

BAB II

INTERKONEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Pembangkitan tenaga listrik sebagian besar dilakukan dengan cara memutar generator sinkron sehingga didapat tenaga listrik dengan tegangan bolak-balik tiga fasa. Energi mekanik yang diperlukan untuk memutar generator sinkron didapat dari mesin penggerak generator. Mesin penggerak generator banyak digunakan dalam praktek, yaitu mesin diesel, turbin uap, turbin air, dan turbin gas. Mesin-mesin penggerak generator ini mendapat energy dari:

- Proses pembakaran bahan bakar (mesin-mesin termal)
- Air terjun (turbin air).

Saluran transmisi digunakan untuk menyalurkan energy listrik yang dibangkitkan oleh pusat-pusat pembangkit, dikarenakan pada umumnya pusat pembangkit letaknya jauh dari kota atau tempat paling banyak energy listrik digunakan. Dalam menyalurkan energy listrik, tegangan nominal pada generator pembangkit perlu dinaikkan oleh transformator step-up sehingga menjadi nominal tegangan tinggi atau ekstra tinggi, hal ini dilakukan terutama agar rugi-rugi daya yang hilang pada saluran transmisi mencapai nilai terkecil, dengan demikian jatuh tegangan yang terjadi pada ujung saluran transmisi juga mencapai nilai terkecil.

Pusat listrik yang besar diatas 100 MW, beroperasi dalam system interkoneksi. Pada system interkoneksi terdapat banyak pusat listrik dan banyak pusat beban (yang disebut Gardu Induk disingkat GI) yang dihubungkan satu sama lain oleh saluran transmisi. Disetiap GI terdapat beban berupa jaringan distribusi yang melayani para konsumen tenaga listrik. Jaringan distribusi beserta konsumen ini merupakan suatu Subsistem Distribusi. Subsistem dari setiap GI umumnya tidak mempunyai hubungan listrik satu sama

2.2 Sistem Interkoneksi dan Penyediaan Tenaga Listrik

2.2.1 Sistem Interkoneksi

Setelah tenaga listrik dibangkitkan dalam pusat listrik, maka tenaga listrik disalurkan (ditransmisikan) melalui system interkoneksi kemudian didistribusikan kepada konsumen tenaga listrik.

Dalam pusat listrik, energy dikonversikan menjadi energy listrik. Kemudian energy listrik ini dinaikkan tegangannya untuk disalurkan melalui saluran transmisi. Tegangan transmisi yang digunakan oleh PLN ialah 70 kV, 150 kV, 275 kV, dan 500 kV. Saluran transmisi dapat berupa saluran udara atau saluran kabel tanah.

System interkoneksi adalah system tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat listrik dan gardu induk yang diinterkoneksi (dihubungkan satu sama lain) melalui saluran transmisi dan melayani beban yang ada pada gardu induk. Dalam sistem interkoneksi, semua pembangkit perlu dikoordinir agar dicapai biaya pembangkitan yang minimum tentunya dengan tetap memperhatikan mutu serta kehandalan. Mutu dan kehandalan penyediaan

tenaga listrik menyangkut frekuensi, tegangan dan gangguan. Demikian pula masalah penyaluran daya yang juga perlu diamati dalam system interkoneksi agar tidak ada peralatan penyaluran (transmisi) yang mengalami beban lebih.

Pembangkitan dalam system interkoneksi merupakan pembangkitan terpadu dari semua pusat listrik yang ada dalam system pembagian beban antara pusat-pusat listrik pada system interkoneksi yang menghasilkan aliran daya dalam saluran transmisi dan juga menghasilkan profil tegangan dalam system, keseluruhan system harus dijaga agar tegangan, arus, dan dayanya masih terdapat dalam batas-batas yang diizinkan.

Frekuensi system diatur dengan menggunakan daya aktif (daya nyata) yang dibangkitkan dalam pusat listrik. Karena frekuensi dalam setiap system sama, maka daya aktif yang dibangkitkan untuk mengatur frekuensi tidak terikat pada letak pusat listrik, kecuali jika timbul masalah aliran daya.

