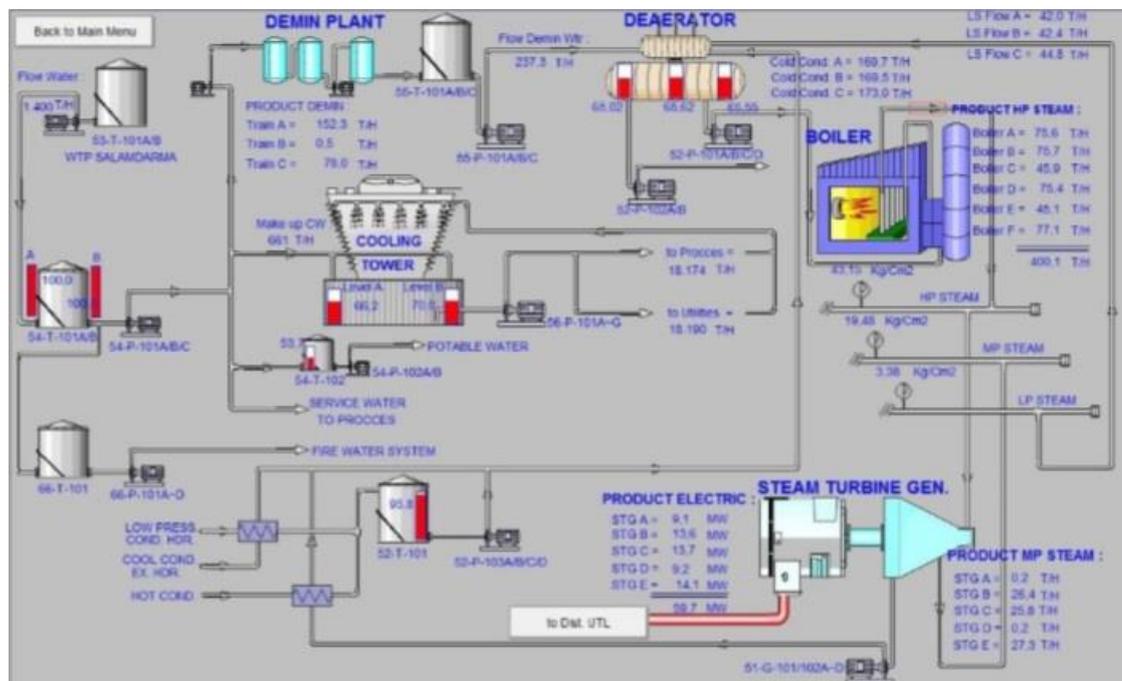
$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad \text{Persamaan 2.6}$$

Persamaan (2.5) dan (2.6) membentuk persamaan aljabar non linier dengan variable sendiri. Besar setiap variabel dinyatakan dalam satuan per unit dan untuk sudut fasa dinyatakan dalam satuan radian.

### 2.2.3 Sistem 20 kV PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan

Sistem 20 kV PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan meliputi pembangkitan, saluran distribusi dan pembebanan dimana sistem ketenagalistrikan ini tidak berlangganan dengan PLN melainkan membangkitkan energi listrik sendiri dengan kapasitas pembangkit  $5 \times 27,5$  MVA, tegangan operasi 20 kV.

Alasan PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan membangkitkan energi listrik sendiri diantaranya karena faktor keandalan sistem. Pembangkit listrik yang digunakan adalah *Steam Turbin Generator* (STG) dari kelima pembangkit semuanya beroperasi untuk mensuplai kelistrikan kilang, perkantoran serta peralatan pendukung lainnya. Adapun gambar sistem pembangkitan PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan dapat terlihat pada gambar (2.1).



Gambar 2.1 Sistem pembangkitan tenaga listrik PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan

Sistem pembangkitan PT. Pertamina *Refinery Unit VI* Balongan menggunakan *fuel oil* dan *fuel gas* sebagai bahan bakar untuk memanaskan boiler, untuk menjaga kestabilan sistem pada pembangkitan ini menggunakan sistem rankine yaitu siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja sehingga mengakibatkan terjadinya proses penguapan secara berulang-ulang. Pada gambar (2.2) memperlihatkan proses konversi energi pembangkitan.



Gambar 2.2 Proses konversi energi pembangkitan

Penyaluran sistem tenaga listrik menggunakan jaringan kabel bawah tanah/*underground cable* dikarenakan demi faktor keamanan dan keindahan pada lingkungan. Sistem distribusi energi listrik mengedepankan keandalan dan kontinuitas sehingga dalam penyaluran menggunakan *double feeder secondary selective*.

Setiap bus distribusi memiliki dua buah *incoming* yang dilengkapi dengan *bus tie*, dalam keadaan beroperasi normal *bus tie* akan berada dalam keadaan buka/*open* sehingga beban akan terbagi ke masing-masing *incoming* dan ketika terjadi gangguan pada salah satu *incoming*, maka *bus tie* akan menutup/*close* dan beban akan disuplai dari satu *incoming* yang tidak terjadi gangguan.

Beban distribusi terbagi menjadi beban 3,15 kV sebagai penyuplai beban-beban induktif seperti motor dan kompresor yang berkapasitas besar, beban 420 V

untuk mensuplai UPS dan motor-motor berkapasitas kecil serta beban 243 V yang digunakan sebagai pensuplai perkantoran dan pendukung lainnya. Nama/ kode sistem distribusi pada setiap unit kilang menggunakan nama *substation* (SS) adapun untuk setiap *substation* antara lain adalah:

*Substation* (SS) No.1 Melayani unit *UTILITIES* dan kantor-kantor, *Substation* (SS) No.11 melayani unit H2 PLANT, *Substation* (SS) No.12 melayani unit GO-LCO, *Substation* (SS) No 13, Melayani unit ARHDM (*Atmospheric Residue Hydrodemetalization*), *Substation* (SS) No 14 A melayani unit LEU, *Substation* (SS) No 14 B Melayani unit RCC (*Residue Catalytic Cracking*), *Substation* (SS) No 15 melayani unit CDU (*Crude Distillation Unit*), *Substation* (SS) No 16 Melayani unit *AMINE TREAT*, *Substation* (SS) No 17 Melayani unit NPU *Substation* (SS) No 18 Melayani unit OCU (*Olefin Conversation Unit*), *Substation* (SS) No 19 Melayani unit *NEW UTILITIES* dan *Substation* (SS) No 21, 22, 23 Melayani unit ITP.