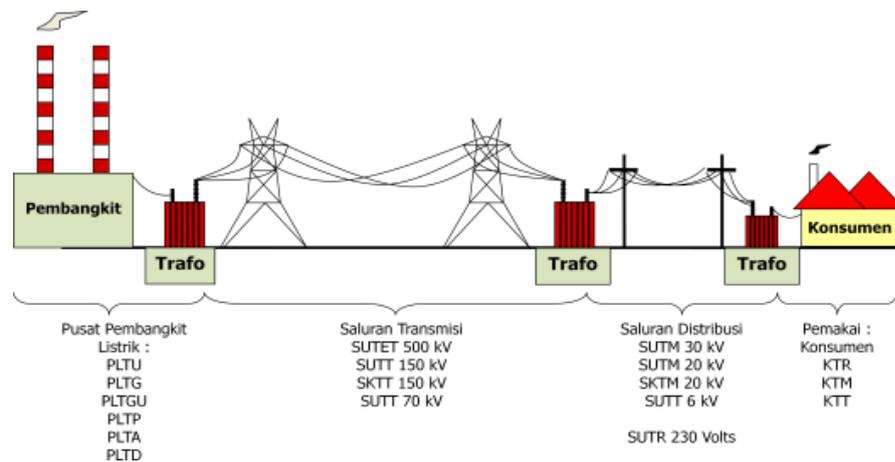


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan atau gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem. Energi listrik dibangkitkan dari pembangkit tenaga listrik disalurkan melalui transmisi dan kemudian didistribusikan ke konsumen.¹



Gambar 2. 1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik²

Tenaga Listrik dibangkitkan di Pusat-pusat Tenaga Listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (step up transformer) yang ada di Pusat Listrik. Pemberian nama PLTA, PLTU, PLTG dan sebagainya yang umum diberikan kepada unit pembangkit listrik di lingkungan PLN didasarkan atas nama tenaga penggerak mulanya. PLTA misalnya dimana mesin pembangkit listriknya (generator) yang ada di kawasan

¹ Heriyanto, A. Studi Kasus Kinerja AMR (Automatic Meter Reading) pada Pelanggan Potensial Daya 41.5 KVA–200 KVA di Situbondo (Studi Kasus pada Pelanggan PT. Tiga Makin Jaya Wilayah Kerja PT. PLN (Persero) Area Situbondo–Rayon Panarukan) Jurnal Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Jember, Jember, 2016, Hlm.5

² Wikarsa Tresna “studi analisis kesimabngan beban”FT Universitas Indonesia 2010 Hal.3



tersebut digerakan atau diputar oleh suatu turbin penggerak yang berputar karena digerakan oleh pergerakan aliran air (turbin air) demikian juga halnya dengan PLTU mesin pembangkit listriknya digerakan oleh turbin uap. Saluran tenaga listrik yang menghubungkan pembangkitan dengan gardu induk (GI) dikatakan sebagai saluran transmisi karena saluran ini memakai standar tegangan tinggi dikatakan sebagai saluran transmisi tegangan tinggi yang sering disebut dengan singkatan SUTT. Lingkungan operasional PLN saluran transmisi terdapat dua macam nilai tegangan yaitu saluran transmisi yang bertegangan 70 KV dan saluran transmisi yang bertegangan 150 KV dimana SUTT 150 KV lebih banyak digunakan dari pada SUTT 70 KV. Khusus untuk tegangan 500 KV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi, yang disingkat dengan nama SUTET.

Pada saat ini masih ada beberapa saluran transmisi dengan tegangan 70 KV namun tidak dikembangkan lagi oleh PLN. Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa saluran kabel tanah. Karena saluran udara harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan kabel tanah maka saluran transmisi PLN kebanyakan berupa saluran udara. Kerugian dari saluran udara dibandingkan dengan saluran kabel tanah adalah saluran udara mudah terganggu oleh gangguan yang ditimbulkan dari luar sistemnya, misalnya karena sambaran petir, terkena ranting pohon, binatang, layangan dan lain sebagainya.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di Gardu Induk (GI) sebagai pusat beban untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (step down transformer) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 KV, 12 KV dan 6 KV. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah 20 KV.

Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang keluar dari GI baik itu berupa saluran kabel tanah, saluran kabel udara atau saluran kawat terbuka yang menggunakan standar tegangan menengah dikatakan sebagai Jaringan Tegangan Menengah yang sering disebut dengan singkatan JTM dan sekarang salurannya



masing masing disebut SKTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel tanah.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dengan menggunakan trafo distribusi (step down transformer) menjadi tegangan rendah dengan tegangan standar 380/220 Volt atau 220/127 Volt dimana standar tegangan 220/127 Volt pada saat ini tidak diberlakukan lagi di lingkungan PLN. Tenaga listrik yang menggunakan standar tegangan rendah ini kemudian disalurkan melalui suatu jaringan yang disebut Jaringan Tegangan Rendah yang sering disebut dengan singkatan JTR.

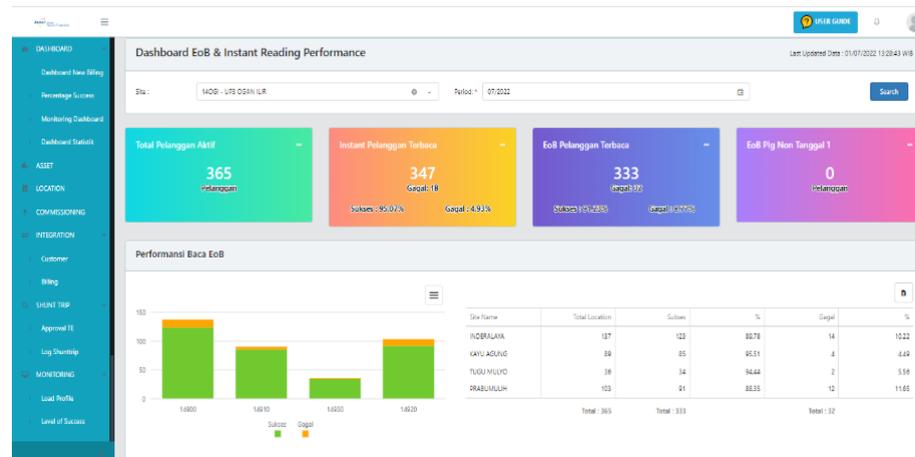
Sama halnya pada JTM jenis saluran yang dipergunakan pada JTR dapat menggunakan tiga jenis saluran yaitu SUTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kawat terbuka SKUTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kabel udara yang dikenal dengan sebutan kabel twisted yang sering disebut dengan singkatan TIC singkatan dari *Twisted Insulation Cable*, SKTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kabel tanah. Tenaga listrik dari jaringan tegangan rendah ini untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen).

2.2. Automatic Meter Reading (AMR)

2.2.1. Pengertian Automatic Meter Reading ³

Automatic Meter Reading (AMR) adalah sistem pembacaan atau pengambilan data hasil pengukuran meter elektronik atau ME secara terpusat dan otomatis dari jarak jauh (remote) melalui media komunikasi tertentu menggunakan software tertentu yang dilengkapi dengan kemampuan untuk pengolahan data. Parameter yang diketahui terbaca oleh sistem pada umumnya terdiri dari *stand meter*, *load Profile*, *max demand*, *instantaneous*, dan *event*. parameter-parameter tersebut sebelumnya didefinisikan terlebih dahulu di Meter Elektronik, agar meter dapat menyimpan data-data sesuai dengan yang diinginkan.

³Sugeng, Analisis Penggunaan *Automatic Meter Reading (AMR)* Pada scada control bagi pelayanan konsumen, Bekasi: JRECs, 2015, Hlm.36



Gambar 2. 2 Tampilan *Dashboard Automatic Meter Reading*

Pembacaan *Automatic Meter Reading* tersebut akan disimpan ke dalam *database* dapat digunakan untuk evaluasi ,analisis dan transaksi serta *troubleshooting*. Pada awalnya pembacaan *Automatic Meter Reading* ini menggunakan kabel atau direct dialing/reading Komputer terhubung ke meter dengan menggunakan kabel komunikasi (RS-232 atau RS-485) atau optical probe, jika pembacaan dilakukan di lapangan. Namun belakangan ini, banyak teknologi komunikasi yang digunakan oleh sistem AMR. Seperti PSTN (telepon rumah), GSM, Gelombang Radio, dan media yang digunakan di PT. PLN (Persero) Area Ogan Ilir.

