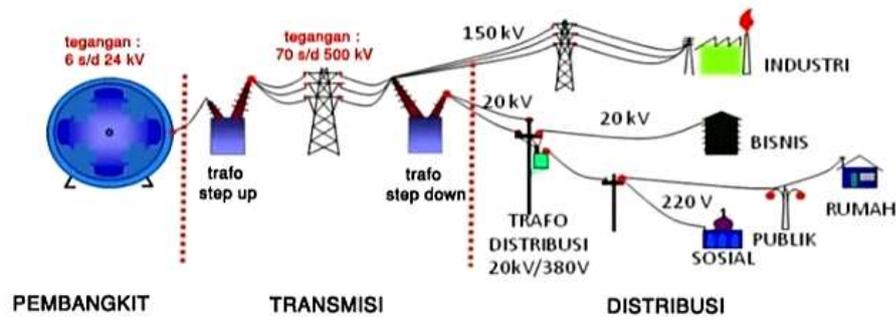


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Satu Tenaga Listrik Satu Fasa

Sistem jaringan listrik yang terpasang di Indonesia adalah jaringan listrik tiga fasa yang disalurkan oleh produsen listrik, dalam hal ini PLN, kekonsumen listrik yaitu rumah tangga dan industri. Secara umum sistem tenaga listrik terbagi ke dalam beberapa bagian yakni pembangkitan, penyaluran (transmisi) dan distribusi. Berikut bagan penyampaian listrik ke pelanggan.



Gambar 2.1 Penyaluran Listrik ke Pelanggan

Generator akan membangkitkan daya listrik yang akan disalurkan, Daya yang dibangkitkan adalah daya listrik tiga fasa. Pada sistem transmisi dibutuhkan daya yang besar, karena pada sistem transmisi ada kerugian daya yang disebabkan oleh faktor jarak. Karena itu, untuk mengurangi kerugian daya tersebut, tegangan akan dinaikkan menggunakan trafo step-up menjadi tegangan tinggi atau extra tinggi. Agar dapat digunakan oleh konsumen, sebelum didistribusikan, tegangan kembali diturunkan menjadi 380/220 V menggunakan trafo step-down. Daya yang diterima oleh konsumen adalah daya listrik arus bolak-balik tiga fasa. Untuk industri, daya yang digunakan adalah daya listrik tiga fasa, sedangkan untuk rumah tangga daya yang digunakan adalah daya listrik satu phasa.^[2]

[2] Lauw Lim Un Tung Henny Oltavia Electrical Engineering Dep PETRA Christian University
Jurnal KWH METER DENGAN. SISTEM PRABAYAR. 2002. Surabaya.

2.2 Daya Listrik^[3]

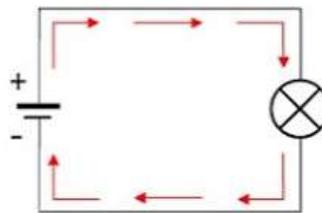
Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau Horsepower (HP), Horsepower merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 Watt atau lbft second. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt. Daya dinyatakan dalam P. Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I. sehingga besarnya daya dinyatakan :

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.1)$$

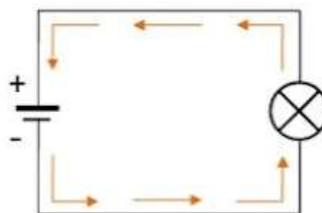
$$P = V_{\text{oli}} \times \text{Ampere} \times \text{Cos} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$P = \text{Watt} \dots\dots\dots(2.3)$$

Aliran Arus Listrik Konvensional



Aliran Elektron



Gambar 2.2 Aliran Arus Listrik dan Elektron

2.2.1 Daya aktif

Daya aktif (*Active Power*) merupakan daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya Satuan daya aktif adalah Watt. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain-lain.

[3] Ramdhani, Muhammad. Rangkaian Listrik [Buku]. Bandung: Erlangga, 2008.



P-V.1. $\cos \phi$ (Watt).....(2.4)

2.2.2 Daya reaktif

Daya reaktif merupakan jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif yaitu transformator, motor, lampu pijar dan lain-lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

Q-V.1. \sin (Var).....(2.5)

2.2.3 Daya semu

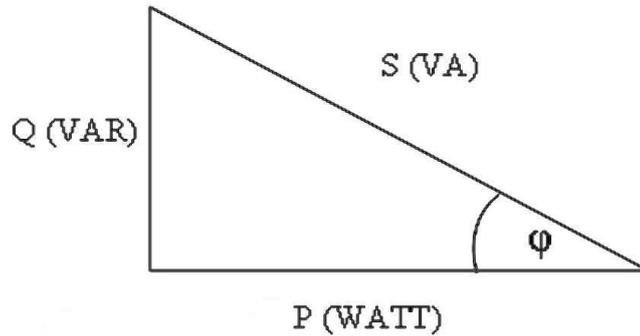
Kedua komponen P dan Q dari daya mempunyai satuan yang berbeda dan tidak boleh dijumlahkan. Namun P dan Q dapat dengan mudah disatukan dalam bentuk kuantitas vektor yang dinamakan daya kompleks S dan didefinisikan oleh $S = P + jQ$.

$S = V.I$ (VA).....(2.6)

Daya semu (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya semu adalah VA

2.2.4 Segitiga daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda (*Apparent Power, Active Power* dan *Reactive Power*) berdasarkan prinsip trigonometri.



