

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan latar belakang tugas akhir yang diambil, terlebih dahulu peneliti melakukan studi pustaka untuk pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya guna menentukan batasan-batasan masalah yang berkaitan erat dengan topik penelitian. Referensi ini kemudian akan digunakan untuk mempertimbangkan permasalahan-permasalahan apa saja yang berhubungan dengan topik penelitian. Adapun beberapa referensi tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut:

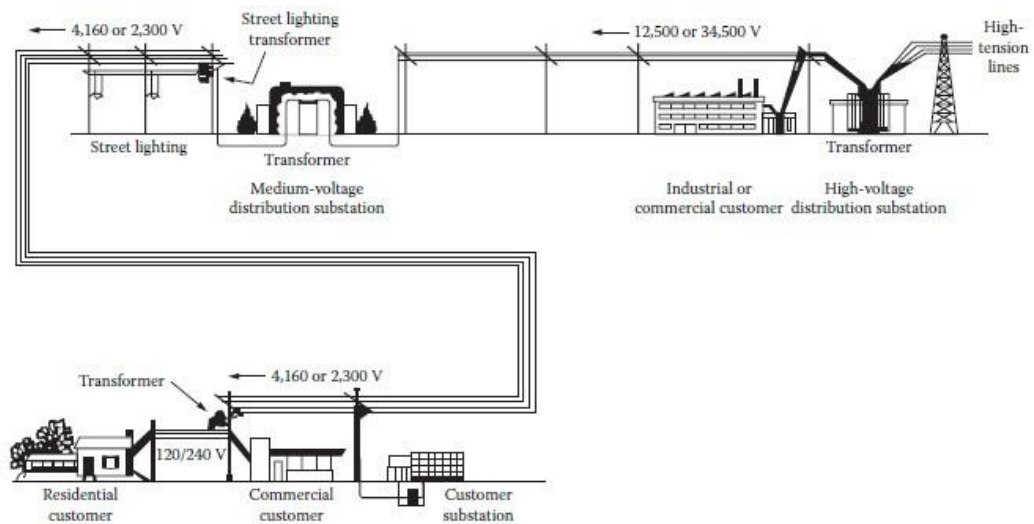
1. Penelitian yang dilakukan oleh Tim CoP Distribusi PT. PLN (Persero) Cabang Parepare (2009) tentang Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi Dengan Metode “*All Reconnecting* ” diperoleh bahwa dengan merencanakan dan menetapkan ulang titik sadapan dengan parameter pemakaian kWh perbulan terbukti dapat menyeibangkan beban pada tiap fasa transformator.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Harum Kusuma Dewi (2013) tentang analisis Penyeimbangan Beban Pada Jaringan Distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Sedayu, pada penelitian ini peneliti melakukan analisis rugi-rugi daya (*losses*) ke adaan beban seimbang dan tidak seimbang, diperoleh bahwa akibat ketidak seimbangan beban tersebut akan mengalir arus netral trafo. Arus yang mengalir pada netral trafo inilah yang menyebabkan rugi-rugi daya (*losses*).
3. Penelitian yang dilakukan oleh W. Susongko, I N. Setiawan, I N. Budiastira (2016) tentang Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder Gardu Distribusi DS 0587 di PT. PLN (Persero) Disrtibusi Bali Rayon Denpasar, pada penelitian ini peneliti melakukan analisis rugi-rugi daya (*losses*) keadaan beban seimbang dan keadaan beban tidak seimbang pada waktu siang dan malam hari di JTR dan SR gardu distribusi DS0587. Berdasarkan

hasil analisis peneliti, adanya ketidakseimbangan beban pada transformator dan JTR DS 0587 telah menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya (*Losses*).

4. Peneliti Gama Ayu Kartika (2018) melakukan penelitian mengenai analisa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan *losses* pada trafo distribusi studi kasus pada PT. PLN (Persero) Rayon Blora. Analisa yang diperoleh dimana terdapat arus mengalir di netral transformator akibat ketidakseimbangan beban yang menyebabkan *losses*. *Losses* di hasilkan dari adanya arus pada penghantar netral transformator dan arus netral yang mengalir ke tanah. Semakin besar ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi maka *losses* arus netral pada penghantar netral dan yang mengalir ke tanah akan besar pula.