Pengaturan tegangan memerlukan pengaturan daya reaktif dalam system. Karena tegangan tidak sama besarnya dalam bagian-bagian system, maka pembangkitan daya reaktif untuk pengaturan tegangan harus memperhatikan tempat dalam system yang memerlukan pengaturan tegangan. Daya reaktif tidak selalu harus dibangkit oleh generator melainkan bias juga dibangkitkan oleh kapasitor atau reactor.

Operasi pembangkitan dalam system interkoneksi memerlukan perencanaan pembangkitan terlebih dahulu yang diantaranya adalah:

- a. Perencanaan operasi unit-unit pembangkit
- b. Penyediaan bahan bakar

- c. Koordinasi pemeliharaan
- d. Penyediaan suku cadang
- e. Dan lain-lain.

Sebagai langkah pertama dari perencanaan operasi pembangkitan, diperlukan terlebih dahulu suatu perkiraan beban yang harus dilayani.

Dalam system interkoneksi terdapat banyak pusat listrik dan GI, yang satu sama lain dihubungkan dengan saluran transmisi. Setiap kejadian operasi di salah satu Pusat Listrik, GI, atau saluran transmisi dalam Sistem Interkoneksi akan mempengaruhi system secara keseluruhan. Oleh karena itu, harus ada coordinator operasi yang disebut pengatur beban/pusat beban. Pusat beban diperlukan untuk merencanakan banyak hal secara terpadu dan pelaksanaannya memerlukan koordinasi antar pusat listrik yang beroperasi dalam system interkoneksi seperti koordinasi pemeliharaan, pembagian ekonomis, pengaturan frekuensi, dan prosedur mengatasi gangguan. Sehingga system interkoneksi dapat beroperasi secara ekonomis dengan memperhatikan mutu dan kehandalan.

2.2.2 Penyediaan Tenaga Listrik dengan Perkiraan Beban

Energi listrik yang dibangkitkan (dihasilkan) tidak dapat disimpan, melainkan langsung habis digunakan oleh konsumen. Oleh karena itu, daya yang dibangkitkan harus selau sama dengan daya yang digunakan oleh konsumen. Apabila pembangkitan daya tidak mencukupi kebutuhan konsumen, maka hal ini akan ditandai dengan turunnya frekuensi dalam sistem. Sebaliknya, apabila pembangkitan daya lebih besar daripada kebutuhan konsumen, maka frekuensi sistem akan naik. Penyediaan tenaga

listrik, misalnya PLN harus menyediakan tenaga listrik dengan frekuensi yang konstan, yaitu 50 hertz atau 60 hertz dalam batas-batas penyimpangan yang masih diizinkan.

Karena kebutuhan daya oleh konsumen terus berubah sepanjang waktu, maka untuk mempertahankan frekuensi (agar tetap 50 atau 60 HZ), daya yang dibangkitkan di pusat listrik harus diubah-ubah sepanjang waktu menyesuaikan dengan kebutuhan konsumen agar frekuensi bisa konstan. Pengaturan pembangkitan tenaga listrik yang berubah-ubah untuk mengikuti perubahan kebutuhan daya dari konsumen memerlukan perencanaan operasi pembangkitan yang cukup rumit dan menyangkut biaya bahan bakar yang tidak kecil, maka diperlukan perkiraan beban atau perkiraan kebutuhan daya konsumen sebagai dasar perencanaan operasi.

Tidak ada rumus yang eksak untuk membuat perkiraan beban. Oleh karena itu, perlu ada teknik membuat perkiraan beban yang umumnya mengacu kepada statistik masa lalu dan atas dasar analisa karakteristik beban yang lalu. Dari gambar-gambar mengenai kurva beban harian sistem dapat dilihat bahwa hari-hari dalam satu minggu mempunyai karakteristik beban yang berbeda-beda, tetapi secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi hari senin sampai Kamis, hari Jum'at, hari Sabtu, dan hari Minggu. Untuk hari libur seperti Lebaran, Natal, dan Tahun Baru, karakteristik bebannya berbeda. Hal ini yang juga mempengaruhi beban atau kebutuhan daya konsumen adalah suhu udara dan acara televisi yang menarik perhatian publik, seperti acara pertandingan sepak bola dan pertandingan tinju. Dengan mempelajari karakteristik beban di masa lalu dan memperkirakan suhu serta

memperhitungkan acara televisi, maka dapat dibuat perkiraan beban setiap jam untuk satu minggu ($7 \times 24 \text{ jam} = 168 \text{ jam}$) yang akan datang. Berdasarkan perkiraan beban ini, kemudian disusun rencana operasi pembangkitan untuk 168 jam yang akan datang.