Gambar 2.3 Segitiga Daya

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$P = S/\cos \phi \dots\dots\dots(2.8)$$

$$Q = S/\sin \phi \dots\dots\dots(2.9)$$

2.2.5 Faktor daya

Faktor daya (Cos) merupakan rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya semu (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \phi$.

$$\text{Faktor Daya} = \text{Daya Aktif (P)}/\text{Daya Nyata (S)} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{kW/kVA} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$V.I \cos \phi / V.I \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\cos \phi \dots\dots\dots(2.13)$$

Faktor daya mempunyai nilai range antara 0-1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu.

$$\tan \phi = \text{Daya Reaktif (Q)}/\text{Daya Aktif (P)} = \text{KVAR/kW} \dots\dots\dots(2.14)$$

Karena komponen daya aktif umumnya konstan (komponen kVA dan KVAR berubah sesuai dengan faktor daya), maka dapat ditulis seperti berikut:

$$\text{Daya Reaktif (Q)} = \text{Daya Aktif (P)} \cdot \tan \phi \dots\dots\dots(2.14)$$

2.3 Jenis-jenis Alat Ukur Listrik^[4]

Ada banyak jenis-jenis alat ukur listrik, yaitu alat ukur kumparan putar, besi putar, elektrodinamis, dan elektrostatik.

2.3.1 Alat ukur kumparan putar

Alat ukur kumparan putar adalah alat ukur yang bekerja atas dasar prinsip kumparan listrik yang ditempatkan dalam medan magnet yang berasal dari magnet permanen. Alat ukur jenis ini juga tidak terpengaruh magnet luar, karena telah memiliki medan magnet yang kuat terbuat dari logam alnico yang berbentuk U. Prinsip kerja alat ukur kumparan putar menggunakan dasar percobaan Lorentz.

2.3.2 Alat ukur besi putar

Alat ukur tipe besi putar merupakan alat ukur yang sederhana dan kuat dalam konstruksi. Alat ukur ini digunakan sebagai alat ukur arus dan tegangan pada frekuensi-frekuensi yang dipakai pada jaringan distribusi. Instrumen ini pada dasarnya ada dua buah bentuk yaitu tipe tarikan (*attraction*) dan tipe tolakan (*repulsion*). Cara kerja tipe tarikan tergantung pada gerakan dari sebuah besi lunak di dalam medan magnet, sedang tipe tolakan tergantung pada gaya tolak antara dua buah lembaran besi lunak yang telah termagnetisasi oleh medan magnet yang sama.

2.3.3 Alat ukur elektrodinamis

Alat ukur elektrodinamis adalah sebuah alat ukur kumparan putar, medan magnet yang dihasilkan bukan dari magnet permanen, tetapi oleh kumparan tetap atau berupa kumparan diam di dalamnya. Alat ukur elektrodinamis dapat dipergunakan untuk arus bolak-balik maupun arus searah, kelemahannya alat ukur tersebut menggunakan daya yang cukup tinggi sebagai akibat langsung

[4] Sapiie, dkk. Pengukuran dan Alat-alat Ukur Listrik [Buku]. Jakarta : PT.Pradnya Paramita, 2005.

dari konstruksinya. Karena arus yang diukur tidak hanya arus yang mengalir melalui kumparan putar, tetapi juga menghasilkan fluksi medan. Untuk menghasilkan suatu medan magnet yang cukup kuat diperlukan gaya gerak magnet yang tinggi. dengan demikian diperlukan sumber yang mengalirkan arus dan daya yang besar pula.

2.3.4 Alat ukur elektrostatik

Alat ukur elektrostatik banyak dipergunakan sebagai alat ukur tegangan (*voltmeter*) untuk arus bolak-balik maupun arus searah, khususnya dipergunakan pada alat ukur tegangan tinggi. Pada dasarnya kerja alat ukur ini adalah gaya tarik antara muatan-muatan listrik dari dua buah pelat dengan beda tegangan yang tetap. Gaya ini akan menimbulkan momen penyimpang, bila beda tegangan ini kecil, maka gaya ini akan kecil sekali. Mekanisme dari alat ukur elektrostatik ini mirip dengan sebuah kapasitor variabel yang mana tingkah lakunya bergantung pada reaksi antara dua benda bermuatan listrik (hukum *coulomb*).

2.4 Kesalahan Ukur

Saat melakukan pengukuran besaran listrik tidak ada yang menghasilkan ketelitian dengan sempurna. Maka dari itu perlu diketahui ketelitian yang sebenarnya dan sebab terjadinya kesalahan pengukuran. Kesalahan-kesalahan dalam pengukuran dapat digolongkan menjadi beberapa jenis.

2.4.1 Kesalahan-kesalahan umum (*gross-errors*)

Kesalahan ini kebanyakan disebabkan oleh kesalahan manusia. Diantaranya adalah kesalahan pembacaan alat ukur, penyetelan yang tidak tepat dan pemakaian instrumen yang tidak sesuai dan kesalahan penaksiran. Kesalahan ini tidak dapat dihindari, tetapi harus dicegah dan perlu diperbaiki. Ini terjadi karena keteledoran atau kebiasaan-kebiasaan yang buruk, contohnya pembacaan yang tidak teliti, pencatatan yang berbeda dari pembacaannya, penyetelan instrumen yang tidak tepat. Agar mendapatkan hasil yang optimal,

maka diperlukan pembacaan lebih dari satu kali. Bisa dilakukan tiga kali, kemudian dirata-rata. Jika mungkin dengan pengamat yang berbeda.