2.2 Gardu Distribusi

Distribusi merupakan segmen yang menghubungkan antara sisi transmisi dengan konsumen, biasanya dimulai dari gardu distribusi dan berakhir di konsumen. Topologi yang umum digunakan di distribusi adalah *radial*, *ring*, *mesh*, ataupun *spindle*, semakin besar suatu kota, maka akan semakin rumit jaringannya, dan semakin rumit jaringan tersebut, semakin banyak komponen sistem tenaga listrik yang bisa terhubung. Berikut adalah skema umum dari distribusi. Gardu Distribusi ini berfungsi menghubungkan jaringan tegangan menengah (JTM) dengan jaringan tegangan rendah (JTR). Kapasitas transformator yang digunakan sebagai gardu distribusi ini lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas transformator gardu induk. Gardu ini mengubah nilai tegangan sistem dari 20 kV menjadi tegangan pemakaian 220V/380V. Di Indonesia besar kapasitas yang biasa digunakan gardu distribusi adalah 400 kVA, 630 kVA, dan 1000 kVA (Nugroho 2012).



Gambar 2.1 Skema Umum Distribusi

Secara umum, terdapat dua metode dalam pendistribusian tenaga listrik, yaitu distribusi langsung ataupun tidak langsung. Sistem distribusi langsung merupakan sistem penyaluran listrik yang tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu, umumnya dilakukan apabila lokasi pembangkit dekat dengan konsumen. Sementara sistem distribusi tidak langsung dilakukan jika lokasi Pembangkit Listrik dan konsumen berjauhan, sehingga dibutuhkan saluran transmisi. Gardu distribusi ini memiliki berbagai bentuk, tergantung dengan lokasi pemasangan, beberapa bentuk tersebut adalah :

2.2.1 Gardu Beton

Merupakan salah satu jenis gardu distribusi yang mempunyai bangunan pelindung terbuat dari beton. Gardu ini termasuk gardu jenis pasangan dalam, karena umumnya semua peralatan penghubung, pemisah, dan transformator distribusi berada di dalam bangunan. Peralatan-peralatan tersebut dirancang dan instalasi dilokasi yang disesuaikan dengan ukuran dari gardu beton tersebut (Nugroho 2012).



Gambar 2.2 Gardu Beton

Sementara ketentuan teknis gardu beton untuk, komponen tegangan menengah menurut Nugroho (2012) adalah :

- a. Tegangan perencanaan 25 kV.
- b. *Power frekuensi withstand voltage* 50 kV dalam 1 menit.
- c. *Impulse withstand voltage* 125 kV.
- d. Arus nominal 400 A.
- e. Arus nominal transformator 50 A.
- f. Arus hubung singkat dalam 1 detik 12,5 kA.

Sementara untuk komponen tegangan rendah, ketentuannya menurut Nugroho (2012) adalah:

- a. Tegangan perencanaan 414 V.
- b. *Power frekuensi withstand* 3 kV dalam 1 menit.
- c. *Impulse withstand voltage* 20 kV.
- d. Arus perencanaan busbar 800 A, 1200 A, dan 1800 A.
- e. Arus perencanaan sirkit keluar 400 A.

2.2.2 Gardu Besi (kios)

Menurut Nugroho (2012) gardu besi adalah gardu yang bangunan pelindungnya terbuat dari besi. Gardu ini juga termasuk gardu jenis pasangan dalam. Ukuran gardu ini lebih kecil dan biasanya para pekerja tinggal memasang fondasinya saja.



Gambar 2.3 Gardu Besi (kios)

2.2.3 Gardu Tiang

Merupakan gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari tiang. Biasanya transformator distribusi terletak di atas tiang. Sehubungan karena letak transformator yang berada di atas tiang, maka kapasitas transformator tersebut tidak bisa terlalu besar, karena semakin besar kapasitas maka ukuran transformator akan semakin besar juga. Umumnya transformator yang terpasang di gardu tiang memiliki kapasitas 50 kVA untuk satu fasa dan 160 kVA untuk tiga fasa (Nugroho 2012).



