

BAB VI

KUALITAS DAN KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK

Tujuan utama sistem tenaga listrik adalah melayani kebutuhan tenaga listrik bagi para konsumen. Konsumen tentunya menginginkan tenaga listrik yang diterima sesuai dengan keinginan dan kebutuhannya. Sehingga sudah semestinya pengelola sistem tenaga listrik mengupayakan agar keinginan konsumen dapat terpenuhi. Untuk mencapai hal seperti itu diperlukan adanya standar pelayanan, sehingga pengelola dapat mengetahui bahwa tenaga listrik yang diberikan kepada konsumen sudah memenuhi standar. Demikian juga konsumen dapat mengetahui apakah tenaga listrik yang diterima telah memenuhi standar pelayanan atau belum. Jika ternyata belum memenuhi standar, maka konsumen/pelanggan dapat melakukan klaim atau menuntut agar dilakukan perbaikan kualitas pelayanan.

Standar yang digunakan untuk mengukur kualitas pelayanan tenaga listrik kepada konsumen meliputi dua hal,

yaitu keandalan dan kualitas. Keandalan adalah standar pelayanan yang berkaitan dengan kontinuitas pelayanan energi listrik kepada konsumen. Sedangkan kualitas berkaitan dengan stabilitas nilai tegangan dan frekuensi yang sampai kepada konsumen. Dengan keandalan dan kualitas tenaga listrik yang tinggi, konsumen akan dapat memanfaatkan energi listrik secara terus menerus sesuai kebutuhan dengan nyaman dan aman. Sebaliknya, keandalan yang kurang baik akan merugikan konsumen, karena akan mengganggu kegiatan atau proses produksi terutama bagi pelanggan industri. Kualitas yang kurang baik kadang mengganggu kinerja peralatan listrik yang digunakan, bahkan dapat memperpendek umur pakai peralatan listrik.

A. Keandalan Distribusi Tenaga listrik

Jaringan distribusi merupakan komponen yang paling dekat dan langsung berhubungan dengan pelanggan. Dengan demikian kualitas jaringan distribusi sangat berpengaruh terhadap kualitas energi listrik yang sampai ke pelanggan. Kendala sistem distribusi merupakan standar pelayanan energi listrik yang dikaitkan dengan seberapa sering terjadi

pemadaman atau pemutusan aliran listrik yang sampai ke pelanggan.

Pemadaman atau pemutusan aliran listrik terbagi dua macam, yaitu pemadaman yang direncanakan dan pemadaman yang tidak direncanakan. Pemadaman yang direncanakan meliputi pemadaman akibat adanya perawatan jaringan, perluasan jaringan atau pemadaman bergilir karena kekurangan daya pembangkitan. Kerugian di pihak pelanggan akibat pemadaman semacam ini bisa diminimalisir dengan cara menyediakan pembangkit cadangan yang dioperasikan ketika terjadi pemadaman.

Pemadaman tidak direncanakan terjadi akibat adanya gangguan pada sistem, baik gangguan dari dalam sistem maupun gangguan dari luar sistem. Gangguan dari dalam sistem dapat terjadi karena adanya hubung singkat sebagai akibat dari kerusakan peralatan. Juga adanya gangguan akibat beban lebih yang terjadi pada sistem, sehingga menyebabkan pengaman bekerja dan aliran daya ke konsumen terputus. Pemadaman akibat gangguan semacam ini dapat mengakibatkan kerugian yang lebih besar karena kadang dapat berlangsung cukup lama menunggu perbaikan atau pemulihan. Untuk mengatasi hal ini diperlukan

peralatan pengaman yang baik dan mampu bekerja secara otomatis mengamankan gangguan yang terjadi atau meminimalisir dampak gangguannya. Dengan demikian bila terjadi suatu gangguan pada jaringan tertentu atau lokasi tertentu, diupayakan seminimal mungkin bagian sistem yang terganggu atau terputus.

Parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat keandalan ada dua macam, yaitu seberapa sering terjadi pemadaman atau frekuensi pemadaman, dan seberapa lama waktu yang diperlukan untuk pemulihan setelah terjadi pemadaman atau durasi pemadaman. Parameter ini biasanya berupa indeks yang dihitung rata-rata dalam jangka waktu satu tahun. Beberapa indeks keandalan yang umum digunakan dalam menentukan tingkat keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik adalah: SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI dan ASUI

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

SAIFI memberikan informasi tentang frekwensi rata-rata pemadaman tiap pelanggan yang dihitung rata-rata selama satu tahun.

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{Total frekuensi pemadaman}}{\text{Total jumlah pelanggan yang dilayani}}$$

$$\text{Atau SAIFI} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i}$$

dengan: λ_i adalah *failure rate*
 N_i adalah jumlah pelanggan pada titik beban i.

Besarnya nilai SAIFI dapat menggambarkan besarnya frekuensi pemadaman sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan.

SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

SAIDI ini adalah menggambarkan seberapa lama durasi pemadaman rata-rata yang dialami tiap pelanggan dan jangka waktu setahun.

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{Total durasi pemadaman}}{\text{Total jumlah pelangganyang dilayani}}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$$

dengan: U_i adalah durasi pemadaman tahunan untuk beban i

CAIDI (*Costumer Average Interruption Duration Index*)

CAIDI menggambarkan seberapa durasi rata-rata setiap pemadaman dalam setahun.

$$CAIDI = \frac{\text{Total durasi pemadaman}}{\text{Total frekwensi pemadaman}}$$

$$CAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i}$$

CAIDI juga merupakan perbandingan antara nilai SAIDI dengan nilai SAIFI:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

Besarnya nilai CAIDI ini dapat digambarkan sebagai nilai rata-rata durasi pemadaman sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan.

ASAI (*Average Service Availability Index*).

ASAI menggambarkan tingkat ketersediaan layanan (suplai daya) yang diterima oleh pelanggan.

$$ASAI = \frac{\text{Jumlah durasi ketersediaan suplai daya ke pelanggan}}{\text{Jumlah durasi suplai daya yang dibutuhkan pelanggan}}$$

$$ASAI = \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760}$$

Angka 8760 adalah total jumlah jam dalam 1 tahun kalender.

ASUI (Average Service Unavailability Index)

Indeks ini menggambarkan ketidak-tersediaan layanan (suplai daya) yang diterima pelanggan.

ASUI

$$= \frac{\text{Jmlh durasi ketidak – tersediaan daya ke pelanggan}}{\text{Jmlh durasi suplai daya yang dibutuhkan pelanggan}}$$

$$ASUI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760}$$

Indeks ini juga dapat dicari dengan rumus:

$$ASUI = 1 - ASAI$$

B. Kualitas Distribusi Tenaga Listrik

Standar pelayanan energi listrik yang diterima oleh pelanggan jaringan distribusi, selain keandalan adalah kualitas listrik. Kualitas listrik dinilai dari tingkat kestabilan tegangan dan frekuensi tenaga listrik yang diterima pelanggan. Kualitas listrik dikatakan tinggi jika tegangan dan frekuensinya stabil, artinya perubahan atau fluktuasi yang terjadi masih berada dalam batas-batas toleransi.

Perubahan tegangan yang terjadi pada tegangan distribusi yang sampai ke konsumen ada beberapa macam, yaitu tegangan lebih (*over voltage*), tegangan turun (*drop voltage*), tegangan getar (*flicker voltage*), tegangan kedip (*dip voltage*), harmonisa tegangan (*harmonic*) dan tegangan tidak seimbang (*unbalance*). Tegangan yang kurang stabil sering menjadikan peralatan listrik tidak dapat bekerja optimal, dan yang lebih merugikan kadang menjadikan umur pakai peralatan/mesin-mesin listrik menjadi lebih pendek.

Sedangkan perubahan frekuensi yang terjadi pada jaringan distribusi mengikuti frekuensi di unit pembangkit. Frekuensi sebanding dengan kecepatan putaran turbin sebagai penggerak mula yang memutar generator. Sedang putaran turbin dipengaruhi oleh besarnya beban generator dan suplai energi penggerakannya.

Frekuensi listrik yang tidak stabil dapat mengakibatkan putaran motor listrik yang digunakan untuk penggerak mesin-mesin produksi di industri manufaktur menjadi tidak stabil. Hal ini dapat merugikan pelanggan karena mengganggu proses produksi. Ada dua macam perubahan frekuensi, yaitu perubahan frekuensi yang terjadi dalam waktu yang cukup lama, biasanya diakibatkan adanya

pembebanan generator yang berlebihan dan perubahan frekuensi yang terjadi hanya beberapa saat yang seringkali akibat adanya penambahan beban mendadak yang cukup besar, atau pelepasan beban yang cukup besar. Sebagai standar kualitas dibuat toleransi perubahan sebesar 0,6 Hz dari frekuensi normal 50 Hz, atau frekuensi dikatakan masih dalam batas toleransi jika masih berada pada nilai 49,4 Hz sampai dengan 50,6 Hz.

Tegangan lebih yang terjadi pada jaringan distribusi sering diakibatkan adanya gangguan petir, surja hubung atau beban kapasitif berlebihan. Tegangan lebih pada sistem dapat juga terjadi akibat pengaturan arus eksitasi yang berlebihan pada generator pembangkit. Tegangan lebih pada jaringan akan mengakibatkan arus listrik yang mengalir ke beban/peralatan listrik menjadi besar. Hal ini dapat mempercepat penurunan kualitas isolasi (*deterioration of insulation*) sehingga akan memperpendek umur pakai peralatan. Bahkan bisa berlanjut dengan naiknya suhu kerja peralatan dan resiko terjadinya kebakaran. Peralatan-peralatan yang rawan kerusakan saat terjadi tegangan lebih adalah transformator, motor-motor listrik dan kapasitor. Tegangan lebih sering mengganggu operasi peralatan kontrol

yang menggunakan coil/kumparan, seperti *solenoid valve*, *magnetic switch* dan rele. Salah satu cara untuk mengurangi terjadinya tegangan lebih pada jaringan distribusi adalah dengan memasang arester pada peralatan-peralatan yang rawan terhadap gangguan tersebut.

