

BAB II

LANDASAN TEORI

2. 1 Tinjauan Hukum Pemakaian Arus Listrik Ilegal

Penertiban Pemakaian Tenaga Listrik adalah singkatan dari (P2TL), yang merupakan salah satu program kerja PT PLN untuk mengurangi susut atau kehilangan tenaga listrik. Susut dibedakan menjadi dua, yaitu:

a. Susut teknis

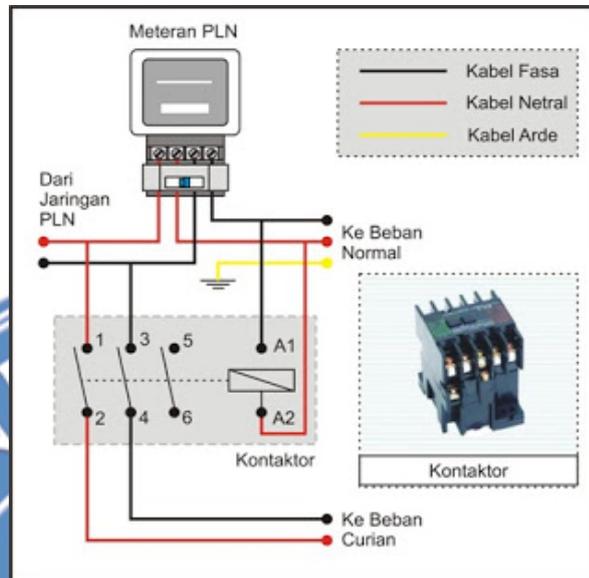
Susut teknis adalah susut yang disebabkan oleh hal-hal yang bersifat teknis, seperti jarak pelanggan atau panjang kabel, luas penampang kabel dan besarnya beban pelanggan.

b. Susut non teknis

Susut non teknis adalah susut yang disebabkan oleh pencurian tenaga listrik. (P2TL) merupakan bagian dari upaya mengurangi susut non teknis.

Pemeriksaan ini meliputi pemeriksaan kabel SR (Sambungan Rumah) yang merupakan kabel tegangan rendah (220 Volt) utama penghubung dari tiang listrik ke rumah pelanggan. Pemasangan kabel SR dikatakan sesuai standar apabila seluruh kabel terlihat/terpampang di luar rumah. Apabila pemasangan kabel SR sesuai standar, maka proses pemeriksaan dilanjutkan ke parameter lainnya. Apabila terdapat sebagian kabel SR yang tidak terpampang atau masuk ke dalam atap, plafon ataupun dinding rumah maka perlu diteliti lebih lanjut, karena dikhawatirkan pada bagian kabel SR yang tersembunyi tersebut terdapat joint (sambungan) dengan kabel lain yang langsung terhubung ke instalasi listrik

bangunan tanpa melalui KWH Meter dan MCB, sehingga pemakaian listrik oleh pelanggan tersebut tidak terukur, lihat gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Pencurian Arus

2.2 Alat Pembatas Pemakaian Arus

Satuan arus ialah Ampere, sedangkan satuan daya ialah VA. Oleh karena itu, pembatas arus listrik menggunakan satuan Ampere. Penggunaan pembatas disebut sebagai penentuan demand (kebutuhan) pengguna. Besar arus trip pelebur atau pemutus yang digunakan sebagai pembatas maksimum ditetapkan sebesar 10% di atas arus nominal beban yang dilindungi. Pembatas arus sebagai salah satu interface antara PLN dengan pelanggan, bila pelanggan memakai arus melebihi batas yang telah ditetapkan, maka pembatas akan bekerja. Salah satu pembatas arus yang selalu digunakan adalah MCB (*Miniature Circuit Breaker*). Dari sudut pandang pelanggan kejadian ini berarti berkurangnya keandalan suplai tenaga listrik.

Jenis-jenis alat pembatas yang paling banyak digunakan adalah jenis termis dan elektromagnet. Beberapa jenis pembatas tersebut terdiri dari pembatas

satu kutub, dua kutub dan tiga kutub. Berikut ini adalah beberapa alat pengaman arus listrik yang juga digunakan untuk penghubung dan pemutus. Meskipun masih ada lagi selain yang disebutkan. Pengaman listrik yang banyak digunakan sebagai pengaman arus listrik antara lain: MCB, MCCB dan NFB.

