

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daya Satu Phasa dan Tiga Phasa

Berkaitan tentang daya, Mismail (1981) menyatakan “apabila resistansi dan reaktansi keduanya ada pada rangkaian, maka daya dapat didisipasikan pada komponen resistif. Apabila dalam suatu rangkaian hanya terdapat komponen reaktif saja, maka pada rangkaian tidak ada daya yang didisipasikan atau daya adalah nol. Jadi apabila arus dan tegangan berbeda fasa 90° maka tidak ada daya yang didisipasikan”.

Pada rangkaian satu phasa, besarnya daya yang didisipasikan adalah hasil perkalian dari arus efektif pada rangkaian dan tegangan efektif pada resistansi.

Jadi daya disipasi pada rangkaian satu phasa adalah:

$$\begin{aligned} \text{Daya (P)} &= V \times I \\ &= I \times R \times I \dots\dots\dots (2.1) \\ &= I^2 \times R \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai tegangan pada resistansi adalah $V \cos \theta$, sehingga nilai daya satu phasa

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (2.2)$$

Cara umum untuk mendapatkan daya tiga phasa pada beban hubungan Y atau Δ adalah tiga kali daya satu phasa atau bisa ditulis:

$$P = 3P = 3 V \cdot I \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (2.3)$$

Dalam hal hubungan Y, nilai tegangan phasa (V_P) adalah $\frac{1}{\sqrt{3}}$ tegangan line to line (V_L) dan nilai arus phasa (I_P) sama dengan nilai arus line to line (I_L). Jadi $V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ dan $I_P = I_L$, maka nilai daya tiga phasa adalah $P = 3 \cdot \frac{V_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L \cdot \cos \theta$ atau $P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta$

Dalam hubungan Δ , nilai tegangan phasa (V_P) adalah sama dengan tegangan line to line (V_L) dan nilai arus phasa (I_P) adalah $\frac{1}{\sqrt{3}}$ nilai arus line to line (I_L). Jadi $V_P = V_L$ dan $I_P = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$, maka nilai daya tiga phasa adalah $P = 3 \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cdot V_L \cdot \cos \theta$ atau $P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta$

Jadi untuk setiap keadaan (hubungan Y atau Δ), persamaan daya tiga phasa menjadi:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (2.4)$$

2.2 Faktor Daya

Istilah $\cos \theta$ dikenal sebagai faktor daya rangkaian dan VI dikenal sebagai daya semu atau Volt Ampere. Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dengan daya kompleks. Faktor daya ($\cos \theta$) bisa juga ditulis dengan notasi pf (power factor).

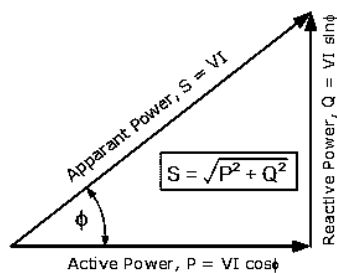
$$pf = \frac{p}{VI} = \frac{\text{Daya nyata (W)}}{\text{Daya Semu (VA)}} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Faktor daya merupakan suatu permasalahan yang sangat penting dalam pandangan sistem distribusi tenaga listrik, sebab suplai listrik (Volt Ampere/VA) yang menunjukkan energi secara nyata (Watt) dipengaruhi oleh tinggi rendahnya faktor daya (pf). Faktor daya ini diperlukan setinggi mungkin, sebab arus suplai pada beban industri dan beban-beban dengan daya besar, akan mendisipasikan energi pada kabel suplai cukup besar.

Beban dengan faktor daya yang rendah, akan menarik arus yang besar dan energi yang tidak berharga (kVAR) pada kabel suplai besar. Sehingga beban yang mempunyai faktor daya yang rendah akan menurunkan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik. Oleh karena itu untuk beban industri dan pelanggan-pelanggan dengan daya besar, faktor daya yang rendah akan sangat mempengaruhi sistem distribusi tenaga listrik (Mismail, 1981).

2.3 Segitiga daya

Segitiga daya adalah suatu metoda yang mudah untuk mengingat hubungan antara daya nyata (Watt) dan daya kompleks (VA) dan juga memperkenalkan daya reaktif (VAR), yang merupakan sisi ketiga dari segitiga daya.



