

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Perhatian terhadap kualitas daya listrik dewasa ini semakin meningkat seiring dengan peningkatan penggunaan energi listrik telah menjadi isu penting pada industri tenaga listrik sejak akhir 1980-an. Istilah kualitas daya listrik merupakan suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan (Roger C. Dugan, 1996)

Terdapat empat alasan utama, mengapa para ahli dan praktisi tenaga listrik memberikan perhatian lebih pada isu kualitas daya listrik (Roger C. Dugan, 1996), yaitu :

1. Pertumbuhan beban-beban listrik dewasa ini bersifat lebih peka terhadap kualitas daya listrik seperti sistem kendali dengan berbasis pada mikroprosesor dan perangkat elektronik daya.
2. Meningkatnya perhatian yang ditekankan pada efisiensi sistem daya listrik secara menyeluruh , sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan peralatan yang mempunyai efisiensi tinggi, seperti pengaturan kecepatan motor listrik dan penggunaan kapasitor untuk perbaikan faktor daya. Penggunaan peralatan-peralatan tersebut dapat mengakibatkan peningkatan terhadap tingkat harmonic pada sistem daya listrik, dimana para ahli merasa khawatir terhadap dampak harmonisa tersebut di masa mendatang yang dapat menurunkan kemampuan dari sistem daya listrik itu sendiri.
3. Meningkatnya kesadaran bagi para pengguna energy listrik terhadap masalah kualitas daya listrik. Para pengguna utilitas kelistrikan menjadi lebih pandai dan bijaksana mengenai persoalan seperti interupsi, sags, dan peralihan transien dan merasa berkepentingan untuk meningkatkan kualitas distribusi daya listriknya.

4. Sistem tenaga listrik yang saling berhubungan dalam suatu jaringan interkoneksi, di mana sistem tersebut memberikan suatu konsekuensi bahwa kegagalan dari setiap komponen dapat mengakibatkan kegagalan pada komponen lainnya.

Terdapat beberapa definisi yang berbeda terhadap pengertian tentang kualitas daya listrik, tergantung kerangka acuan yang digunakan dalam mengartikan istilah tersebut. Sebagai contoh suatu penggunaan utilitas kelistrikan dapat mengartikan kualitas daya listrik sebagai keandalan, dimana dengan menggunakan angka statistik 99,98 persen, sistem tenaga listriknya mempunyai kualitas yang dapat diandalkan. Suatu industri manufaktur dapat mengartikan kualitas daya listrik adalah karakteristik dari suatu catu daya listrik yang memungkinkan peralatan-peralatan yang dimiliki industri tersebut dapat bekerja dengan baik. Karakteristik yang dimaksud tersebut dapat menjadi sangat berbeda untuk berbagai kriteria.

Kualitas daya listrik adalah setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yang mengakibatkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan yang terjadi pada konsumen energy listrik (Roger C. Dugan, 1996). Daya adalah suatu nilai dari energy listrik yang dikirimkan dan didistribusikan, di mana besarnya daya listrik tersebut sebanding dengan perkalian besarnya tegangan dan arus listriknya. Sistem suplai daya listrik dapat dikendalikan oleh kualitas dari tegangan, dan tidak dapat dikendalikan oleh arus listrik karena arus listrik berada pada sisi beban yang bersifat individual, sehingga pada dasarnya kualitas daya adalah kualitas dari tegangan itu sendiri (Roger C. Dugan, 1996)

2.1.1 Jenis-Jenis Permasalahan Kualitas Daya Listrik

Permasalahan kualitas daya listrik disebabkan oleh gejala-gejala atau fenomena-fenomena-fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Gejala elektromagnetik yang menyebabkan permasalahan kualitas daya adalah (Roger C. Dunan, 1996) :

1. Gejala Peralihan (Transient), yaitu suatu gejala perubahan variable (tegangan, arus dan lain-lain) yang terjadi selama masa transisi dari keadaan operasi tunak (steady state) menjadi keadaan lain.
2. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Pendek (Short-Duration variations), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan dalam waktu yang singkat yaitu kurang dari 1 (satu) menit.
3. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang (Long-Duration Variations), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan, dalam waktu yang lama yaitu kurang lebih dari 1 (satu) menit.
4. Ketidakseimbangan Tegangan, adalah gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya.
5. Distorsi Gelombang, adalah gejala penyimpangan dari suatu gelombang (tegangan dan arus) dari bentuk idealnya berupa gelombang sinusoidal.
6. Fluktuasi tegangan, adalah gejala perubahan besarnya tegangan secara sistematis.
7. Gejala Perubahan Frekuensi Daya yaitu gejala penyimpangan frekuensi daya listrik pada suatu sistem tenaga listrik.