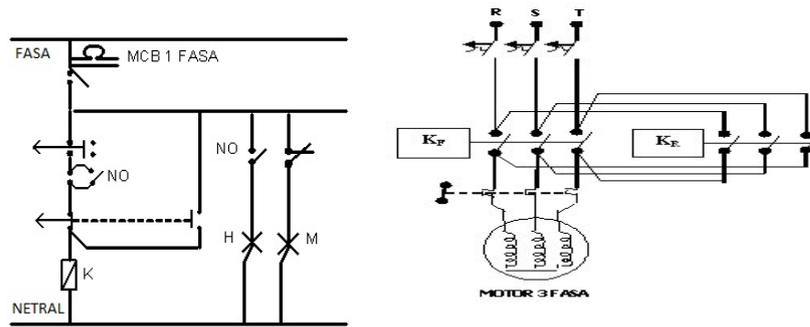
1. MCB (Miniatur Circuit Breaker)

MCB merupakan suatu alat yang digunakan untuk pengaman dari arus hubung singkat dan juga sebagai pembatas arus. Untuk pengamanan dari hubung singkat MCB didesain dengan komponen relay elektromagnetik sedangkan untuk mengamankan dari beban lebih MCB dilengkapi dengan komponen termis (bimetal), atau dapat juga berfungsi sebagai pembatas arus.

- Prinsip Kerja MCB (*Miniatur Circuit Breaker*)

Prinsip kerjanya adalah memanfaatkan arus hubung singkat yang cukup besar yang memicu koil bersifat magnet. Semakin besar arus hubung singkat, maka semakin besar pula daya untuk menggerakkan sakelar tersebut sehingga lebih cepat memutuskan rangkaian listrik.

MCB merupakan saklar atau perangkat elektromekanis yang berfungsi sebagai pelindung rangkaian instalasi listrik dari arus lebih (*over current*). MCB dirancang dengan 1 kutub digunakan untuk 1 fasa dan 3 kutub untuk 3 fasa dimana pemakaiannya tergantung kebutuhan. Pada terminalnya hanya di pasang untuk kabel dengan polaritas fasa (yang menyala jika dites dengan tespen), bukan pada kawat netral (polaritas nol/tidak menyala), lihat gambar 2.2.



Gambar 2.2 MCB 1 fasa dan MCB 3 fasa

2. MCCB (Mold Case Circuit Breaker)

MCCB merupakan salah satu alat pengaman yang dalam proses operasinya mempunyai dua fungsi yaitu sebagai pengaman dan sebagai alat untuk penghubung. Jika dilihat dari segi pengaman, maka MCCB dapat berfungsi sebagai pengaman gangguan arus hubung singkat dan arus beban lebih. Pada jenis tertentu pengaman ini, mempunyai kemampuan pemutusan yang dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan.

- Perbedaan MCB dan MCCB

MCB adalah pemutus sirkuit yang digunakan untuk beban listrik yang lebih kecil sementara MCCB adalah pemutus sirkuit yang digunakan untuk beban listrik yang lebih tinggi.

3. NFB (No Fuse Circuit Breaker)

NFB (*No Fuse Breake*) dalam bahasa Indonesia bisa diartikan sebagai pemutus tanpa sekering, berfungsi untuk menghubungkan dan memutus tegangan/arus utama dengan sirkuit atau beban, selain itu juga berfungsi untuk memutuskan/melindungi beban dari arus yang berlebihan ataupun jika terjadi hubung singkat.

No Fused Breaker adalah breaker/pemutus dengan sensor arus, apabila ada arus yang melewati peralatan tersebut melebihi kapasitas breaker, maka sistem magnetik dan bimetalic pada peralatan tersebut akan bekerja dan memerintahkan breaker melepas beban. *No Fuse Breaker* (NFB) merupakan alat pengaman hubungan singkat untuk motor listrik yang paling banyak digunakan di industri.