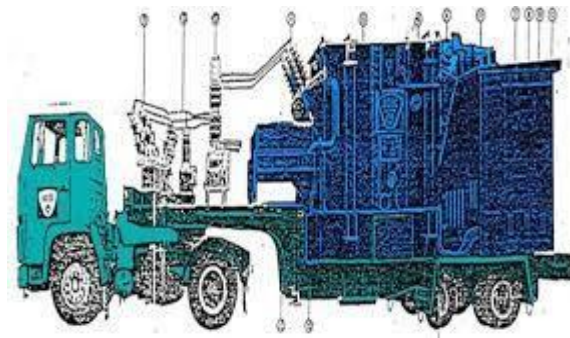
Gambar 2.4 Gardu Tiang

2.2.4 Gardu Mobil

Gardu distribusi ini memiliki bentuk bangunan berupa mobil, sehingga bisa berpindah tempat sesuai kebutuhan. Dikarenakan mobilitas

yang tinggi, gardu ini biasa digunakan untuk memenuhi kebutuhan daya yang bersifat temporer.

Secara umum ada dua jenis gardu mobil, yaitu gardu mobil pasang dalam, dengan bentuk boks besar, dimana semua instalasi gardu sudah ada di dalam boks tersebut. Kemudian ada gardu mobil jenis pasang luar, dengan bentuk berupa mobil trailer, sehingga bentuk fisiknya akan lebih panjang, dan semua perlengkapan gardu tersebut bisa terlihat dari luar. Untuk masalah kapasitas, biasanya gardu mobil pasang luar memiliki kapasitas lebih besar (Nugroho 2012).



Gambar 2.5 Gardu Mobil

Transformator distribusi adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan).

2.3 Transformator Distribusi

Transformator merupakan jantung dari distribusi dan transmisi yang diharapkan beroperasi maksimal (kerja terus menerus tanpa berhenti). Agar dapat berfungsi dan bekerja dengan baik, maka transformator harus dipelihara dan dirawat dengan baik menggunakan sistem dan peralatan yang tepat.



Gambar 2.6 Transformator 1 Pasa

Bagian-bagian dari transformator :

1. Inti Besi

Inti besi adalah bagian dari transformator yang berfungsi untuk membangkitkan fluksi yang timbul karena arus listrik dalam kumparan trafo, baja tipis yang dibuat berlapis-lapis adalah bahan utama inti besi transformator, hal ini dimaksudkan untuk mengurangi panas yang diakibatkan oleh arus eddy (eddy current).

2. Kumparan Primer dan Kumparan Sekunder

Kumparan kawat tembaga yang berisolasi baik antar kumparan maupun antara kumparan dan inti besi. kumparan primer dan kumparan sekunder adalah kedua kumparan pada transformator, bila salah satu kumparan tersebut diberikan tegangan maka pada kumparan akan membangkitkan fluksi pada inti serta menginduksi kumparan lainnya sehingga pada kumparan sisi lain akan timbul tegangan.

3. Minyak Trafo

Belitan primer dan sekunder pada inti besi pada trafo terendam minyak trafo, hal ini dimaksudkan agar panas yang terjadi pada kedua kumparan dan inti trafo oleh minyak trafo dan selain itu minyak tersebut juga sebagai isolasi pada kumparan dan inti besi.

4. *Isolator Bushing*

Pada ujung kedua kumparan trafo baik primer ataupun sekunder keluar menjadi terminal melalui isolator yang juga sebagai penyekat antar kumparan dengan *body* badan trafo.

5. Tangki dan Konservator

Bagian-bagian trafo yang terendam minyak trafo berada dalam tangki, sedangkan untuk pemuaian minyak tangki dilengkapi dengan konserfator yang berfungsi untuk menampung pemuaian minyak akibat perubahan temperatur.

6. Katub Pembuangan dan Pengisian

Katup pembuangan pada trafo berfungsi untuk menguras pada penggantian minyak trafo, hal ini terdapat pada trafo diatas 100kVA, sedangkan katup pengisian berfungsi untuk menambahkan atau mengambil *sample* minyak pada trafo.