2.2 Landasan Teori

Berikut adalah landasan teori yang digunakan oleh penulis dalam penulisan skripsi.

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik diproduksi di pembangkit listrik, kemudian tenaga listrik tersebut ditransmisikan dan distribusikan hingga akhirnya sampai ke pelanggan. Pada proses penyaluran dan pendistribusian tenaga listrik sampai ke pelanggan itulah terdapat rugi-rugi//*losses* tenaga listrik yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain :

1. Sifat elektrik dari peralatan-peralatan listrik seperti jaringan transmisi trafo pada gardu-gardu induk, jaringan distribusi pada tegangan menengah, trafo-trafo distribusi dan

jaringan distribusi tegangan rendah yang apabila dialiri arus listrik akan menyerap tenaga listrik berbanding lurus dengan waktu. Rugi-rugi tenaga listrik pada jaringan dan transformator tersebut diklarifikasikan sebagai rugi-rugi teknis.

2. Pemakaian tenaga listrik secara *illegal* baik oleh pelanggan maupun non-pelanggan. Kehilangan tenaga listrik karena pemakaian *illegal* tersebut diklasifikasikan sebagai rugi-rugi non-teknis

2.2.1.1 Rugi-Rugi Teknis

Kontribusi rugi-rugi teknis pada sistem distribusi tegangan rendah kurang lebih 80 dari rugi-rugi teknis pada seluruh rugi-rugi jaringan distribusi. Oleh karena itu upaya penekanan rugi-rugi teknis yang paling diutamakan adalah perbaikan sistem distribusi tegangan rendah.

2.2.1.2 Rugi-Rugi Non-Teknis

Rugi non-teknis adalah kehilangan energi yang disebabkan oleh pemakaian tenaga listrik tanpa seizin PLN atau *illegal*. Rugi non teknis ini pada umumnya terjadi akibat perilaku negative para pelanggan, oknum-oknum yang tidak bertanggung jawab yang ingin memperoleh keuntungan secara tidak wajar.

2.2.1.3 Penyebab Rugi-Rugi Teknis

Penghantar adalah salah satu elemen dari suatu sistem penyaluran tenaga listrik yang berfungsi sebagai media untuk menyalurkan energi listrik. Karena tegangan yang diterapkan pada jaringan distribusi tegangan menengah +/- 20kV, maka arus yang mengalir melalui saluran distribusi tegangan menengah lebih kecil jika dibandingkan dengan saluran JTR sehingga rugi-rugi tenaga listrik pada sistem distribusi jaringan tegangan menengah pengaruhnya juga kecil. Sedangkan pada saluran tegangan yang diterapkan pada JTR adalah

220/380 dan juga saluran distribusi tegangan rendah secara keseluruhan jauh lebih panjang dan tersebar maka sebagian besar rugi-rugi terdapat pada saluran distribusi tegangan rendah.

2.2.1.4 Penyebab Rugi-Rugi non-Teknis

Terjadinya rugi-rugi non-teknis dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

1. Penyalahgunaan kWh meter, yaitu dengan mengurangi hubungan kWh meter dengan cara mem-*bypass* tegangan tanpa melewati pencatatan pemakaian daya.
2. Pengoperasian kWh meter yang kurang baik, hal ini dapat disebabkan oleh pengguna yang kWh meternya sudah tidak lagi layak untuk digunakan, atau kalibrasi yang sudah tidak sesuai maupun pemasangan yang tidak sempurna
3. Pelanggaran pada penyambungan, seperti menyambung langsung dari saluran distribusi (Pencurian), salah pembacaan yang tidak terkoreksi, salah pengawatan APP, perbaikan-perbaikan APP yang rusak terlambat.

2.2.1.5 Cara Menekan Rugi-Rugi pada Sistem Distribusi

Untuk menekan rugi-rugi pada sistem distribusi kita harus melihat jenis dan rugi-rugi distribusi tersebut, karena cara yang ditempuh untuk menekan rugi-rugi tergantung dari jenis permasalahannya, cara menekan rugi-rugi tenaga listrik dibagi menjadi dua yaitu :