2.3 Pencegahan Pemakaian Arus Listrik Ilegal

Seringkali kita mendengar adanya kebakaran yang dipicu oleh listrik. Masalah utama dalam mempelajari kelistrikan adalah tidak terlihat dan tidak bisa diraba, bahkan tidak mau merabanya. Ditambah pemakaian arus ilegal dapat menjadi pemicu kebakaran tersebut. Salah satu aplikasi pencegahan pemakaian ilegal tersebut adalah ELCB. Sistem pencegahan pencurian listrik berbasis ELCB (*Earth Leakage Circuit Breaker*) dengan tujuan mengatasi pencurian listrik dengan cara yang umum yang digunakan oleh masyarakat yakni digantol/penyadapan (*bypass*) sebelum KWH Meter baik pada kasus 1 fasa maupun 3 fasa. Sistem kerjanya adalah menggunakan prinsip defferential yakni dengan mendeteksi perbedaan arus fasa dan arus netral. Pada saat terjadi bypass maka perangkat ini secara otomatis melakukan proteksi, sehingga PLN tidak kehilangan terlalu banyak daya listrik. Penelitian lanjutan diperlukan implementasi secara real akan efektivitas dan efisiensi sistem. Pada suatu daerah tertentu dapat diidentifikasi sebagai 3 hal, yakni :

- a. Kebocoran listrik
- b. Gangguan meter
- c. Hilang daya akibat pencurian listrik.

Aplikasi ini diasumsikan dapat membuat pelanggan tidak bisa melakukan pencurian arus karena meter listrik dapat dibaca secara langsung.

2.4 Prinsip Transformator Arus

Transformator adalah suatu alat untuk memindahkan daya listrik arus bolak-balik dari suatu rangkaian ke rangkaian lainnya secara induksi elektro magnetik atau kopeling magnetik pada frekuensi yang tetap. Transformator digunakan secara luas pada bidang tenaga listrik maupun elektronika.

Dalam bidang sistem tenaga transformator digunakan untuk penyesuaian tegangan, misalnya untuk menaikkan tegangan pada sistem transmisi dan kemudian menurunkan kembali tegangan pada sistem distribusi primer dan sekunder (tegangan yang digunakan pada umumnya konsumen). Dalam bidang elektronika transformator digunakan untuk:

- a. Penyesuaian impedansi antara sumber dan beban (matching impedance)
- b. Membalikkan fasa
- c. Memisahkan satu rangkaian dengan rangkaian yang lain dan untuk menahan arus searah dan tetap mengalirkan arus bolak balik.
- d. Alat bantu instrumentasi.

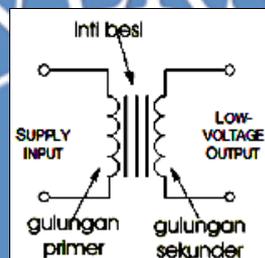
Dalam penulisan tugas akhir ini akan dibahas penggunaan transformator arus sebagai alat bantu pengukuran untuk mencegah pemakaian arus listrik ilegal.

Bagian-bagian terpenting dari transformer:

a. Inti besi.

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, yang berfungsi untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus pusar atau eddy current. Arus pusar yaitu arus yang terpusar pada satu titik yang biasanya terjadi pada seluruh mesin listrik

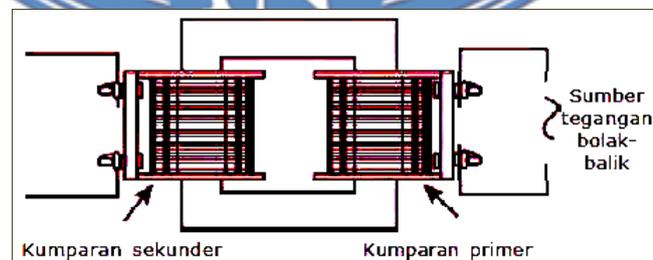
yang menggunakan kumparan dan inti besi seperti transformator, motor listrik dan generator. Arus pusar terjadi akibat dari induksi magnet yang menimbulkan fluksi. Fluksi pada inti besi menimbulkan tegangan induksi yang dapat menimbulkan arus (hukum Faraday). Untuk memperkecil arus pusar, maka inti transformator menggunakan inti besi yang berlapis-lapis (lamel-lamel) dimana setiap lamel diberi isolasi sehingga mempunyai resistansi yang tinggi. Arus pusar ini arus pusar akan menimbulkan panas.