2.4.2 Kesalahan-kesalahan sistematis (*systematic Errors*)

Kesalahan ini disebabkan oleh kekurangan-kekurangan pada instrumen sendiri. Seperti kerusakan atau adanya bagian-bagian yang diakibatkan pengaruh lingkungan terhadap peralatan atau pemakai. Kesalahan ini merupakan kesalahan yang tidak dapat dihindari dari instrumen, karena struktur mekanisnya. Contoh: gesekan beberapa komponen yang bergerak terhadap bantalan dapat menimbulkan pembacaan yang tidak tepat. Tarikan pegas (*hairspring*) yang tidak teratur. perpendekan pegas, berkurangnya tarikan karena penanganan yang tidak tepat atau pembebanan instrumen yang berlebihan. Ini semua akan mengakibatkan kesalahan-kesalahan. Selain dari beberapa hal yang sudah disinggung di atas masih ada lagi yaitu kesalahan kalibrasi yang bisa mengakibatkan pembacaan Instrumen terlalu tinggi atau terlalu rendah dari yang seharusnya.

Cara yang paling tepat untuk mengetahui instrument tersebut mempunyai kesalahan atau tidak yaitu dengan membandingkan dengan instrumen lain yang memiliki karakteristik yang sama atau terhadap instrumen lain yang akurasiya lebih tinggi. Untuk menghindari kesalahan-kesalahan tersebut dengan cara :

1. Memilih instrumen yang tepat dalam pemakaian tertentu.
2. Menggunakan faktor-faktor koreksi setelah mengetahui banyaknya kesalahan.
3. Mengkalibrasi instrumen tersebut terhadap instrumen standar.

Pada kesalahan-kesalahan yang disebabkan lingkungan, seperti: efek perubahan temperatur, kelembaban, tahanan udara luar, medan-medan maknetik, dan sebagainya dapat dihindari dengan membuat pengkondisian udara (AC). penyegelan komponen-komponen instrument tertentu dengan rapat, pemakaian pelindung maknetik dan sebagainya.

2.4.3 Kesalahan acak yang tak disengaja (*random errors*)

Kesalahan ini diakibatkan oleh penyebab yang tidak dapat langsung diketahui. Antara lain sebab perubahan-perubahan parameter atau sistem pengukuran terjadi secara acak. Pada pengukuran yang sudah direncanakan kesalahan-kesalahan ini biasanya hanya kecil. Tetapi untuk pekerjaan-pekerjaan yang memerlukan ketelitian tinggi akan berpengaruh. Contoh misal suatu tegangan diukur dengan voltmeter dibaca setiap jam, walaupun instrument yang digunakan sudah dikalibrasi dan kondisi lingkungan sudah diset sedemikian rupa, tetapi hasil pembacaan akan terjadi perbedaan selama periode pengamatan.

Untuk mengatasi kesalahan ini dengan menambah jumlah pembacaan dan menggunakan cara-cara statistik untuk mendapatkan hasil yang akurat. Alat ukur listrik sebelum digunakan untuk mengukur perlu diperhatikan penempatannya atau peletakannya. Ini penting karena posisi pada bagian yang bergerak yang menunjukkan besarannya akan dipengaruhi oleh titik berat bagian yang bergerak dari suatu alat ukur tersebut.

2.5 Batas Kesalahan Alat Ukur^[5]

Untuk mengetahui kebaikan kerja dari salah satu alat ukur maka kesalahan menjadi salah satu ukuran yang sangat penting. Standar IEC No 13 B 23 mensfifikasikan bahwa ketelitian-ketelitian dari alat ukur penunjuk termasuk alat ukur kumparan putar harus diberikan menurut kelompoknya dalam 8 kelas, kelas tersebut adalah:

Tabel 2.1 Kelas Ketelitian Alat Ukur dan Penggunaanya

Kelas	Kesalahan yang diizinkan % (Relatif harga maksimum)	Penggunaan	Keterangan
0,05	$\pm 0,05$	Laboratorium	Presisi
0,1	$\pm 0,1$	Laboratorium	Presisi
0,2	$\pm 0,2$	Laboratorium	Presisi
0,5	$\pm 0,5$	Industri	Menengah

[5] Smartmeter PT. www.smartmetierindo.com [Online]

1	± 1	Industri	Menengah
1,5	$\pm 1,5$	Industri	Menengah
2,5	$\pm 2,5$	Hanya untuk cek	Rendah
5	± 5	Hanya untuk cek	Rendah

Dalam pemilihan alat ukur untuk kepentingan pengukuran atau peralatan, ataupun perencanaan dalam penggunaan peralatan, maka akan memudahkan sekali bila kelompok-kelompok tersebut digolongkan dalam 4 golongan sesuai dengan pemakaiannya yang lazim digunakan.