Penggunaan teknologi pembacaan ini sangat menguntungkan untuk menekan biaya operasional catat meter dan juga dapat menguntungkan dalam hal keakuratan data yang akan dibaca atau meminimalisir kesalahan pembacaan.

Konfigurasi peralatan yang digunakan oleh *Automatic Meter Reading*:

1. Meter elektronik atau digital yang dipasang di pelanggan
2. Modem dan saluran telepon
3. Komputer yang digunakan oleh user

Sistem *Automatic Meter Reading (AMR)* di PT PLN (Persero) UP3 Ogan Ilir adalah suatu sistem baca meter terpusat/terdistribusi yang mengintegrasikan seluruh pembaca meter elektronik yang terpasang di lapangan (gardu distribusi, penyulang, dan pelanggan) melalui media komunikasi untuk keperluan pengumpulan dan



perekaman data secara otomatis atau manual, serta dilengkapi dengan kemampuan (*features*) dan pengelolaan *database* untuk keperluan analisa dan evaluasi (grafik, tabel, alarms, dan lain - lain).

Terdapat 3 kelas penggolongan sistem *AMR* berdasarkan besar daya dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Penggolongan Sistem *AMR*⁴

No	Jenis	Kisaran Daya	Jaringan Komunikasi
1	<i>AMR</i> (TM)	>200kVA	GSM dan PTSM
2	<i>AMR</i> (TR)	41,5 kVA s/d 197 kVA	GSM
3	<i>AMR</i> (TR) PLC	450 VA s/d 197 kVA	TR 220 V DAN GSM

2.2.2. Fungsi Sistem *Automatic Meter Reading*

Fungsi yang dari penggunaan sistem *AMR* diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Menentukan saluran fasa tegangan yang digunakan (RST) dan data konsumsi daya maksimum (kVA Max).
2. Mengetahui data Load Profile tegangan (V), arus (I), energi (kWh dan kVArh), sehingga bisa memantau energi listrik yang dipakai oleh pelanggan.
3. Mengetahui bila beban sudah mendekati maksimum dan jam nyala yang dipakai pelanggan.
4. Mengetahui data Stand Meter Billing Reset (Bulanan) dan data pengukuran sesaat (*instantaneous measurement*).
5. Mengetahui Menentukan batas tarif Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan Waktu Beban Puncak (WBP).

⁴ Muhammad Haidar, Sistem Kerja *Automatic Meter Reading (AMR)* di PT PLN Persero UP3 Palembang, Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2015, Hlm.28



2.2.3. Manfaat *Automatic Meter Reading* ⁵

Manfaat dipasangnya *AMR* adalah sebagai berikut :

1. Hasil pencatatan meter lebih akurat dan aktual.
2. Evaluasi beban pelanggan.
3. Pemakaian kWh oleh pelanggan dapat terpantau/diawasi dan dapat dibaca setiap saat.
4. Upaya peningkatan mutu pelayanan melalui informasi data penggunaan energi listrik secara langsung yang dikonsumsi oleh pelanggan dalam bentuk *record*.

2.2.4. Keuntungan Sistem *Automatic Meter Reading*

Dengan menggunakan sistem *AMR*, maka kita akan dapat memperoleh beberapa keuntungan yang diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Pencatatan meter lebih akurat.
2. Proses penerbitan rekening lebih cepat (hasil pembacaan diolah sistem Billing secara otomatis).

2.2.5. Kelemahan *Automatic Meter Reading*

Selain terdapat beberapa keuntungan, sistem *AMR* ini juga mempunyai beberapa kelemahan yang sering terjadi. Beberapa kelemahan yang sering kita jumpai adalah sebagai berikut:

1. Investasinya mahal.
2. Biaya komunikasi GSM cukup mahal.
3. Media komunikasi masih sering terganggu dan ketergantungan kepada Provider.
4. Gangguan pada sistem *AMR*, tidak hanya kurangnya sinyal yang didapat tetapi juga dari faktor eksternal seperti kerusakan yang terjadi pada modem.