Sebuah Sistem Interkoneksi yang melayani beban sampai ribuan MW. Perlu dilakukan pemantauan operasi dari puluhan unit pembangkit dan Gardu Induk dalam sistem yang menyangkut pengaturan frekuensi dan pengaturan tegangan serta kehandalan operasi. Mengingat hal-hal ini, maka di dalam pengelolaan operasi Sistem Interkoneksi diperlukan adanya perencanaan Operasi, kemudian pelaksanaan serta Pengendalian Operasi (terutama apabila terjadi penyimpangan dari Rencana Operasi yang dibuat), dan disusul dengan Analisa Hasil-hasil Operasi. Analisa Hasil-hasil Operasi diperlukan untuk memberi umpan balik bagi Perbaikan Rencana Operasi dan juga bagi perbaikan Pelaksanaan dan Pengendalian Operasi. Kegiatan Perencanaan Operasi, Pelaksanaan, dan Pengendalian Operasi, serta Analisa Operasi untuk sebuah Sistem Interkoneksi dilakukan oleh Pusat Pengatur Beban dari Sistem Interkoneksi tersebut.

Faktor Beban adalah perbandingan antara besarnya Beban Rata-rata untuk suatu selang waktu, misalnya satu hari atau satu bulan, terhadap Beban Puncak Tertinggi dalam selang waktu adalah jumlah produksi kWh dalam selang waktu tersebut dibagi dengan jumlah jam dari selang waktu tersebut.

Dari uraian diatas didapat:

$$Faktor_Beban = \frac{Beban_Rata-rata}{Beban_Puncak} \quad (2.01.)$$

Bagi penyedia tenaga listrik, faktor Beban Sistem diinginkan setinggi mungkin, karena Faktor Beban yang makin tinggi berarti makin rata beban sistem sehingga tingkat pemanfaatan alat-alat yang ada dalam sistem dapat diusahakan setinggi mungkin. Dalam praktek, Faktor Beban Tahunan Sistem berkisar antara 60-80%.

2.3 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Stabilitas suatu system tenaga listrik adalah kemampuan dari system tersebut untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami gangguan. Sebaliknya, ketidakstabilan suatu system adalah kehilangan sinkron dari system tersebut. Stabilitas system tenaga listrik dapat dibagi menjadi tiga macam yaitu stabilitas sudut daya (angle stability), stabilitas frekuensi (frequency stability), dan stabilitas tegangan (voltage stability). Stabilitas sudut daya berkaitan dengan kemampuan generator untuk tetap sinkron dalam system setelah terjadi gangguan. Stabilitas frekuensi berkaitan dengan kemampuan system untuk menjaga frekuensi tetap pada rentang nilai tertentu yang diperkenankan. Stabilitas tegangan berkaitan dengan kemampuan system untuk menjaga tegangan pada semua bus tetap dalam rentang nilai tertentu yang diperkenankan. Suatu system dikatakan memiliki stabilitas yang baik, jika pada system terjadi gangguan maka system dapat kembali ke keadaan titik seimbangnnya.

Masalah stabilitas terkait dengan kondisi mesin sinkron setelah gangguan. Untuk mempermudah analisis, masalah stabilitas secara umum dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Stabilitas Statis (Steady state stability)
2. Stabilitas Peralihan (Transient stability)
3. Stabilitas Dinamik

2.3.1 Stabilitas Statis (Steady Stats Stability)

Stabilitas Statis didefinisikan sebagai kemampuan dari system tenaga untuk memperoleh kembali kondisi sinkron setelah terjadi gangguan kecil.