Gambar 2. 1 Segitiga Daya
Sumber: Mismail, B (1981)

Daya reaktif kadang-kadang disebut juga dengan *komponen tidak berwatt*, yang dihasilkan oleh tegangan dan arus dalam perbedaan fasa 90° , komponen ini tidak membawa daya ke beban, tetapi arus yang mensuplai komponen ini tetap diperlukan untuk pembangkitan pusat listrik (sumber) dan mengalir melalui kabel suplai, menyebabkan

penurunan tegangan dan kerugian energi (Mismail, 1981). Daya reaktif ini merupakan faktor penting pada pembangkitan, distribusi dan pemakaian daya listrik.

Simbol dan satuan yang digunakan untuk besaran segitiga daya adalah sebagai berikut:

Daya kompleks	= S volt ampere (VA)
Daya nyata	= P watt (W)
Daya reaktif	= Q volt ampere reaktif (VAR)

Berdasarkan teori trigonometri tentang hubungan sudut dalam segitiga.

$\cos \theta = \frac{\text{sisi samping}}{\text{sisi miring}} = \frac{P}{V.I}$, maka persamaan daya nyata adalah:

$$P = V.I.\cos\theta \dots\dots\dots (2.6)$$

$\sin \theta = \frac{\text{sisi depan}}{\text{sisi miring}} = \frac{Q}{V.I}$, maka persamaan daya reaktif adalah:

$$Q = V.I.\sin\theta \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan memakai teori Pythagoras untuk segitiga daya diperoleh:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ atau}$$

$$VI = \sqrt{(V.I.\cos\theta)^2 + (V.I.\sin\theta)^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.4 KWh Meter

Alat kWh meter adalah alat penghitung pemakaian energi listrik yang dipakai konsumen. Secara garis besar ada dua jenis kWh meter, yaitu analog dan digital. Alat kWh meter analog atau pascabayar bekerja menggunakan metode induksi medan magnet dimana medan magnet tersebut menggerakkan piringan yang terbuat dari aluminium yang dikopel dengan *digit counter*. Alat kWh meter digital bekerja berdasarkan prinsip elektronik, dimana arus dan tegangan akan diproses secara digital oleh rangkaian elektrik di dalamnya. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

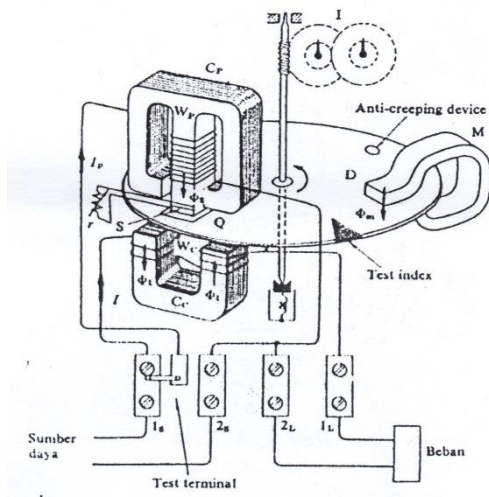
$$W = V.I.\cos\phi.t \dots\dots\dots (2.9)$$

Alat kWh meter satu phasa mengukur konsumsi energi dengan memastikan pengaruh torsi aksi dalam piringan putar pada poros sebanding dengan daya efektif. Jika pengaruh torsi diasumsikan tidak dipengaruhi oleh kecepatan sudut oleh piringan dan pengereman torsi sebanding dengan kecepatan sudut yang dioperasikan oleh simultan, kondisi mantap kecepatan sudut akan sebanding dengan daya efektif, dan sehingga putaran piringan akan mengindikasikan konsumsi energi (Sapiie, 1982).

Piringan ditempatkan pada celah lintasan magnet yang sesuai pada garis gaya magnet dibentuk oleh dua kumparan, dimana salah satu kumparan terhubung parallel serta yang lainnya terhubung seri dengan konsumen untuk diukur pemakaian dayanya. Pengaruh torsi disebabkan oleh interaksi antara medan celah dan arus eddy yang diinduksikan oleh kumparan pada piringan kWh meter (Bardi & Biro, 1986).