Gambar 2.3 Inti Besi

b. Kumparan transformator.

Kumparan adalah sebuah gulungan kawat berisolasi yang dialiri arus listrik atau suatu gulungan kawat pada suatu inti. Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun antar belitan pada kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain.



Gambar 2.4 Kumparan Transformator

2.4.1 Prinsip Kerja Transformator

Umumnya pada transformator terdapat kumparan primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/ arus bolak-balik maka arus pada belitan primer tersebut menimbulkan fluksi (medan magnet). Fluksi sisi primer ini akan menimbulkan tegangan induksi pada kumparan sekunder. Bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiannya berbeban) maka akan mengalir arus pada kumparan ini. Jadi kedua kumparan berfungsi sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

Apabila kumparan primer di hubungkan dengan tegangan(sumber) maka akan mengalir arus bolak-balik I_p pada kumparan tersebut. Oleh karena kumparan mempunyai inti, arus I_1 menimbulkan fluks magnet yang juga berubah-ubah pada intinya. Akibat adanya fluks magnet yang berubah-ubah, pada kumparan primer sesuai dengan hukum Faraday, maka akan timbul GGL induksi pada sisi sekunder e_p . Besarnya GGL induksi pada kumparan primer adalah :

$$e_p = -N_p \frac{d\phi}{dt} \text{ volt} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

E_p : GGL induksi pada kumpara primer

N_p : Jumlah lilitan kumparan primer

$d\phi$: Perubahan garis-garis gaya magnet dalam satuan weber (1 weber = 10^8 maxwell).

dt : Perubahan waktu dalam satuan detik.

Fluks magnet yang menginduksi GGL induksi e_p juga dialami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluksi bersama (mutual fluks) dengan demikian fluksi tersebut menginduksi GGL induksi e_s pada kumparan skunder.

Besarnya GGL induksi pada kumparan sekunder adalah:

$$e_s = -N_s \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

N_s : jumlah lilitan kumparan sekunder.

Dari persamaan (1) dan (2) didapatkan perbandingan lilitan berdasarkan perbandingan GGL induksi yaitu:

$$a = \frac{e_p}{e_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

a : Faktor transformator (*turn ratio*).

Apabila $a < 1$, maka transformator berfungsi sebagai menaikan tegangan (*step up transformer*) $a > 1$, maka transformator berfungsi sebagai penurun tegangan (*step down transformer*).

Fluks pada saat t dinyatakan dengan pernyataan $\phi(t) = \phi_m \sin \omega t$, (dimana ϕ_{mak} adalah harga fluks maksimum dalam satuan weber) sehingga GGL induksi pada kumparan primer adalah:

$$e_p = -N_p \frac{d\phi}{dt}$$

$$e_p = -N_p \frac{d\phi_m \sin \omega t}{dt}$$

$$e_p = -N_p \omega \phi_m \cos \omega t$$

$$e_p = N \omega \phi_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \dots\dots\dots(4)$$

Dari persamaan (4) dapat di buktikan bahwa, fluks magnet fungsi sinus akan menimbulkan GGL induksi fungsi sinus. GGL induksi akan ketinggalan 90^0 terhadap fluks magnet. GGL induksi kumparan primer maksimum adalah

$e_{pm} = N_p \omega \emptyset_m$ dan besarnya tegangan efektif (E_p) dapat dihitung dengan persamaannya.

$$e_p = \frac{(E_p)_{maks}}{\sqrt{2}}$$

$$e_p = \frac{N_p \omega \emptyset_m}{\sqrt{2}}$$

$$e_p = \frac{2\pi f \cdot N_p \emptyset_m \cdot \sqrt{2}}{2}$$

$$e_p = 3,14 \cdot 1,41 f N_p \emptyset_m$$

$$e_p = 4,44 \cdot f \cdot N_p \emptyset_m \dots\dots\dots(5)$$

Dengan cara yang sama, didapatkan

$$e_s = 4,44 \cdot f \cdot N_s \emptyset_m \dots\dots\dots(6)$$

Apabila transformator dianggap ideal, sehingga dianggap tidak terdapat kerugian-kerugian daya, maka daya input pada primer (P_p) dapat sama dengan daya output pada sekunder (P_s) maka.