Stabilitas Statis juga dapat diartikan sebagai kemampuan system tenaga listrik untuk menerima perubahan-perubahan kecil atau system dapat menjaga kondisi sinkron diantara mesin-mesin terhadap perubahan beban kecil yang masih terjadi disekitar titik keseimbangan pada saat kondisi statis. Pada kondisi system menuju titik kestabilan maka terjadi osilasi sudut rotor yang terendam. Jika osilasi ini tidak terendam maka mesin akan kehilangan sinkronisasinya dan system menjadi tidak stabil. Teknik penyelesaian masalah ini menyelidiki kestabilan system tenaga listrik terhadap perubahan kecil disekitar titik keseimbangan. Stabilitas Stasis suatu system tergantung karakteristik komponen yang terdapat pada suatu system tenaga listrik tersebut, antara lain:

- Pembangkit (generator)
- Beban Listrik
- Jaringan Transmisi

- Sistem Kontrol dari Sistem Tenaga Listrik itu sendiri

2.3.2. Stabilitas Peralihan (Transient Stability)

Bila terjadi gangguan yang tiba-tiba pada system tenaga listrik, maka hal tersebut akan mempengaruhi kecepatan rotor generator, perubahan sudut daya rotor dan daya yang disalurkan ke system. Besarnya pengaruh yang ditimbulkan tergantung besarnya arus gangguan yang terjadi. Pada gangguan yang besar, perubahan sudut daya menjadi besar sehingga dapat membuat mesin terlepas dari system. Hal itu akan menimbulkan ketidakstabilan pada system. Ketidakstabilan ini merupakan suatu gejala yang biasanya terjadi dalam waktu satu detik untuk sebuah generator yang dekat dengan penyebab gangguan. Pengetripan suatu pembangkit dengan daya besar yang disebabkan karena terjadinya perubahan beban yang besar dapat juga menyebabkan ketidakstabilan system. Pengaruh dari gangguan hubung singkat, yang merupakan gangguan besar pada system tenaga listrik harus dianalisis pada hampir semua studi kestabilan. Pada beberapa kasus, system itu bias stabil meskipun terjadi gangguan dengan pengaturan sendiri melalui governor, sedangkan pada system yang lain akan tetap stabil hanya jika gangguan itu dihilangkan dengan kecepatan yang cukup. Stabilitas system bila terjadi gangguan tidak hanya tergantung dari system itu sendiri, tetapi juga tergantung dari jenis gangguan, lokasi gangguan, dan kecepatan pembukaan *circuit breaker*.

Stabilitas transient adalah kemampuan system tenaga listrik tersebut untuk tetap dalam kondisi sinkron ketika terjadi gangguan yang menyebabkan hilangnya pembangkitan, atau hilangnya daya beban yang besar. Tanggapan

system terhadap gangguan-gangguan seperti itu akan mempengaruhi putaran rotor pada generator, aliran daya, dan tegangan bus.

Pada kondisi generator berbeban, flux stator akan menjadi lagging sehingga terdapat pelebaran gaya yang terjadi pada rotor yang berakibat menurunnya putaran generator serta frekuensinya. Apabila beban yang terlepas maka kecepatan mesin akan bertambah atau frekuensi akan meningkat.

Pada studi stabilitas transient ini akan didapatkan informasi mengenai batasan pengoperasian system yang meliputi batas pembebanan generator (stability limit) dan waktu pemutusan gangguan agar system interkoneksi dapat kembali ke keadaan semula (keadaan sinkronisasi) pada saat terjadi perubahan keadaan operasi secara mendadak. Adapun macam gangguan berat yang dapat menyebabkan system mengalami ketidakstabilan transient adalah sebagai berikut:

- Perubahan beban yang besar secara tiba-tiba
- Pemutusan salah satu atau lebih unit pembangkit daya besar
- Gangguan pada saluran transmisi

2.3.3. Stabilitas Dinamik

Gangguan-gangguan kecil yang secara terus-menerus terjadi dalam system tenaga listrik (beban yang berubah-ubah, perubahan kecepatan turbin) yang bersifat kecil cukup untuk menyebabkan system itu tidak kehilangan sinkronisasinya sehingga membuat system tetap berada dalam kondisi osilasi naturalnya. Stabilitas tersebut disebut stabilitas dinamis jika

osilasinya itu tidak amplitude ayunan akan semakin bertambah besar dan ini akan berlangsung dalam jangka waktu yang lama jika pada system tersebut tidak dilakukan peredaman.