⁵ Wiharja, Ujang. 2007. Analisis Deteksi Ketidaknormalan Meter Elektronik Dengan Sistem *Automatic Meter Reading*. Jurnal Ilmiah Elektro Krisna.6:89-96



2.2.6. Komponen Sistem Automatic Meter Reading⁶

Komponen sistem *Automatic Meter Reading* adalah :

- a. Perangkat Keras (*Hardware*), seperti Meter Elektronik atau ME, Modem, Komputer Client, Server, dan Media komunikasi.
- b. Perangkat Lunak (*Software*) seperti software meter dan software aplikasi.
- c. User / Pelaksana.

Adapun Konfigurasi peralatan yang digunakan oleh *Automatic Meter Reading*:

1. Meter elektronik atau digital yang dipasang di pelanggan.
2. Modem dan saluran telepon.
3. Komputer yang digunakan oleh user.

a. Perangkat keras (hardware)

1. Meter Elektronik

Meter elektronik merupakan alat yang mempunyai kemampuan untuk mengukur dan merekam besaran – besaran listrik : kWh, kVARh, kVA, Arus, Tegangan, Faktor Daya, Frekuensi dan lain-lain serta mampu merekam kejadian kejadian / ketidaknormalan pengukuran dalam periode tertentu (event log), mengukur kVA Max Demand serta mencatat waktu dan tanggal kejadian dan mengukur daya/energi di 4 kuadran aktif dan reaktif. Hasil rekaman besaran listrik tersebut disimpan dengan interval waktu 15, 30, 45, dan 60 menit atau sesuai dengan kebutuhan.

Meter elektronik yang digunakan di PLN berdasarkan edaran direksi PT PLN (Persero) No. 027.E/012/DIR/2004 tentang fitur dan protokol kWh Meter Elektronik terbagi atas tiga kelas akurasi meter elektronik, yaitu sebagai berikut:

1. Pelanggan TT (daya > 30 MVA) : kelas akurasi 0,2.
2. Pelanggan TM (daya >200 kVA) : kelas akurasi 0,5.
3. Pelanggan TM (daya, 200 kVA) : kelas akurasi 1,0 atau lebih baik.

⁶Cecep Munawar, "Automatic Meter Reading" diakses dari <https://cecepmunawar.wordpress.com/2021/03/07/automatic-meter-reading-AMR/> , 23 Mei 2022



(a) Wasion tipe iMeter 318 (b) EDM I tipe Mk10E (c) Itron tipe Nias CT

Gambar 2. 3 kWh Meter AMR yang Terpasang di Pelanggan

Beberapa fitur atau keutamaan meter elektronik adalah sebagai berikut:

1. Mengukur beberapa parameter listrik.
2. Mengukur daya/energi di empat kuadran aktif dan reaktif.
3. Mengukur kVA Max Demand serta mencatat waktu dan tanggal kejadiannya.
4. Merekam data hasil pengukuran antara lain energi aktif (kWh), energi reaktif (kVARh), besaran arus (A), tegangan (V), faktor daya (Cos Phi) dengan interval waktu 15, 30, 45, dan 60 menit atau sesuai dengan kebutuhan (programmable).
5. Desain dan arsitektur yang lebih baik dan efisien.
6. Dapat dibaca atau di program secara remote maupun lokal.