1. Menekan rugi-rugi daya teknis
2. Menekan rugi-rugi daya non-teknis

2.2.1.6 Cara Menekan Rugi-Rugi Teknis

Rugi sistem distribusi pada jaringan tegangan rendah mempunyai peran penting. Untuk sistem distribusi yang cukup besar seperti pada kota besar bisa mencapai 80%, hal ini disebabkan karena total panjang saluran lebih panjang dari

saluran TM. Untuk menyalurkan daya yang sama karena tegangan distribusi TR jauh lebih kecil dibanding dengan JTM, aka arusnya akan jauh lebih besar karena kontribusi rugi energi pada sistem distribus paling besar terdapat pada JTR. Maka usaha penekanan rugi-rugi sistem distribusi sebaiknya ditekan pada JTR, untuk melakukannya dapat dilakukan dengan cara antara lain :

1. Penambahan jaringan untuk mengalihkan beban apabila jaringan tersebut telah memiliki beban lebih.
2. Mengganti penampang kawat penghantar dengan penampang yang lebih besar.
3. Menambah transformator sisipan
4. Sadapan pada transformator distribusi

2.2.1.7 Cara Menekan Rugi-Rugi non Teknis

Untuk mencegah rugi-rugi non teknis yang berupa pencurian tenaga listrik dilakukan dengan dua cara yaitu OPAL (Operasi Penertipan Aliran Listrik) dan penyuluhan.

2.2.1.8 Gerakan OPAL (Operasi Penertipan Aliran Listrik)

Pencurian listrik terjadi dalam berbagai bentuk seperti, penyambungan langsung ke jaringan PLN tanpa izin, menyalahgunakan fungsi alat ukur kWh meter dan pembatas, dan menambah daya tanpa seizin dari PLN.

Pelanggaran ini dapat dilakukan oleh pelanggan maupun non-pelanggan.

1. Pelanggaran Oleh Pelanggan
 - a. Menyambung langsung listrik dari jaringan PLN
 - b. Memasang magnet didekat lempeng putaran meteran yang bertujuan untuk menahan putaran lempengan sehingga putaran akan melambat dan pembacaan kWh meter menjadi lebih kecil dibandingkan dengan yang seharusnya.

- c. Melaksanakan sambungan *bypass* di APP sehingga arus melewati APP, sebagian melewati sambungan *bypass* sehingga sebagian besar kWh meter tidak terbaca.
- d. Melaksanakan sambungan *bypass* dengan rele, yang bertujuan agar jika terjadi OPAL sambungan *bypass* bisa dilepas.

2. Pelanggaran Oleh Non-Pelanggan

- a. Penyambungan langsung dengan penerangan jalan umum
- b. Penyambungan langsung dengan lapangan olah raga
- c. Penyambungan langsung untuk pedagang kaki lima

2.2.1.9 Mengadakan Sosialisasi atau Penyuluhan

Salah satu cara untuk memberikan pengetahuan pada masyarakat tentang akibat dari pengambilan listrik secara *illegal* yaitu dengan cara penyuluhan, misalnya dipedesaan ataupun dipemukiman penduduk, bahkan di media-media massa seperti majalah, televisi maupun di spanduk jalan.

2.2.2 Perhitungan Rugi-Rugi Jaringan Tegangan Rendah

Sebagaimana kita ketahui bahwa semakin panjang jarak antara gardu distribusi ke pelanggan, maka besar tegangan yang diterima pelanggan semakin kecil, atau terjadi jatuh tegangan yang semakin besar. Semakin besar beban yang dipikul oleh saluran jurusan tertentu, maka semakin sering pula terjadi putusnya pembatas (NH Fuse TR) pada peralatan hubung bagi (PHB-TR) akibat besarnya arus. Ini dikarenakan semakin besar Arus (I) beban, sedangkan daya transformator tetap (konstan) maka Tegangan (V) akan turun, oleh karena itu akan timbul rugi daya (*losses*).

2.2.2.1 Rugi-Rugi Daya

Rugi Daya :

$$P = I^2 \times R$$

Dimana :

P = Daya (kW)

I = Arus Beban (A)

R = Tahanan (Ω)

1. Rugi Daya Rata-Rata Tiap Jurusan

$$P_{rata-rata} = I^2 \times R \times F_r$$

Dimana : Faktor Rugi untuk Daerah Perumahan

$$F_r = 0,3 F_b + 0,7 F_b^2$$

2. Tahanan

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

Dimana :

ΔV = Selisih Tegangan (V)

I = Beban (A)

2.2.2.1.1 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan adalah perbedaan tegangan antara tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Maka pemilihan penghantar (penampang penghantar) harus diperhatikan. Jatuh tegangan yang diizinkan tidak boleh kurang dari 10% tegangan kirim dan 5% lebih dari tegangan kirim.