7. *Oil level*

Berfungsi sebagai *visualiasasi* untuk mengetahui keadaan minyak pada tangki transformator, oil level inipun hanya terdapat pada trafo diatas 100kVA.

8. Indikator suhu transformator

Berfungsi untuk mengetahui serta memantau keberadaan *temperature* pada *oil trafo* saat beroperasi, untuk trafo yang berkapasitas besar indikator *limit* tersebut dihubungkan dengan rele *temperature*.

9. Pernapasan Trafo

Suhu minyak yang berubah-ubah dikarenakan naik turunnya beban trafo dan pengaruh suhu udara luar. Minyak akan memuai dan mendesak udara diatas permukaan minyak keluar dari tangki bila suhu minyak trafo naik, sebaliknya bila suhu turun, minyak akan menyusut maka udara luar akan masuk kedalam tangki. proses-proses tersebut disebut pernapasan transformator, permukaan minyak transformator akan bersinggungan dengan udara luar, dikarenakan lembabnya udara luar.

10. Pendingin Transformator

Perubahan beban dan perubahan temperatur menyebabkan seluruh komponen trafo akan menjadi panas, guna mengurangi panas pada trafo dilakukan pendingin pada trafo, adapun cara pendinginan trafo terdapat dua macam yaitu: alamiah/natural (Onan) dan paksa/tekanan (Onaf). Pada pendinginan alamiah (natural) melalui sirip-sirip radiator yang bersirkulasi dengan udara luar dan untuk trafo yang besar minyak pada trafo disirkulasikan dengan pompa. Sedangkan pada pendinginan paksa pada sirip-sirip trafo terdapat fan yang bekerjanya sesuai setting temperaturnya.

11. *Tap Canger Transformator* (Perubahan Tap)

Tap changer adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang sesuai dengan tegangan sekunder yang diinginkan dari tegangan primer yang berubah-ubah. *Tap changer* hanya dapat dioperasikan pada keadaan trafo tidak bertegangan atau disebut dengan "*Off Load Tap Changer*" serta dilakukan secara manual.

Dalam operasi umumnya, trafo-trafo ini ditanahkan pada titik netralnya sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan/proteksi. Transformator distribusi ini mendistribusikan energi listrik dalam tegangan rendah yang kurang dari 33 kilo volt guna kebutuhan rumah tangga maupun untuk industri yang berada dalam kisaran tegangan 220 Volt sampai dengan 440 Volt.

2.4 Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan Tegangan Rendah adalah bagian hilir dari sistem tenaga listrik pada tegangan distribusi di bawah 1000 Volt, yang langsung memasok kebutuhan listrik tegangan rendah ke konsumen. Di Indonesia, tegangan operasi transmisi SUTR saat ini adalah 220/380 Volt.



Gambar 2.7 Jaringan Tegangan Rendah

Radius operasi jaringan distribusi tegangan rendah dibatasi oleh :

1. Susut tegangan yang disyaratkan.
2. Luas penghantar jaringan.
3. Distribusi tegangan sepanjang jalur jaringan distribusi.
4. Sifat daerah pelayanan (desa, kota, dan lain-lain).
5. Kelas pelanggan (pada beban rendah, pada beban tinggi).

Umumnya radius pelayanan berkisar 350 meter. Di Indonesia (PLN) susut tegangan diizinkan $\pm 5\%$ - 10% dari tegangan operasi.