$$V_p I_p = V_s I_s$$

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{V_s}{V_p} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

V : Tegangan (Volt)

I : Arus (Amper)

Dari persamaan 3 dan 7 didapatkan, untuk transformator ideal berlaku

$$a = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \dots\dots\dots(8)$$

2.4.2 Transformator Arus

Dalam prakteknya tidaklah aman untuk menghubungkan instrumen, alat ukur atau peralatan kendali secara langsung pada rangkaian tegangan tinggi dan juga tidak mungkin mengukur arus yang sangat besar karena keterbatasan fisik dari alat ukur, misalnya faktor belitan kawat (seri ataupun paralel) yang ada dalam alat ukur. Transformator instrumentasi umumnya digunakan untuk menurunkan tegangan tinggi atau arus hingga nilai yang aman dan dapat digunakan untuk kerja peralatan. Transformator instrumentasi melakukan dua fungsi yaitu:

- * Berlaku sebagai alat perbandingan (*ratio device*) yang memungkinkan digunakannya alat ukur dan instrument tegangan rendah dan arus rendah.
- * Berlaku sebagai alat pemisah (*insulating device*) untuk melindungi peralatan dan operator dari tegangan tinggi

Ada dua macam transformator instrumentasi yang digunakan yaitu:

1. Transformator tegangan (*Potential Transformer = PT*)
2. Transformator arus (*Current Transformer = CT*)

Current transformer (CT) atau Transformator Arus adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa transformator yang digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya hingga ratusan amper dan arus yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Di samping untuk pengukuran arus, transformator arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh, dan rele proteksi. Selain untuk memperkecil arus, transformator arus ada yang dirancang khusus untuk memperbesar arus sehingga dapat terdeteksi oleh alat ukur yang mempunyai range arus yang besar, misalnya wattmeter di laboratorium mempunyai range arus 5 A dan 25 A sehingga untuk pengukuran daya yang kecil

hasil pembacaan yang diperoleh kurang teliti. Cara menghubungkan transformator tegangan (PT) berbeda dengan pemasangan transformator arus (CT). Sisi primer transformator tegangan dihubungkan secara paralel dengan sumber tegangan dan, sisi sekunder dihubungkan dengan alat ukur seperti voltmeter atau alat instrumentasi, sedangkan pada transformator arus, sisi primer dihubungkan seri dengan rangkaian atau jaringan yang akan diukur arusnya dan kumparan sekunder dihubungkan dengan alat ukur arus (amperemeter) atau dengan alat instrumentasi.



a. Pemasangan transformator tegangan

Pemasangan transformator arus

Gambar 2.5: Pemasangan transformator instrumentasi

Arus yang melalui belitan primer tergantung pada arus beban bukan pada arus pada sisi sekunder dari transformator arus. Bila ratio transformator $N_1/N_2 = a$ diketahui, maka arus beban I_1 dapat dihitung, yaitu:

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} \times I_2$$

Dengan mengetahui pembacaan arus pada amperemeter dan ratio transformator, maka arus I_1 dapat dihitung. Contoh ratio transformator arus adalah 100/5, yang berarti bila arus pada pembacaan amperemeter sebesar 5 A, maka arus sebenarnya adalah 100 A. Dengan menggunakan transformator arus maka arus beban yang sangat besar dapat diukur hanya dengan menggunakan alat ukur amperemeter yang tidak terlalu besar. Jenis transformator arus:

- a. Transformator arus dengan dua belitan terpisah (primer dan sekunder), biasa digunakan sebagai alat bantu pengukuran di laboratorium, berupa step up atau pun step down arus
- b. Transformatur arus belitan tunggal (auto transformator arus)
- c. Transformator arus tanpa belitan primer, biasa digunakan untuk pengukuran arus yang besar.