2.4.1 Prinsip Dasar kWh Meter

Prinsip kerja kWh meter berdasarkan bekerjanya induksi magnetis oleh medan magnet yang dibangkitkan oleh arus yang melalui kumparan arus terhadap disk (piringan putar) kWh meter, dimana induksi magnetis ini berpotongan dengan induksi magnetis yang dibangkitkan oleh arus yang melalui kumparan tegangan terhadap disk yang sama (Sapiie, 1982). Gambar 2.2 memperlihatkan skema dari kWh meter satu fasa dan gambar 2.3 memperlihatkan aliran arus edy pada suatu piringan.



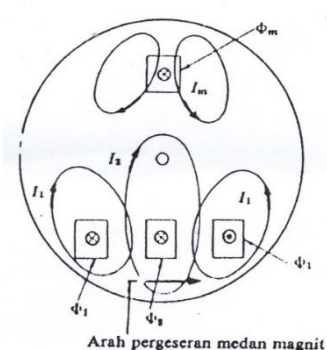
Gambar 2. 2 Kontruksi Alat Ukur Listrik Elektromekanik
Sumber: Sapiie, S (1982; 72)

Keterangan gambar:

- Cp : Inti besi kumparan tegangan
- Cc : Inti besi kumparan arus
- Wp : Kumparan tegangan
- Wc : Kumparan arus
- Ip : Arus yang mengalir pada kumparan tegangan
- Ii : Arus yang mengalir pada kumparan arus
- Φ_p : Medan magnet pada kumparan tegangan

Φ_i : Medan magnet pada kumparan arus

M : Magnet permanent



Gambar 2. 3 Aliran arus edy pada piringan

Sumber: Sapiie, S (1982; 72)

Dari gambar 2.2 dan 2.3 didapat bahwa kumparan tegangan (W_p) yang dililit pada inti besi (C_p) mengalir arus I_p , sehingga pada inti (C_p) akan timbul medan magnet Φ_p dengan arah keatas atau dot. Dari dua buah kumparan arus (W_c) yang diseri dililitkan pada inti besi (C_c), mengalir arus I sehingga akan timbul dua buah magnet (Φ_i) dengan arah kebawah atau silang (untuk sebelah kiri) dan keatas atau dot (untuk sebelah kanan) (Sapiie, 1982).

Kopel diputar dapat dibangkitkan terhadap piringan putar karena induksi magnetis kedua medan magnet tersebut (Φ_p) dan (Φ_i) bergeser fasa sebesar 90° satu terhadap lainnya. Dari kopel putar tersebut akan menyebabkan putaran yang arahnya berlawanan dengan arah jarum jam (Sapiie, 1982).

Untuk mengatur kecepatan putar dari piringan digunakan magnet permanen. Apabila diinginkan arah putaran piringan dibalik (searah jarum jam), maka bias dilakukan dengan cara membalik salah satu kumparan (kumparan tegangan (W_p) atau kumparan arus (W_c)) (Sapiie, 1982).

Energi listrik yang diukur disini adalah energi listrik AC yang didistribusikan oleh PLN dengan frekuensi 50 Hz.

2.5 Kesalahan-kesalahan dan Cara Kompensasinya

2.5.1 Penyesuaian fasa

Dengan membuat fasa Φ_2 tertinggal 90° terhadap tegangan V maka pada kepingan akan diberikan suatu momen yang berbanding lurus terhadap daya beban. Akan tetapi pada kenyataannya sudut fasanya ini selalu lebih kecil daripada 90° , yang disebabkan oleh adanya

tahanan-tahanan dan rugi-rugi besi pada inti kumparan tegangan W_p . Untuk mengkompensasikan hal ini maka ditempatkan sebuah penyesuai fasa pada kumparan tersebut, yaitu dengan melilitkan kumparan khusus dengan beberapa lilitan melalui kumparan tegangan dan menghubungkannya dengan sebuah tahanan R (Sapiie, 1982).

2.5.2 Penyesuaian pada Beban-Beban Berat

Momen-momen yang disebabkan oleh putaran piringan akan bekerja berlawanan arah sehingga menyebabkan perlambatan sehingga suatu kesalahan negative akan bertambah dengan bertambahnya \emptyset_1 dan/atau \emptyset_2 . Untuk mengurangi kesalahan ini maka \emptyset_1 dibuat kecil dan \emptyset_2 dibuat besar sedangkan perputaran n kecil. Disamping itu suatu shunt magnetis ditempatkan dalam inti kumparan-kumparan arus (Sapiie, 1982).