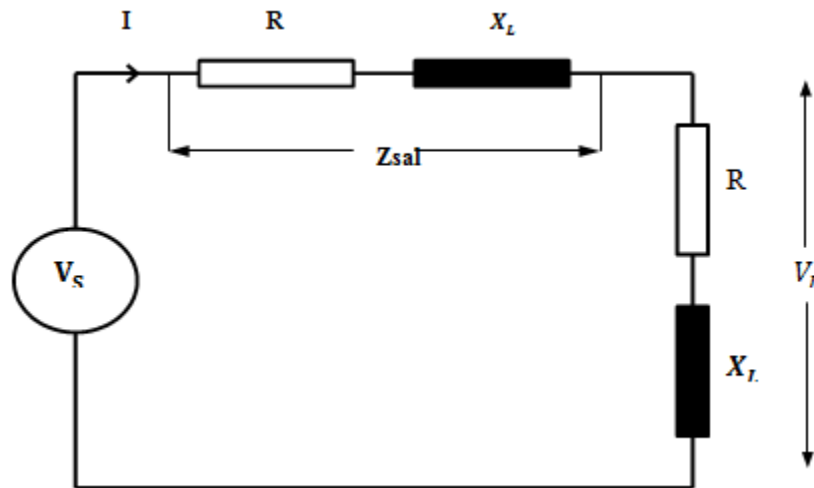
2.5 Rugi-Rugi dalam Sistem Distribusi

Dalam penyaluran energi listrik terdapat perbedaan antara besarnya energi listrik yang dikirim dan energi listrik yang diterima. Selisih antara besarnya energi yang dikirim dengan energi yang diterima ini dikenal dengan rugi/ susut energi atau biasa disebut dengan *losses*. Atau dapat diartikan hilangnya sejumlah energi listrik pada sepanjang jaringan. Proses distribusi tenaga listrik sampai ke konsumen mengalami penurunan/ susut besar tenaga listrik yang dikirim.

2.6 Rugi Tegangan/ Susut Tegangan/ Jatuh Tegangan

Susut tegangan adalah besarnya tegangan yang diakibatkan oleh arus yang mengalir pada suatu media yang mempunyai impedansi. Pada jaringan distribusi primer, susut tegangan ini sebagian besar terjadi di saluran dan transformator.

Oleh karena itu, saluran dan transformator yang digunakan ini harus dipilih yang bias menghantarkan arus beban tanpa menyebabkan susut tegangan yang berlebihan. Dengan mengabaikan kapasitansi yang ada (untuk jaringan kurang dari 80 km), suatu rangkaian listrik dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Diagram Rangkaian Distribusi Tenaga Listrik

Dari rangkaian tersebut, maka diperoleh persamaan :

$$I = \frac{V_S}{(Z_{SAL} + Z_L)} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$V_S = I \cdot Z_{SAL} + I \cdot Z_L \dots\dots\dots (2.2)$$

- Dengan:
- I = Arus Beban (A)
 - V_S = Tegangan Sumber (V)
 - Z_S = Impedansi Saluran (Ω)
 - Z_L = Impedansi Beban (Ω)

Dari persamaan tersebut nilai tegangan di sisi sumber mengalami penyusutan dalam pendistribusiannya sebesar:

$$\Delta V = I \cdot Z_{SAL} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \text{Besarnya susut tegangan pada saluran} \\ I &= \text{Arus beban} & (\text{A}) \\ Z_{\text{SAL}} &= \text{Impedansi saluran} & (\Omega) \end{aligned}$$

Karena susut tersebut tegangan di sisi konsumen akan berkurang, nilainya sama dengan:

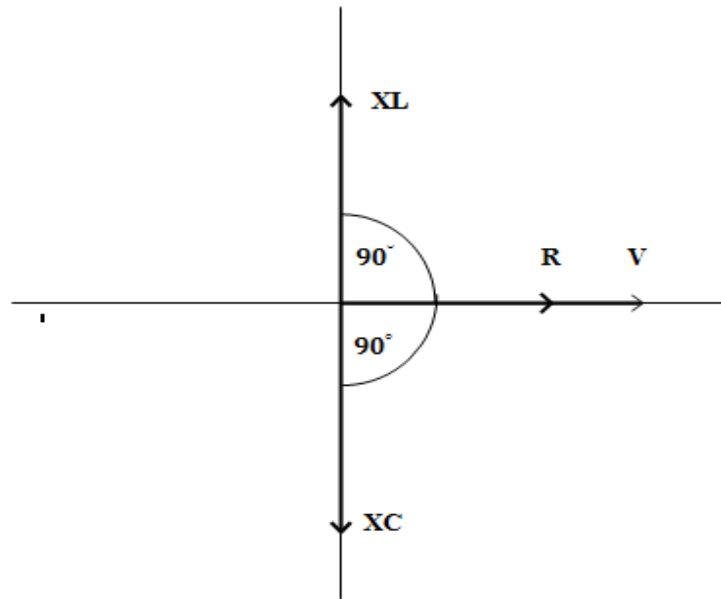
$$\Delta V = I \cdot Z_L \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} V_L &= \text{Besarnya tegangan pada konsumen} & (\text{V}) \\ I &= \text{Arus beban} & (\text{A}) \\ Z_L &= \text{Impedansi beban} & (\Omega) \end{aligned}$$