2.5 KWH Meter

KWH Meter adalah alat penghitung pemakaian energi listrik. Alat ini bekerja menggunakan metode Induksi Medan magnet dimana Medan magnet tersebut menggerakkan piringan yang terbuat dari Alumunium. Pada kwh meter tipe piringan terdapat koil yang akan menghasilkan fluks magnet searah dengan mengambil arus dan tegangan dari pada meteran listrik tersebut. Dengan terpasangnya koil pada meteran listrik jnis piringan, maka piringan aluminium akan mendapatkan arus Eddy. Pengukur Watt atau Kwatt, yang pada umumnya disebut Watt-Meter/Kwatt meter disusun sedemikian rupa, sehingga kumparan tegangan dapat berputar dengan bebasnya, dengan jalan demikian tenaga listrik dapat diukur, baik dalam satuan WH (watt hours) ataupun dalam KWH (kilowatt Hour). Pemakaian energi listrik di industri maupun rumah tangga menggunakan satuan kilowatt-hour (KWH), dimana 1 KWH sama dengan 3.6 MJ. Karena itulah alat yang digunakan untuk mengukur energi pada industri dan rumah tangga dikenal dengan Watt Hour Meter. Besar tagihan listrik biasanya berdasarkan pada angka-angka yang tertera pada KWH Meter setiap bulannya Untuk saat ini KWH Meter induksi adalah satu-satunya tipe yang digunakan pada perhitungan daya listrik rumah tangga.

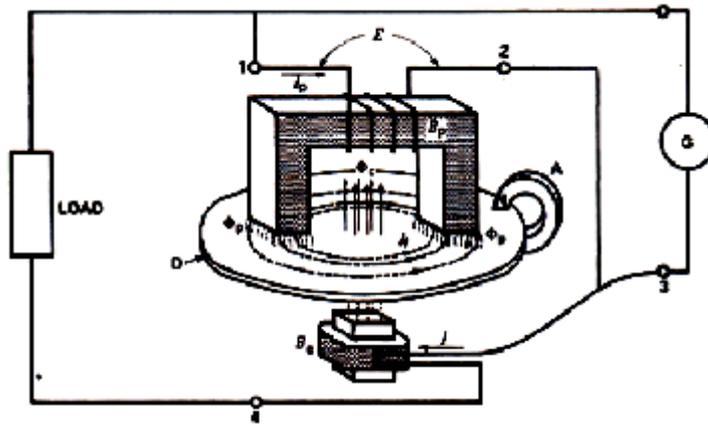


Gambar 2.6. KWH Meter Analog

Bagian-bagian utama dari sebuah KWH Meter adalah kumparan tegangan, kumparan arus, sebuah piringan aluminium, sebuah magnet tetap, dan sebuah gear mekanik yang mencatat banyaknya putaran piringan. Jika meter dihubungkan ke daya satu fasa, maka piringan mendapat torsi yang membuatnya berputar seperti motor dengan tingkat kepresisian yang tinggi. Semakin besar daya yang terpakai, mengakibatkan kecepatan piringan semakin besar, demikian pula sebaliknya.

2.5.1 Prinsip Kerja KWH Meter

Berikut diberikan gambar KWH Meter Analog beserta gambar prinsip kerja dari KWH Meter tersebut apabila ditinjau dari segi fisika. Dari gambar 2.7 di bawah dapat dijelaskan bahwa arus beban I menghasilkan fluks bolak-balik ϕ_c , yang melewati piringan aluminium dan menginduksinya, sehingga menimbulkan tegangan dan eddy current. Kumparan tegangan B_p juga menghasilkan fluks bolak-balik ϕ_p yang memintas arus I_f . Karena itu piringan mendapat gaya, dan resultan dari torsi membuat piringan berputar.