2.5.1 Alat-alat ukur dari kelas 0,05, 0,1 dan 0,2

Alat ukur tersebut termasuk golongan alat ukur dengan ketelitian atau presisi yang tinggi dari pada alat ukur. Alat ukur tersebut biasanya ditempatkan secara stationer di dalam laboratorium atau dalam ruangan standard dan dipergunakan dalam pengukuran sub-standard pada eksperimen-eksperimen yang memerlukan presisi yang tinggi, atau pada pengujian alat ukur lainnya.

2.5.2 Alat ukur dari kelas 0,5

Alat ukur ini mempunyai ketelitian dan presisi pada tingkat berikutnya dari kelas 0,2 dan dipergunakan untuk pengukuran-pengukuran presisi. Pada umumnya alat-alat ukur yang portable termasuk dalam kelas ini.

2.5.3 Alat ukur dari kelas 1,0

Alat ukur dari kelas ini mempunyai presisi dan ketelitian pada tingkat yang lebih rendah dari alat ukur-ukur dari kelas 0,5 dan dipergunakan pada alat ukur yang ditempatkan pada panel yang besar.

2.5.4 Alat-alat ukur kelas 1,5, 2,5 dan 5

Alat-alat ukur ini dipergunakan pada panel-panel, dimana presisi serta ketelitian dari pada alat ukur ini tidak begitu penting.

2.6 Sebab-sebab kesalahan alat ukur dalam pemakaian⁵

Setiap alat ukur yang terdapat dipasaran telah direncanakan, sehingga batas kesalahan terdapat batas-batas yang diperkenankan, sesuai dengan kelas dari pada kelas alat ukur tersebut. Akan tetapi dalam pemakaiannya banyak hal yang perlu diperhatikan seperti hal-hal berikut ini:

2.6.1 Medan magnet luar

Bila suatu alat ukur dipergunakan didekat penghantar yang dilalui arus besar atau di sekitar magnet yang sangat besar atau kuat maka medan magnet yang terdapat dalam celah udara pada sirkit magnet dari pada alat ukur bisa terpengaruh.

2.6.2 Temperatur keliling atau kelembaban

Bila keadaan temperatur keliling dan kelembaban jauh berbeda dari persyaratan yang ditentukan, maka kesalahan-kesalahan tidak dapat diabaikan. dan mungkin memerlukan koreksi-koreksi.

2.6.3 Pemanasan sendiri

Bila saat pertama alat ukur digunakan temperatur dari komponen komponennya akan naik, dan menyebabkan penunjukan berubah. Penunjukan ini tidak akan stabil sebelum temperatur dari komponen-komponen tersebut menjadi konstan. Hal ini akan konstan setelah beberapa saat lamanya.

2.6.4 Pergeseran pada titik nol

Kedudukan jarum penunjuk alat ukur pada saat tidak ada kebesaran listrik disebut titik nol (*zero*). Setelah digunakan lama kemungkinan titik nol tersebut akan berubah atau bergerak yang disebabkan oleh faktor kelelahan dari

[6] PT.PLN (Persero) Pengoperasian Distribusi dan APP [Buku].- Indonesia: Keputusan Pemimpin Jasa Pendidikan dan Pelatihan.

pegas-pegas pengontrol. Pengeseran dari titik nol ini dapat dikoreksikan dengan pergeseran-pergeseran secara mekanis. Dengan cara-cara pengaturan titik nol dari luar (*zero adjustment*).

2.6.5 Gesekan-gesekan

Alat ukur yang dibuat dengan kontruksi sumbu dari bantalan, pengukuran yang berulang kali memungkinkan hasil yang berbeda, meskipun besaran yang diukur tetap. Hal ini mungkin terjadi bila gesekan antara sumbu dan bantalan besar.

2.6.6 Umur alat itu sendiri

Setelah jangka waktu dari mulai alat ukur ini dibuat sampai berlaku, maka berbagai komponen dan elemen dari pada alat ukur ini mungkin berubah didalam keabadian kerjanya, dan akan menghasilkan kesalahan penunjukan dari alat ukur. Agar alat ukur ini tetap siap untuk pengukuran-pengukuran yang teliti, maka sebaiknya dilakukan kalibrasi secara berkala, dalam interval waktu antara setengah sampai setahun.

2.6.7 Letak dari alat ukur

Meletakkan alat ukur sesuai dengan yang telah ditentukan. harus Kesalahan dalam meletakkan alat ukur tersebut akan menghasilkan kesalahan. Ketentuan letak penggunaan alat ukur tersebut dinyatakan pada papan skala suatu alat ukur dengan menggunakan simbol-simbol tertentu. Yang tidak ada keterangan atau simbolnya alat ukur dapat diletakkan secara bebas atau sembarang.

Tabel 2.2 Letak Suatu Alat Ukur Pada Waktu Pemakaian

Letak	Tanda
Tegak	
Datar	
Miring (Misal dengan sudut 60°)	< 60°

2.7 Yang perlu Diperhatikan dalam Pembacaan Alat Ukur

1. Pembacaan jarum penunjuk, register, angka-angka mudah dilakukan. Data dicantumkan pada alat ukur tersebut.
2. Alat ukur harus terlindungi dari debu atau pengaruh dari luar.
3. Tanda dari alat ukur harus jelas, dan data-data papan nama harus lengkap.
4. Memudahkan petugas memeriksa dan membaca.
5. Sesuai dengan intruksi atau ketentuan-ketentuan yang ada.