2.7 Rugi Daya/ Power Losses

Besarnya energi atau beban listrik yang digunakan ditentukan oleh beban yang tersambung yaitu beban resistif (R), beban induktif (X_L) dan beban kapasitif (X_C). Ketiga beban listrik tersebut memiliki sifat yang berbeda. Untuk beban resistif (R), besarnya searah atau sefasa dengan tegangannya. Pada beban induktif (X_L) nilainya mendahului 90° dari tegangannya, sedangkan untuk beban kapasitif (X_C) nilainya tertinggal 90° dari tegangannya. Bila digambarkan pada bidang *cartesius*, nilai tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



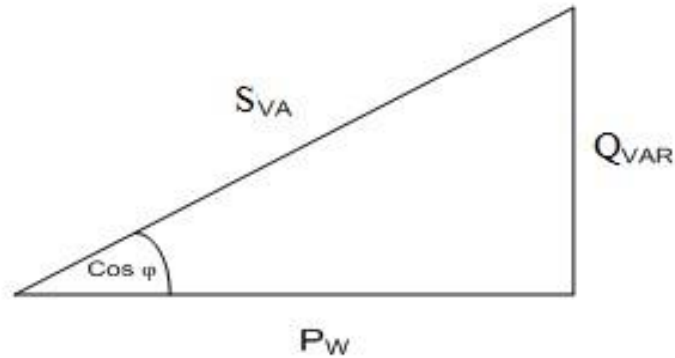
Gambar 2.9 Diagram Phasor Beban R, X_L dan X_C

Beban pada konsumen terdiri dari rangkaian ketiga beban tersebut yang disebut impedansi (Z). Beban-beban tersebut menghasilkan daya yang berbeda-beda, yaitu:

- Beban resistif (R) menghasilkan daya aktif (P_W) yang nilainya searah dengan tegangan. Daya ini dinyatakan dengan satuan Watt (W). Daya ini merupakan daya yang dipakai oleh konsumen.
- Beban induktif (X_L) dan beban kapasitif (X_C) menghasilkan daya semu atau daya reaktif (Q_{VAR}) yang nilainya tertinggal 90^0 (untuk beban X_L) dan mendahului 90^0 (untuk beban X_C) dari tegangannya. Daya ini dinyatakan dengan satuan VAR.
- Sedangkan untuk impedansi (Z) menghasilkan daya semu (S_{VA}) yang merupakan jumlah dari daya aktif dan daya reaktif.

Penjumlahan kedua daya antara daya aktif dan daya reaktif akan menghasilkan daya nyata yang merupakan daya yang disuplai untuk konsumen. Nilai dari daya reaktif (Q_{VAR}) yang besar, dapat menyebabkan nilai dari rugi-rugi daya menjadi besar sedangkan nilai dari daya aktif (P_W) dan tegangan yang

sampai ke konsumen berkurang. Karena daya semu $P = V \cdot I$, maka dengan bertambah besarnya daya berarti terjadi penurunan harga V dan naiknya harga I . Dengan demikian daya aktif, daya reaktif dan daya nyata merupakan suatu kesatuan yang kalau digambarkan seperti segitiga siku- siku berikut ini :