Beda tegangan antara kedua titik di jaringan atau dengan kata lain jatuh tegangan yang terjadi diantara ke dua titik ujung di jaringan tersebut. Untuk persamaan jatuh tegangan dapat dihitung dengan cara:

$$\Delta V = V_k - V_t$$

Dimana :

V_k = Nilai mutlak tegangan ujung kirim

V_t = Nilai mutlak tegangan ujung terima

2.2.2.1.1 Power Factor

Faktor daya listrik sangat mempengaruhi kondisi-kondisi baik dari segi teknis maupun dari segi biaya. Faktor daya listrik merupakan perbandingan antara daya aktif dengan daya semu, atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

Dimana :

P = Daya Aktif (kW)

S = Daya Semu (kVa)

Pada Umumnya faktor daya listrik ini juga disebut Cosinus Phi, dimana untuk sistem 3 fasa,

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

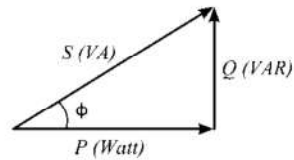
Dimana :

V = Tegangan antar fasa dari sistem (V)

I = Arus yang ditarik oleh beban (A)

S = Daya Semu (VA)

Hal ini dapat dinyatakan sebagai penjumlahan secara vector antara daya aktif dengan daya reaktif.



Gambar 2.1 Segitiga Daya

Hubungan antara ketiga daya listrik tersebut sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 S^2 &= P^2 + Q^2 \\
 P &= S \times \cos \phi \\
 &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi
 \end{aligned}$$

Untuk sistem 1 fasa :

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

Semakin besar harga $\cos \phi$ maka semakin kecil arus fasanya, sehingga rugi-rugi saluran menjadi kecil, dan jumlah kWh per bulan akan semakin kecil sehingga biaya listrik perbulan semakin ekonomis

2.2.3 Penyebab terjadinya losses

Losses yaitu perbedaan antara energi listrik yang disalurkan (P_s) dengan energi listrik yang terpakai (P_p)

$$Losses = \frac{P_s - P_p}{P_s} \times 100\%$$

2.2.3.1 Rugi Daya pada Saluran (Penghantar)

Pada saat penghantar arus beban maka timbul rugi-rugi daya pada penghantar tersebut dengan persamaan :

$$P_L = I^2 \times R$$

Dimana :

P_L = Rugi-rugi daya (W)

I = Arus yang mengalir (A)

R = Resistansi penghantar (Ω)

I^2R = Rugi-rugi daya efektif

Hilangnya daya listrik dalam penyaluran tenaga listrik dapat disebabkan oleh peralatan pada sistem kelistrikan itu sendiri. Rugi-rugi daya listrik pada sistem distribusi tenaga listrik sebagian besar terjadi pada saluran transformator distribusi. Untuk itu sistem distribusi harus dipisah dari transformator yang dapat menghantarkan arus ke beban tanpa rugi-rugi daya yang melampaui standar yang ditentukan.

Persamaan dibawah ini digunakan untuk menghitung rugi-rugi daya pada jaringan distribusi pada saluran dengan beban seimbang pada sistem 3 fasa sebagai berikut :

$$P = m \times I^2 \times R$$

Dimana :

P = Rugi-rugi daya (W)

m = Jumlah fasa

I = Arus perfasa (A)

R = Resistifitas penghantar (Ω)

2.2.3.2 Losses Akibat Beban Tidak Seimbang

Akibat pembebanan di tiap fasa yang tidak seimbang, maka akan mengalir arus pada penghantar netral. Jika hantaran penghantar netral erdapat nilai tahanan dan dialiri arus, maka penghantar netral akan bertegangan yang menyebabkan tegangan pada transformator menjadi tidak seimbang.

Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral akan menyebabkan rugi-rugi daya sebesar

$$\Delta P = I_N^2 \times R_N$$

Dimana :

P = Losses yang timbul pada konektor (W)

I_N = Arus yang mengalir melalui kawat netral (A)

R_N = Tahanan pada kawat netral (Ω)

Arus netral ini sangat berpengaruh pada sistem jika arus netralnya berlebihan, dalam hal ini dapat mengakibatkan masalah seperti :

1. Timbulnya panas yang berlebihan pada transformator
2. Menurunnya kualitas daya

2.2.3.3 Losses Pada Sambungan Tidak Baik

Losses ini terjadi karena disepanjang jaringan tegangan rendah terdapat beberapa sambungan, antara lain :

1. Sambungan antara kabel opstyg dan kabel TIC-AI
2. Sambungan saluran jaringan tegangan rendah dengan kabel TIC-AI
3. Percabangan saluran jaringan tegangan rendah

Besarnya rugi-rugi daya pada sambungan dirumuskan :

$$\Delta P = I^2 \times R$$

Dimana :

ΔP = Losses yang timbul pada konektor (W)

I = Arus yang mengalir melalui konektor(A)

R = Tahanan konektor (Ω)

2.2.4 Klasifikasi Beban

2.2.4.1 Beban Rumah Tangga

Pada umumnya bebannya berupa lampu untuk penerangan, kipas angin, alat rumah tangga, seperti pemanas air, lemari-es, penyejuk udara, mixer, oven, motor pompa air, dan sebagainya. Nilai dari beberapa faktor dari beban rumah tangga ini adalah : Faktor Demand 70-100% ; Faktor Diversitas 1,2-1,3 dan Faktor Beban 10-15%.