2.8 Kesalahan-kesalahan dan Cara Kompensasinya

Adapun kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi pada kWh-Meter diantaranya adalah:

2.8.1 Penyesuaian fasa

Penyusunan fasa merupakan momen yang diberikan terhadap kepingan dari kWh-Meter berbanding lurus dengan daya beban, tertinggi (lagging) fasanya terhadap tegangan dengan sudut 90° . Tapi dalam prakteknya tidak mungkin tepat, sebab adanya suatu kerugian-kerugian dari pada tahanan dan inti besi dari kumparan tegangan W_p . Untuk menghindari hal tersebut diatas, maka pada kumparan tegangan (inti besinya) kita berikan beberapa lilitan dan kita hubungkan dengan suatu tahanan, tahanan ini adalah tahanan geser.

2.8.2 Mengatasi putaran pada beban kosong

Piringan kWh-Meter, tidak boleh berputar lebih dari satu putaran sewaktu tidak berbeban, apabila hal ini terjadi maka cara untuk mengatasi adalah dengan cara membuat lubang kecil pada piringan kWh-Meter tersebut, apabila lubang kecil ini sampai pada inti kumparan tegangan (W_p) maka jalan dari pada arus putar yang terjadi pada piringan akan terganggu, mengakibatkan momen pada beban ringan akan berkurang yang mengakibatkan piringan kWh-Meter berhenti pada posisi yang tepat.

2.8.3 Konstanta kWh-meter

Konstanta kWh-Meter adalah, suatu bilangan yang menyatakan banyaknya putaran yang dilakukan piringan kWh-Meter dalam waktu 1 jam. apabila dialiri energi listrik sebesar 1 kW.

Dengan rumus:

$$K = \frac{\text{Putaran}}{\text{kW} \cdot \text{Jam}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana:

K = Konstanta kWh-Meter

Didalam pengujian sebuah kWh-Meter, rumusnya berlaku sebagai berikut:

$$\text{kWh} = \frac{3600 \cdot n}{Kt} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana:

t = Waktu dalam detik

n = Jumlah putaran piringan kWh-Meter

2.9 Kalibrasi^[3]

Setiap sistem pengukuran harus dapat dibuktikan keandalannya dalam mengukur, prosedur pembuktian ini disebut kalibrasi. kalibrasi atau peneraan bagi pemakai alat ukur sangat penting. Kalibrasi dapat mengurangi kesalahan meningkatkan ketelitian pengukuran. Langkah prosedur kalibrasi menggunakan perbandingan instrumen yang akan dikalibrasi dengan instrument standar 2.9.1. Teori Kalibrasi (Peneraan).

Kalibrasi adalah membandingkan suatu alat ukur dengan alat lain yang sejenisnya tetapi lebih saksama atau lebih teliti dalam kondisi-kondisi tertentu. Dan alat yang lebih saksama ini merupakan standard bagi pengkalibrasian itu. Adapun guna pengkalibrasian itu adalah untuk mengetahui apakah alat tersebut masih bekerja dengan baik, apakah pencacatan atau penunjukan standardnya masih dalam batas-batas yang di izinkan.

[3] Ramdhani, Muhammad. Rangkaian Listrik [Buku]. Bandung: Erlangga, 2008.

Kalibrasi sangat penting dilaksanakan mengingat alat ini merupakan indikasi besarnya energi listrik yang digunakan sehingga transaksi jual beli energi listrik dapat berjalan dengan wajar. Bila suatu kWh-Meter mempunyai kesalahan yang lebih besar kearah negatif berarti arah penunjukan dan pencatatan WH Meter tersebut lebih kecil dari yang sebenarnya, ini berarti merugikan pihak penjual energi listrik tersebut (PLN). Tetapi bila suatu kWh mempunyai kesalahan yang lebih besar kearah positif maka pencatatan atau penunjukan kWh Meter atau lebih besar dari pada energi listrik yang sebenarnya dipakai, ini berarti merugikan pihak pembeli energi listrik tersebut disinilah perlu diadakan peneraan terhadap kWh-Meter tersebut. Untuk mengkalibrasi atau menera kWh-Meter dapat dilaksanakan dengan beberapa metoda pengukuran antara metoda pengukuran daya dan waktu, metoda sub-rotating standard (perbandingan putaran) dan metoda perbandingan energi.

2.9.1 Kalibrasi kWh-meter dengan metoda pengukuran daya dan waktu (*Power Time Measurements*)

Prinsip metoda pengukuran daya dan waktu ini adalah mengukur besaran yang diintegrasikan terhadap waktu, dimana alat yang dipergunakan untuk keperluan ini adalah pengukuran daya dan alat pengukur waktu stopwatch untuk mengetahui besarnya waktu t yang diperlukan untuk sejumlah perputaran piringan kWh-Meter yang dikalibrasi. Bila daya yang melalui kWh-Meter dalam interval waktu 11-12 tersebut adalah konstan dan besarnya diketahui, maka energi listrik yang melalui kWh-Meter dapat diketahui dengan mengalikan besarnya daya yang melalui kWh-Meter dengan jumlah waktu yang diamati bila mendapat perbedaan jumlah energi antara hasil yang diperoleh melalui perhitungan dengan hasil yang diperoleh dari penunjukan meter, maka perbedaan tersebut merupakan kesalahan penunjukan kWh-Meter yang dikalibrasi. Kalibrasi berdasarkan metoda pengukuran daya dan waktu ini mendeteksi penyimpangan kWh-Meter yang dikalibrasi dengan cara pengukuran waktu yang dibutuhkan oleh piringan kWh-Meter yang

dikalibrasikan untuk sejumlah perputaran tertentu. Dimana jumlah perputaran ditentukan dengan perhitungan yang menggunakan hubungan sebagai berikut :

$$P_{kWh} = \frac{N \cdot 3600 \cdot 1000 \cdot \text{Faktor kali}}{t \cdot K} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