Gambar 2.10 Diagram Segitiga Daya

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa besarnya Q_{VAR} dapat mempengaruhi besarnya sudut yang dibentuk antara S_{VA} dan P_W . Sudut antara S_{VA} dan P_W tersebut kita kenal sebagai faktor daya (*power factor/ pf/ cos φ*). Jika nilai dari daya semu (S_{VA}) adalah:

$$S_{VA} = V.I \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan:	S_{VA}	=	daya semu	(VA)
	V	=	tegangan	(V)

Maka dari gambar tersebut dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$P_W = V.I \cos \varphi \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana : $P_W =$ Daya aktif (W)

$$\begin{aligned} V &= \text{Tegangan} && (V) \\ I &= \text{Arus} && (I) \\ \text{Cos } \varphi &= \text{Faktor daya} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk daya reaktif Q_{VAR} sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{VAR} = V.I \sin \varphi \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} Q_{VAR} &= \text{daya reaktif} && (VAR) \\ V &= \text{tegangan} && (V) \\ I &= \text{arus} && (A) \end{aligned}$$

Harga dari $\cos \varphi$ tersebut berkisar antara 0 sampai dengan 1, dimana nilai $\cos \varphi = 1$ adalah nilai dimana besarnya daya aktif (P_W) dan daya semu (S_{VA}) adalah sama. Tetapi untuk nilai $\cos \varphi$ sama dengan 1 ini sulit dicapai karena nilai tersebut Banyak sekali faktor-faktor yang mempengaruhi besar rugi-rugi baik secara langsung maupun tidak langsung dan di dalam usaha untuk menurunkan rugi-rugi maka semua faktor tersebut harus mendapatkan perhatian dan dapat dikendalikan. Faktor-faktor yang mempengaruhi rugi-rugi antara lain:

1. Rugi-rugi Teknik

a. Perencanaan tidak mengindahkan kriteria teknik yang baik.

Hal ini dapat terjadi misal dalam pengembangan sistem distribusi dilakukan tanpa mengikuti suatu pola tertentu tetapi hanya menarik jaringan yang terdekat dari beban dan tanpa ramalan beban selanjutnya. Hal ini akan menyebabkan naiknya rugi- rugi karena mengalirnya arus di kawat netral. Perencanaan jaringan yang terlalu panjang walaupun menggunakan pengatur tegangan untuk memenuhi standar tegangan ujung juga merugikan kenaikan rugi-rugi.

b. Pembangunan yang tidak sesuai standar

Hal ini dapat terjadi bukan hanya pada saat konstruksi jaringan tetapi juga pada saat pengadaan materialnya, misal dalam pemilihan

trafo yang hanya memacu pada harga satuan pembelian yang murah maka akan mungkin didapatkan rugi-rugi trafo terlalu besar, juga hal yang sama dapat terjadi pada pembelian konduktor yang mungkin mendapatkan konduktor dengan penampang sesuai tetapi tahanan spesifikasi konduktor terlalu sedikit. Dalam pelaksanaan konstruksinya sering terjadi pemasangan konduktor ataupun konektor yang kurang tepat sehingga tahanan pada titik sambungan atau titik koneksi menjadi tinggi yang akan menaikkan rugi-rugi.

c. Pengoperasian yang tidak optimum

Hal ini terjadi misal pada sistem distribusi yang cukup besar dan mulai kompleks dimana pengoperasian dilakukan tanpa bantuan. Software management distribusi, apalagi bila data-data operasi tidak lengkap. Dalam hal ini dapat terjadi pembebanan yang berlebihan ataupun pembebanan yang menyebabkan power faktor kecil atau juga tegangan ujung dibawah standar. Hal tersebut akan menaikkan rugi- rugi.