2.2.4.2 Beban Komersial

Umumnya terdiri dari penerangan untuk toko, reklame kipas angin, penyejuk-udara dan alat-alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran, toko dan sebagainya. Faktor-demand biasanya berkisar antara 90-100%, Faktor-Diversitas 1,1-1,2 dan faktor beban berkisar antara 25-30%.

2.2.4.3 Beban Industri

Ada skala kecil dan besar. Untuk industri skala besar faktor demandnya dapat diambil 70-80% dan faktor bebannya 60-65%

2.2.5 Rak Tegangan Rendah

Merupakan Perangkat Hubung Bagi (PHB) tegangan rendah gardu distribusi tegangan rendah terpasang gardu distribusi pada sisi tegangan rendah atau sisi instalasi tenaga listrik. Fungsi dari Rak TR ini adalah sebagai alat penghubung sekaligus pembagi tenaga listrik ke instalasi pengguna tenaga listrik (konsumen) kapasitas rak TR yang digunakan harus disesuaikan dengan besarnya kapasitas transformator yang digunakan.

Rak TR terdiri dari beberapa jurusan yang akan dibagi-bagi ke pelanggan rak TR terhubung dengan transformator pada sisi sekunder menggunakan kabel single core tegangan rendah.

2.2.6 Pecah Beban

Pecah beban merupakan sebuah metode yang digunakan oleh PLN untuk mengurangi beban berlebih pada trafo yang *overload* atau pembebanannya melewati batas yang dianjurkan yaitu 80%, pecah beban dilakukan dengan memindahkan sebagian dari beban pada trafo ke trafo terdekat dengan pembebanan yang lebih rendah dan mampu menerima beban dari trafo yang *overload*.

2.2.6.1 SOP Pelaksanaan Pecah Beban

2.2.6.1.1 *Persiapan pekerjaan*

1. Pastikan Surat Perintah Kerja sudah diterima dan Surat Pemberitahuan sudah dibagikan
2. Persiapkan alat kerja dan material.
3. Informasikan melalui radio komunikasi ke piket pengatur UPJ bahwa ada pekerjaan pemeliharaan trafo.
4. Pakai alat pelindung diri yang diperlukan

2.2.6.1.2 *Pelaksanaan pekerjaan*

1. Berdoa bersama sebelum memulai kegiatan
2. Buka kunci gardu
3. Lakukan pengukuran beban gardu dan dicatat
4. Tutup dan kunci kembali gardu
5. Pasang tangga dan ikat
6. Pelaksana naik melalui tangga
7. Pasang tali sabuk pengaman
8. Cek urutan fasa sambungan dari PHB TR ke kabel jurusan
9. Pelaksana turun melalui tangga
10. Lepas pengikat dan turunkan tangga

2.2.6.1.3 *Bila terdapat sambungan atau Jumper :*

1. Pasang tangga dan ikat
2. Pelaksana naik melalui tangga

3. Pasang tali sabuk pengaman
4. Cek urutan fasa
5. Pelaksana turun melalui tangga
6. Lepas pengikat dan turunkan tangga

2.2.6.1.4 Untuk pelaksana pemindahan SR :

1. Pasang tangga dan ikat
2. Pelaksana naik melalui tangga
3. Pasang tali sabuk pengaman
4. Cek fasa yang akan dipindah
5. Lakukan pemindahan SR
6. Cek kembali tegangan disisi konsumen, jika pekerjaan selesai
7. Pelaksana turun melalui tangga
8. Lepas pengikat dan turunkan tangga
9. Buka kunci gardu
10. Lakukan pengukuran gardu dan dicatat
11. Tutup dan kunci kembali gardu
12. Kumpulkan peralatan dan material kerja (yang tersisa) setelah pekerjaan selesai
13. Berdoa bersama

2.2.6.1.5 Pelaporan hasil pekerjaan

1. Membuat laporan dari hasil pekerjaan sesuai format yang sudah diterapkan perusahaan