P = Daya kWh-Meter (watt)

N = Jumlah putaran piringan kWh-Meter (put)

K = Konstanta kWh-Meter (put/kwh)

t = Waktu dalam detik

Besar kesalahan dirumuskan dibawah ini :

$$S = \frac{P_{kWh} - P_{\text{real}}}{P_{\text{real}}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

S = Kesalahan kWh dalam persen

Jumlah perputaran tidak boleh terlalu sedikit, hal ini berdasarkan pada pertimbangan sebagai berikut :

1. Terdapatnya ketelitian alat pengukuran waktu stopwatch. Semakin sedikitnya jumlah perputaran yang ditentukan, maka waktu pengamatan yang dihasilkan makin sedikit pula.
2. Kemudian terjadinya kelambatan reaksi dari pengamatan dalam pengoperasian start-stop alat pengukur stopwatch. Untuk jumlah perputaran yang sedikit. Kesalahan yang berasal dari kelambatan reaksi pengamat semakin berarti dan tidak dapat diabaikan.

Persamaan diatas merupakan rumus kesalahan yang dipergunakan dalam kalibrasi kWh-Meter. Pada proses kalibrasi yang dilakukan dengan metoda ini diharapkan agar diperoleh hasil yang penunjukannya penelitian kWh-Meter bebas dari kesalahan.

2.9.2 Kalibrasi kWh-Meter Dengan Metoda Sub-Rotating Standard (Perbandingan Putaran)

Secara prinsip metode sub-rotating standard ini termasuk metode perbandingan. Dimana perputaran kWh-Meter yang di kalibrasi dibandingkan

terhadap perputaran suatu kWh-Meter standar, dalam pelaksanaannya kWh-Meter standar dipergunakan berupa suatu alat presesi yang menyatakan perputaran piringan kWh-Meter yang dianggap sebagai referensi. kWh-Meter standar yang dipergunakan harus memiliki ketelitian yang lebih tinggi dari pada kWh-Meter yang dikalibrasi. Dengan pembebanan yang sama besarnya dengan pembebanan yang diberikan pada kWh-Meter yang dikalibrasi. Maka kWh-Meter standar tersebut akan menunjukkan jumlah perputaran yang sesuai dengan jumlah perputaran kWh-Meter yang dikalibrasi. Bila jumlah perputaran yang ditunjukkan oleh kWh-Meter standar sesuai atau terdapat penyimpangan tetapi masih dalam batas yang diperkenankan terhadap jumlah perputaran yang telah ditentukan, maka berarti kWh-Meter yang dikalibrasi itu memenuhi syarat. Kalibrasi dengan metode ini sangat kebutuhan kecepatan reaksi dari pengamat dalam memutuskan pembebanan sangat menentukan ketelitian hasil kalibrasi. Pemutusan pembebanan dilakukan tepat ketika kWh-Meter yang dikalibrasi telah melakukan sejumlah perputaran yang dipilih, demikian juga ketelitian pengamat.

Dalam menghitung jumlah perputaran kWh-Meter standar menentukan hasil kalibrasi. Faktor-faktor ini merupakan dasar pertimbangan dalam menentukan jumlah perputaran yang sesuai, guna menghasilkan pengukuran dengan ketelitian yang memenuhi syarat. Prosedur untuk menentukan jumlah perputaran berdasarkan metoda sub-rotating standar ini analog dengan prosedur berdasarkan metoda pengukuran daya dan waktu. Bila kWh atau Kvarh Meter yang dikalibrasi mempunyai ketelitian yang sama dengan kWh atau Kvarh standard.

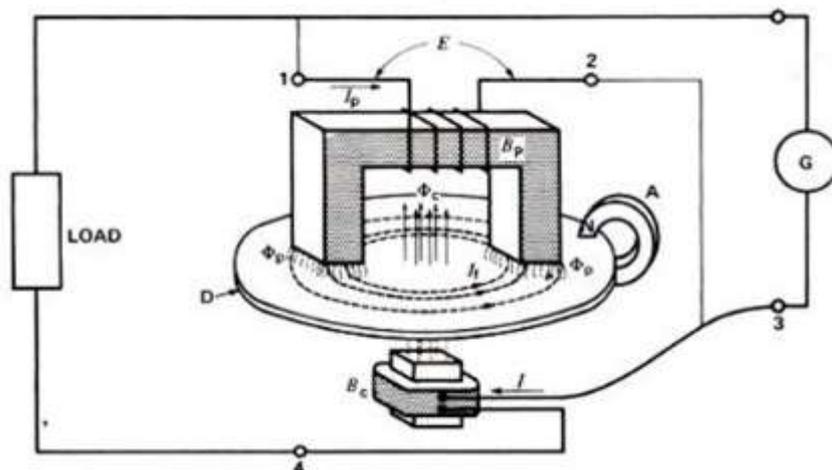
2.10 kWh-Meter Prabayar^[1]

Pemakaian energi listrik di industri maupun rumah tangga menggunakan satuan kilowatt-hour (kWh), dimana 1 kWh sama dengan 3.6 MJ. Karena itulah

[1] Buku Panduaan Penggunaan kWh-Meter Prabayar [Buku]. - Indonesia: PT. PLN (Persero), 2011.

alat yang digunakan untuk mengukur energi pada industri dan rumah tangga dikenal dengan watt-hourmeters. 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.