Gambar 2.7 Prinsip Dasar KWH Meter

Torsi ini sebanding dengan fluks ϕ_P dan arus I_F serta harga cosinus dari sudut antaranya. Karena ϕ_P dan I_F sebanding dengan tegangan V dan arus beban I , maka torsi motor sebanding dengan $V I \cos \theta$, yaitu daya aktif yang diberikan ke beban. Karena itu kecepatan putaran piringan sebanding dengan daya aktif yang terpakai. Semakin besar daya yang terpakai, kecepatan piringan semakin besar, demikian pula sebaliknya. Secara umum perhitungan untuk daya listrik dapat di bedakan menjadi tiga macam, yaitu :

- a. Daya kompleks $S = V.I$ (VA)
- b. Daya reaktif $Q = V.I \sin \phi$ (VAR)
- c. Daya aktif $P = V.I \cos \phi$ (Watt)(35)

Dari ketiga daya diatas, yang terukur pada KWHmeter adalah daya aktif, yang dinyatakan dengan satuan Watt

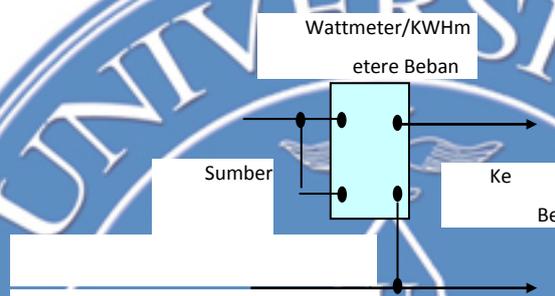
2.6 Penggunaan Transformator Arus sebagai alat bantu pengukuran

Pada sistem pengukuran energi listrik AC satu phasa diperlukan alat ukur energi listrik yaitu KWH (Kilo Watt Hour) meter elektromekanik atau KWH

Meter digital satu fasa. Konstruksi KWH Meter elektromekanik terdiri dari kumparan arus kumparan tegangan, piringan aluminium yang dapat berputar dan magnet permanent untuk pengereman. Sistem pengukuran dapat dilakukan :

a. Sistem pengukuran langsung

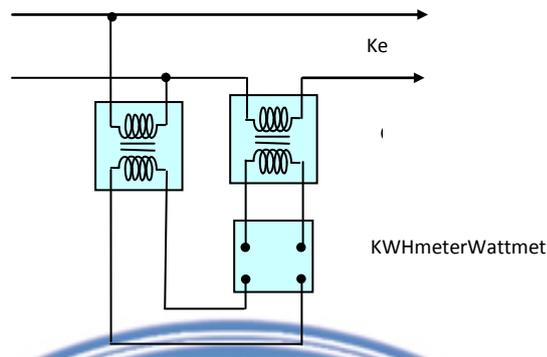
Sistem pengukuran langsung tanpa alat bantu ukur seperti transformator tegangan (PT) dan transformator arus (CT).



Gambar 2. 8 : Hubungan KWH Meter Satu Fasa pengukuran langsung

b. Sistem pengukuran tidak langsung

Sistem pengukuran tidak langsung digunakan untuk pengukuran daya besar dan tegangan tinggi dan dalam prakteknya KWH Meter dihubungkan melalui transformator tegangan (PT) dan transformator arus (CT) ke jala-jala dan beban yang akan diukur energi listriknya. Pemasangan alat ukur pada wattmeter, KWH Meter dan cosphimeter pada arus dan tegangan yang besar diperlukan transformator arus dan tegangan. Pemasangan alat ukur tersebut dapat dilihat seperti pada rangkaian berikut. Sebelum arus memasuki KWH Meter terlebih dahulu melalui transformator arus (CT) dan untuk tegangan melalui transformator tegangan (PT) sehingga arus dan tegangan yang masuk ke KWH Meter menjadi lebih kecil, lihat gambar 2.9



Gambar 2.9 Pemasangan CT dan PT pada KWH Meter

Pada umumnya pembacaan pada alat ukur yang dilengkapi dengan transformator tegangan (PT) dan transformator arus (CT), telah dikalibrasikan dengan memperhitungkan faktor pengali.

Pembacaan KWH Meter pada pengukuran tidak langsung adalah sbb:

- Pencatat primer, penunjukannya langsung sama dengan pada KWH Meter sambungan langsung, karena perbandingan transformator sudah diperhitungkan dalam perbandingan gigi penggerak.
- Pencatat semi primer, hasil pembacaan harus dikalikan dengan perbandingan transformator arus untuk mendapatkan harga sebenarnya.
- Pencatat sekunder, hasil pembacaan harus dikalikan dengan perbandingan transformator arus dan transformator tegangan.