2.5.3 Penyesuaian pada Beban-Beban Ringan

Dengan perputaran piringan maka momen-momen gesekan mekanis akan terjadi dan juga akan menyebabkan kesalahan-kesalahan negatif. Kesalahan ini akan lebih penting pada beban-beban ringan yaitu bila arus beban kecil. Untuk mengkonkompensasi kesalahan ini, penyesuaian pada beban ringan yang berupa suatu cincin tembaga yang pendek ditempatkan diantara kumparan tegangan dan kepingan dalam posisi yang agak miring pada arah perputaran. Hal ini akan menyebabkan terjadi seakan-akan kutub-kutub magnet dari inti kumparan tegangan bergeser dan menghasilkan suatu momen dalam arah perputaran piringan. Jadi dengan mengatur posisi cincin ini akan meniadakan pengaruh momen gesekan (Sapiie, 1982).

2.5.4 Menghindari Putaran pada Beban Nol

Bila suatu penyesuaian ringan ditempatkan maka terdapat kemungkinan piringan akan berputar meskipun tidak ada beban, yaitu jika hanya kumparan-kumparan tegangan yang mendapat energi. Hal ini dinamakan perputaran pada beban kosong. Suatu cara untuk menghindarkan hal ini adalah dengan membuat suatu lubang kecil pada piringan aluminium (anti creeping device) seperti pada gambar 2.2. Bila lubang ini sampai dibawah inti kumparan tegangan maka aliran arus-arus putar pada piringan akan mengalami gangguan sehingga momen pada beban ringan dikurangi dan menyebabkan piringan berhenti pada posisi tersebut (Sapiie, 1982).

2.5.5 Memeriksa Putaran Piringan KWh Meter

Sarimun (2011) menyatakan bahwa "Pendapatan pengelola listrik didasarkan pengukuran energi melalui kWh meter yang terpasang di pelanggan. Keakuratan dari kWh

meter baik sebelum dan sesudah terpasang harus diuji terlebih dahulu, agar putaran kWh meter yang terpasang sesuai dengan pemakaian energi”. Penjelasan mengenai cara menguji kWh meter didasarkan pada persamaan berikut.

$$\text{Eror kWh} = \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

P1 = nilai daya terukur berdasarkan persamaan 2.2 (Watt)

$$P_2 = \frac{N \times 3600 \times 1000}{C \times t} \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

N = Jumlah putaran kWh meter yang diukur

3600 = Nilai pengali akibat konversi dari jam ke detik

1000 = Nilai pengali akibat konversi dari kiloWatt ke Watt

C = Konstanta kWh meter (putaran/kWh)

t = Waktu putaran piringan kWh meter (detik)

2.6 Penentuan Tarif Dasar Listrik

Energi listrik secara ekonomi layak dan wajar jika dibandingkan dengan parameter pembanding mempunyai nilai ekonomis, sehingga dimisalkan pembandingnya dipakai minyak bumi maka nilai rupiah dari pemakaian listrik lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai rupiah dengan minyak bumi, didalam penentuan tarif listrik yang harus dibayar oleh konsumen pihak PLN membuat suatu rumusan yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut (Peraturan Menteri ESDM, 2016):

$$A = B + ((C - D)E) + F \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

A = Jumlah Rupiah yang harus dibayar oleh pelanggan

B = Biaya Beban (Rp/kWh)

C = Pembacaan Akhir Stand meter (kWh)

D = Pembacaan Awal Stand meter (kWh)

E = Biaya pemakaian energi sesuai dengan TDL (Rp/kWh)

F = Pajak Penerangan Jalan (PPJ)

Catatan:

$$1. \text{PPJ} = (7\% \times (\text{Biaya beban} + \text{Biaya pemakaian})) \dots\dots\dots (2.13)$$

$$2. \text{Biaya beban diterapkan rekening minimum} = 40 \text{ (jam nyala)} \times \text{Daya Tersambung (kVA)} \\ \times \text{Biaya Pemakaian} \dots\dots\dots (2.14)$$