2. Rugi-Rugi Non Teknik

a. Proses pengelolaan pelanggan kurang diperhatikan

Dalam hal ini yang paling berpengaruh dalam rugi-rugi adalah mulai proses penyambungan, proses pembacaan meter, dan proses pembuatan rekening. Pada proses penyambungan bila penyambungan baru kurang dikendalikan akan dapat terjadi periode penyambungan yang lama, sehingga bila calon pelanggan tidak dapat melakukan penyambungan legal maka terpaksa dengan penyambungan ilegal sehingga terjadi pemakaian yang tidak tercatat. Pada proses penyambungan baru dan proses perubahan besar penyambungan dapat pula terjadi pemasukan data pelanggan yang salah sehingga pemakaian energi terekamnya menjadi lebih kecil dari pada sebenarnya. Hal yang juga sering terjadi adalah karena proses adminitrasinya lambat maka pelanggan telah menyala resmi akan tetapi rekening tidak tercetak sehingga pemakaian pelanggan bukan sebagai penjualan perusahaan.

b. Pengukuran kurang tepat

Hal ini dapat terjadi bila ada kesalahan pengawatan baik pada meternya atau pengawatan antara CT PT , *time switch* dan meternya atau kurang sesuaian antara rating meter dengan daya tersambung pelanggan sehingga penunjukkan meter tidak benar dapat juga hal ini terjadi karena meter elektrik mekanik yang sudah terlalu tua hingga terjadi kelambatan putaran piringan putar sehingga penunjukan meter dibawah pemakaian sebenarnya. Kemungkinan lain adalah adanya salah baca dari pembaca meter.

c. Pengamanan instalasi kurang aman

Hal ini mencakup pengamanan secara elektrik maupun mekanik. Pengamanan secara elektrik misalnya bila pada trafo pengukuran dilengkapi pengaman lebur, maka bila pengaman lebur tersebut putus menyebabkan sebagian tegangan yang masuk pada meter akan hilang dan bila hal ini tidak menyebabkan terbukanya pemutus sirkuit utama, maka pengukuran meter akan jauh dibawah pemakaian sebenarnya. Pengaman mekanik misalnya bila pengelolaan tang segel maupun segelnya tidak dijaga ketat, maka mudah terjadi kecurangan untuk membuka dan memasang segel guna merubah kedudukan register pada meter di rumah pelanggan. Begitu pula bila keadaan diatas disertai pula pengelolaan kunci gardu yang lemah pengamannya, maka mudah terjadi kecurangan untuk merubah pengawatan. Hal-hal tersebut akan menunjukkan perubahan meter.

d. Pemakaian tidak sah

Banyak terjadi dengan melakukan penyambungan instalasi pemakai ke jaringan pensuplai tanpa melewati atau menggunakan meter yang secara ilegal secara tetap ataupun temporer. Termasuk pula dalam hal ini adalah mempengaruhi kondisi meter atau pengawatannya seperti diuraikan diatas. Hal-hal tersebut akan menunjukkan perubahan meter dibawah pemakaian sebenarnya.

2.8 Perhitungan Rugi-Rugi

Yang dimaksud rugi-rugi adalah perbedaan antara energi listrik yang disalurkan (P_s) dengan energi listrik yang terpakai (P_p).

$$\text{Rugi-rugi} = \frac{P_s - P_p}{P_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

1. Rugi-Rugi Pada Penghantar Phasa

Jika suatu arus mengalir pada suatu penghantar, maka pada penghantar tersebut akan terjadi rugi-rugi energi menjadi energi panas karena pada penghantar tersebut terdapat resistansi. Rugi-rugi dengan beban terpusat di ujung dirumuskan:

$$\Delta V = I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$$

$$\Delta P = 3 I^2 R L \dots\dots\dots (2.9)$$

Sedangkan jika beban terdistribusi merata di sepanjang saluran, maka rugi-rugi energi yang timbul adalah :

$$\Delta V = \left(\frac{1}{2}\right)^2 (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\Delta P = 3 \left(\frac{1}{2}\right)^2 R L \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan :

- I : Arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)
- R : Tahanan pada penghantar (Ohm/km)
- X : Reaktansi pada penghantar (Ohm/km)
- cos φ : Faktor daya beban
- L : Panjang penghantar (km)

2. Rugi-Rugi Pada Sambungan Tidak Baik

Rugi-Rugi ini terjadi karena di sepanjang jaringan tegangan rendah terdapat beberapa sambungan, antara lain :

- a. Sambungan saluran jaringan tegangan rendah dengan kabel NYFGBY.
- b. Percabangan saluran jaringan tegangan rendah.
- c. Percabangan untuk sambungan pelayanan.