Bagian-bagian utama dari sebuah kWh-Meter adalah kumparan tegangan, kumparan arus, sebuah piringan aluminium, sebuah magnet tetap, dan sebuah gir 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.

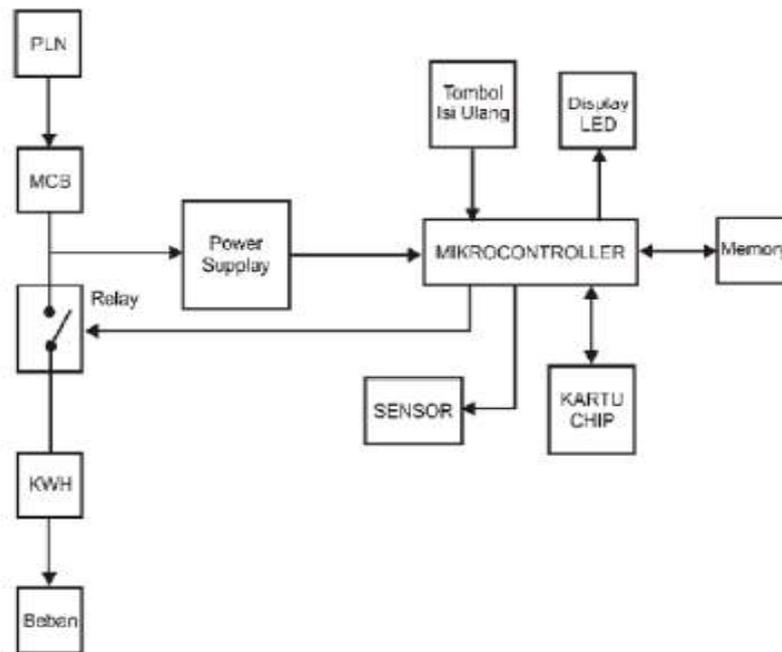


Gambar 2.4 Piringan kWh Meter Prabayar

Pada piringan kWh-Meter terdapat suatu garis penanda (biasanya berwarna hitam atau merah). Garis ini berfungsi sebagai indikator putaran piringan. Untuk 1 kWh biasanya setara dengan 900 putaran (ada juga 450 putaran tiap kWh). Saat beban banyak memakai daya listrik, maka putaran piringan kWh ini akan semakin cepat. Hal ini tampak dari cepatnya garis penanda ini melintas. Sensor infrared dan photodiode dipakai untuk mendeteksi lewatnya garis penanda ini, sehingga mikrokontroler dapat menghitung jumlah putaran piringan kWh Meter.

Sistem Prabayar ini tetap mempergunakan kWh-Meter yang sudah ada dengan sedikit modifikasi untuk memasang sensor dan unit sistem. Hal ini

bertujuan untuk lebih mendayagunakan peralatan kWh-Meter yang sudah ada Blok diagram sistem dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.5 Diagram Block Sistem kWh Meter Prabayar

2.10.1 kWh meter analog

kWh Meter Analog merupakan alat ukur energi listrik yang bekerja berdasarkan sinyal analog dengan menggunakan prinsip induksi medan magnet. Berikut ini adalah gambar kWh meter analog.



Gambar 2.6 kWh Meter Analog

KWh meter jenis ini sangat umum ditemukan di masyarakat. Bagian utama dari sebuah kWh meter analog adalah kumparan tegangan, kumparan arus, piringan aluminium, magnet tetap yang tugasnya menetralkan piringan aluminium dari induksi medan magnet dan gear mekanik yang mencatat jumlah perputaran piringan aluminium. Alat ini bekerja menggunakan metode induksi medan magnet dimana medan magnet tersebut menggerakkan piringan yang terbuat dari aluminium. Putaran piringan tersebut akan menggerakkan counter digit sebagai tampilan jumlah kWhnya.

2.10.2 Sensor

Sensor infrared dan photodiode dipasang pada kWh-Meter sedemikian rupa sehingga dapat mendeteksi garis penanda pada piringan kWh-Meter. Output sensor ini dihubungkan ke mikrokontroler, supaya mikrokontroler AT89C2051 dapat menghitung jumlah putaran piringan kWh-Meter. 'Kartu Chip' dan memory yang berupa serial EEPROM dipakai untuk menyimpan informasi jumlah putaran piringan kWh-Meter yang masih diperbolehkan. Pada sistem juga dipasang LED sebagai display indikator dan tombol untuk proses isi ulang.

Sensor digunakan sebagai sarana untuk menghitung jumlah perputaran kWh-Meter. Jika sensor mengenai warna perak pada piringan yang berarti ada pemantulan cahaya ke penerima, maka arus akan mengalir. Hal ini akan menyebabkan transistor saturasi sehingga timbul logika '1' pada output sensor. Dan sebaliknya, jika sensor mengenai warna hitam pada piringan yang berarti penerima tidak mendapat cahaya, maka arus tidak akan mengalir, yang mengakibatkan timbulnya logika '0' pada output sensor.