Tegangan turun yang terjadi pada jaringan distribusi biasanya disebabkan oleh jaringan yang terlalu panjang atau beban trafo distribusi yang melebihi nominalnya. Jarak beban yang terlalu jauh dari trafo distribusi juga menambah besar turun tegangan yang sampai ke konsumen, atau bisa juga karena beban induktif yang berlebihan. Tegangan turun pada sistem akan mengakibatkan berkurangnya intensitas cahaya (redup) pada peralatan penerangan, terjadinya kesalahan operasi pada peralatan kendali magnetik, seperti *automatic valve*, *magnetic switch* dan rele. Turun tegangan juga dapat menyebabkan menurunnya torsi start motor-motor listrik pada saat mulai beroperasi. Cara untuk mengatasi terjadinya turun tegangan yang melebihi batas dilakukan dengan membatasi beban maksimal trafo, mengatur penempatan trafo distribusi dan memasang kapasitor sebagai kompensasi beban induktif.

Tegangan kedip adalah kondisi tegangan jaringan turun cukup besar hingga 20% dalam durasi waktu yang sangat singkat yaitu beberapa mili-detik. Penyebabnya adalah adanya gangguan hubungan singkat (*short circuit*) pada jaringan distribusi. Tegangan kedip dapat mengakibatkan gangguan pada kontaktor magnetik, *variable speed drive motor*, *high voltage discharge lamp* dan *under voltage relay*.

Harmonisa tegangan adalah komponen-komponen gelombang sinus dengan frekuensi yang lebih tinggi tetapi amplitudo relatif kecil dibanding gelombang dasarnya, sehingga bentuk gelombang tegangan menjadi cacat, tidak sinus murni. Harmonisa tegangan sering disebabkan banyaknya beban-beban non linear, yaitu beban listrik yang banyak menggunakan komponen elektronika daya seperti, penyearah dan inverter. Harmonisa tegangan dapat mengakibatkan panas yang berlebihan pada trafo karena kenaikan rugi daya, getaran keras atau suara berisik pada peralatan kapasitor daya dan gangguan pada peralatan rumah tangga. Harmonisa tegangan yang berlebihan bisa diatasi dengan memasang filter dengan kapasitas yang sesuai dengan daya beban dan nilai harmonisa yang terjadi.

Ketidak seimbangan tegangan hanya terjadi pada jaringan distribusi tiga fasa, yaitu adanya selisih tegangan antar fasayang cukup besar. Ketidak seimbangan tegangan ini umumnya terjadi karena pembebanan masing-masing fasa yang tidak merata. Ketidak seimbangan tegangan dapat mengakibatkan kerja motor tiga fase menjadi tidak optimal, panas berlebihan karena rugi dayanya bertambah, bahkan bisa terbakar. Dengan demikian keseimbangan beban perlu dijaga agar ketidak seimbangan tegangan pada jaringan 3 fase tidak melebihi batas toleransi.

Hal lebih penting diperhatikan dalam sistem tenaga listrik adalah faktor keamanan, baik keamanan bagi peralatan yang digunakan maupun keamanan bagi orang yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut. Upaya ini dapat dilakukan dengan cara menggunakan peralatan-peralatan listrik yang memenuhi standar di seluruh sistem mulai dari pembangkitan, penyaluran, distribusi sampai ke pengguna. Dengan demikian kerusakan peralatan yang diakibatkan tegangan atau arus lebih dapat dikurangi. Dan yang lebih penting adalah korban manusia akibat kecelakaan yang berkaitan dengan sistem tenaga listrik dapat ditekan seminimal mungkin.

SOAL LATIHAN

1. Apa yang dimaksud dengan keandalan suatu sistem tenaga listrik, dan apa tujuan peningkatan keandalan sistem tersebut.
2. Ada beberapa unsur keandalan sistem tenaga listrik. Sebutkan dampak yang timbul jika unsur-unsur tersebut tidak diperhatikan.
3. Pada sistem tenaga listrik tunggal, misalnya PLTD, bila beban listrik pelanggan bertambah akan berakibat tegangan yang sampai ke pelanggan menjadi lebih rendah. Jelaskan langkah pengaturan yang perlu dilakukan agar tegangan yang sampai ke pelanggan dapat kembali normal, dan juga sebaliknya bila beban pelanggan berkurang.
4. Pada sistem tenaga listrik perlu ada standar pengamanan dan perlindungan. Sebutkan hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengamanan dan perlindungan tersebut.