2.7 Karakteristik Beban Tenaga Listrik

Pelayanan beban oleh sistem distribusi elektrik ini dibagi dalam beberapa sektor yaitu sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial dan sektor usaha. Setiap sektor beban tersebut mempunyai karakteristik-karakteristik yang berbeda, karena berhubungan dengan pola konsumsi energi pada setiap konsumen di sektor tersebut. Karakteristik beban atau pola pembebanan pada sektor perumahan ditunjukkan oleh adanya fluktuasi konsumsi energi elektrik yang cukup besar. Hal ini disebabkan konsumsi energi elektrik tersebut dominan pada malam hari. Sedang pada sektor industri fluktuasi konsumsi energi sepanjang hari akan hampir sama, sehingga perbandingan beban puncak terhadap beban rata-rata hampir mendekati satu. Beban pada sektor komersial dan usaha mempunyai karakteristik yang hampir sama, hanya pada sektor komersial akan mempunyai beban puncak yang lebih tinggi pada malam hari.

2.7.1 Klasifikasi Beban

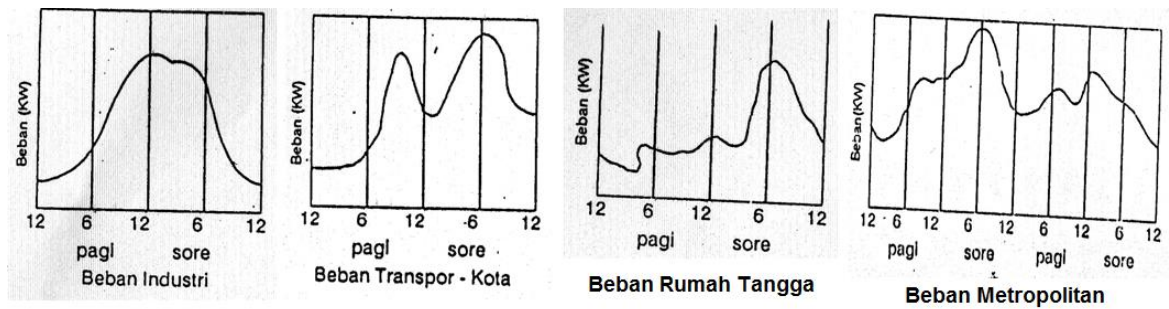
Berdasarkan jenis konsumen energi listrik, Suswanto (2009, 185) mengklasifikasikan beban sebagai berikut.

1. Beban rumah tangga, pada umumnya beban rumah tangga berupa lampu untuk penerangan, alat rumah tangga, seperti kipas angin, pemanas air, lemari es, penyejuk udara, mixer, oven, motor pompa air dan sebagainya. Beban rumah tangga biasanya memuncak pada malam hari.
2. Beban komersial, pada umumnya terdiri atas penerangan untuk reklame, kipas angin, penyejuk udara dan alat – alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran. Beban hotel juga diklasifikasikan sebagai beban komersial (bisnis) begitu juga perkantoran. Beban ini secara drastis naik di siang hari untuk beban perkantoran dan pertokoan dan menurun di waktu sore.
3. Beban industri dibedakan dalam skala kecil dan skala besar. Untuk skala kecil banyak beroperasi di siang hari sedangkan industri besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai 24 jam.
4. Beban fasilitas umum.

2.7.2 Kurva Beban

Kurva beban menggambarkan variasi perbebanan terhadap suatu gardu yang diukur dengan KW, Ampere atau KVA Sebagai fungsi dari waktu. Interval waktu pengukuran biasanya ditentukan berdasarkan pada penggunaan hasil pengukuran, misal: interval waktu

30 menit atau 60 menit sangat berguna dalam penentuan kapasitas rangkaian. Biasanya beban diukur untuk interval waktu 15 menit, 30 menit, satu hari atau 1 minggu. Kurva Beban



menunjukkan permintaan (demand) atau kebutuhan tenaga pada interval waktu yang berlain-lainan. Dengan bantuan kurva beban kita dapat menentukan besaran dari beban-terbesar dan selanjutnya kapasitas pembangkit dapat ditentukan juga (Suswanto, 2009). Berikut adalah kurva dari beberapa jenis beban:

Gambar 2. 4 Kurva berbagai jenis beban

Sumber: Suswanto, D (2009; 198 – 199)