2.10.3 Relay

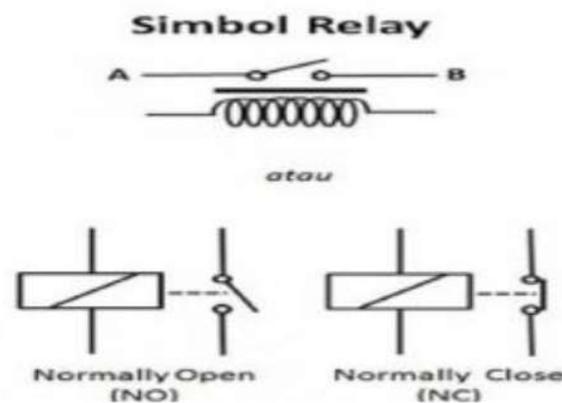
Relay merupakan bentuk hambatan terdiri atas titik-titik kontak bawah dengan gulungan spoolnya tidak bergerak dan titik kontak bagian atas yang bergerak. Prinsip kerja hambatan adalah menghubungkan titik-titik

kontak bagian bawah dengan titik bagian atas yaitu terletak gulungan spool dialiri arus listrik yang timbul elektromagnet.

Titik kontak dibagi menjadi 2 bagian yaitu bagian kontak utama dan bagian kontak bantu, yaitu :

1. Bagian kontak utama berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik bagian yang menuju beban/pemakai.
2. Bagian kontak bantu berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik ke bagian yang menuju bagian pengendali.

Kontak Bantu mempunyai 2 kontak yaitu kontak hubung (NC) dan kontak putus (NO) yang menandakan masing-masing kontak dan gulungan spool.



Gambar 2.7 Simbol Relay

Relay merupakan sebuah saklar magnet yang dapat memutuskan dan menutup sirkuit dari jarak jauh. Adapun menurut jenisnya, Relay dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Relay yang bekerja dari arus bolak-balik.
2. Relay yang bekerja dari arus rata-rata.

Relay sangat berguna dalam kinerja diskrit pada industri. Dengan prinsip elektromagnetik, coil relay akan menjadi magnet bila dikenai polaritas kerja pada kutub-kutubnya. Gaya magnet akan menarik kontak relay dan memberikan fungsi normal open dan normal close. Relay sangat luas penggunaannya khususnya dalam mengoutputkan sinyal diskrit.

2.10.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Cara kerja utama mikrokontroler yaitu membaca dan menulis data. Contoh, bayangkan diri Anda saat mulai belajar membaca dan menulis. Ketika Anda sudah bisa melakukan hal itu, Anda bisa membaca tulisan apapun, baik membaca buku, membaca cerpen, membaca artikel dan sebagainya serta Anda bisa menulis apapun yang anda inginkan. Apabila Anda sudah mahi membaca dan menulis data, maka Anda dapat membuat suatu program yang berfungsi sebagai sistem pengaturan otomatis menggunakan mikrokontroler sesuai dengan keinginan Anda. Mikrokontroler merupakan komputer di dalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik, yang menekankan efisiensi dan efektifitas biaya. Secara harfiahnya bisa disebut "pengendali kecil" dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dapat direduksi atau diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan oleh mikrokontroler ini. Dengan penggunaan mikrokontroler ini maka:

1. Sistem elektronik akan menjadi lebih ringkas.
2. Rancang bangun sistem elektronik akan lebih cepat karena sebagian besar dari sistem adalah perangkat lunak yang mudah dimodifikasi.
3. Pencarian gangguan lebih mudah ditelusuri karena sistemnya yang kompak.

Namun demikian tidak sepenuhnya mikrokontroler bisa mereduksi komponen IC TTL dan CMOS yang seringkali masih diperlukan untuk aplikasi kecepatan tinggi atau sekedar menambah jumlah saluran masukan dan keluaran (I/O). Dengan kata lain, mikrokontroler adalah versi mini atau mikro dari sebuah komputer karena mikrokontroler sudah mengandung beberapa periferal yang langsung bisa dimanfaatkan, misalnya port paralel, port serial, komparator, konversi digital ke analog (DAC), konversi analog ke

digital dan sebagainya hanya menggunakan sistem minimum yang tidak rumit atau kompleks.

Pada saat awal di mana unit yang tersimpan di memory masih nol, mikrokontroler AT89C2051 menunggu adanya penekanan tombol isi ulang. Bila tombol tersebut ditekan, maka unit yang ada di 'Kartu Chip' dipindahkan ke memory (sekaligus meng-nol-kan kartu) dan relay-pun diaktifkan. Sistem siap untuk mendeteksi jumlah putaran piringan kWh-Meter. Untuk sejumlah putaran tertentu maka unit yang ada di memory akan dikurangi satu unit, hingga habis. Isi dari memory ini dapat ditambah dengan melakukan proses isi ulang. Kondisi unit nominal yang masih ada dapat dilihat melalui LED indikator. Jika unit nominal pada memory telah habis, maka mikrokontroler akan mematikan relay sehingga aliran listrik terputus. Relay akan aktif kembali jika memory tersebut telah diisi ulang.