2. Modem

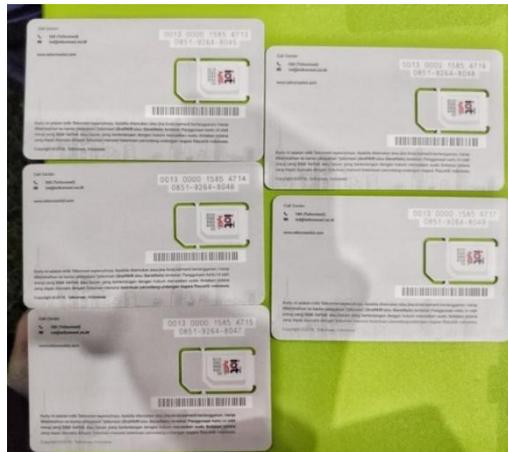
Modem adalah penggabungan keduanya, yang berarti bahwa modem adalah alat komunikasi dua arah. Modem ini berfungsi mengirimkan *load profile* pelanggan dari data metering digital kemudian dikirim ke server *Automatic Meter Reading* melalui provider yang telah dipilih. Modem yang digunakan di PT PLN (Persero) Area Ogan Ilir adalah modem *GSM / GPRS, Sanxing, MLIS, Deskylink, Wasion* yang dipakai sebagai penghubung antara saluran komunikasi dengan meter elektronik / komputer.



3. Media Komunikasi

Media atau saluran komunikasi dipakai untuk menghubungkan antara komputer dengan meter elektronik dapat berupa telepon PSTN atau GSM. Namun saat ini jaringan PSTN sudah tidak digunakan. Sedangkan untuk interface komunikasi yang paling umum tersedia di Meter Elektronik, dan juga pada IED (*Intelligent Electronic Device*) lainnya, adalah *interface Serial* (RS-485 / RS-232).

- *Global System for Mobile Communication* disingkat GSM adalah sebuah teknologi komunikasi seluler yang bersifat digital, tergolong dalam generasi kedua (2G) dan generasi ketiga (3G). Perbedaan utama sistem 2G dan 3G dengan teknologi sebelumnya terletak pada teknologi digital yang digunakan. Teknologi ini memanfaatkan gelombang mikro dan pengiriman sinyal yang dibagi berdasarkan waktu, sehingga sinyal informasi yang dikirim akan sampai pada tujuan.



Gambar 2. 4 Kartu Gsm Telkomsel

- *GPRS (General Packet Radio Service)* adalah suatu teknologi yang memungkinkan pengiriman dan penerimaan data lebih cepat jika dibandingkan dengan penggunaan teknologi *Circuit Switch Data* atau CSD. Sering disebut pula dengan teknologi 2,5G. Sistem GPRS dapat digunakan untuk transfer data (dalam bentuk paket data) yang berkaitan dengan email, data gambar (MMS), dan penelusuran (browsing) internet



4. Kabel USB

Kabel USB merupakan komponen yang digunakan pada sistem AMR yang ada di lapangan yang berfungsi untuk menghubungkan data pada memori meter elektronik dengan modem.

5. *Power Supply / Charger*

Charger merupakan komponen pendukung pada sistem AMR yang berfungsi untuk memberikan supply pada modem, agar modem dapat bekerja dengan tegangan yang sesuai dan stabil

6. Antena

Fungsi Antena sendiri adalah penangkap sinyal yang dipancarkan oleh tower komunikasi. perintah yang sudah dikirim dari *control room* PLN akan disalurkan melalui komunikasi jaringan internet yang mana akan melalui tower komunikasi setelah itu sinyal dikirim akan ditangkap oleh antena yang berada di dalam box APP kWh Meter.



Gambar 2. 5 Perangkat Komunikasi

a) Power Supply b)Modem c) Antena d) Kabel USB e) Stop kontak

b. Perangkat Lunak (Software)

1. Software Meter

Amethyst Software AMR mempunyai fungsi utama untuk menyimpan data-data yang dibaca dari Meter ke dalam format / tabel *database*, untuk digunakan oleh aplikasi lainnya (*Energi Process Information*). Software AMR terdiri atas tiga bagian, yakni :



1. *Protokol Driver* (fungsi pengambilan / penerimaan data)
2. *Gateway / Data Handler* (fungsi pemisahan dan pengolahan data)
3. *Database* (fungsi penyimpanan data)

2. Software Aplikasi

Software aplikasi yang digunakan bersifat khusus untuk membaca berbagai macam tipe/meter. Software aplikasi yang digunakan di PT PLN (Persero) UP3 Ogan Ilir adalah *AMICON Delta Wye, Castalia, Aisystem software* baca untuk semua meter.

Tabel 2. 2 Merk Meter Elektronik⁷

MERK ME	SW Konfigurasi	SW Baca
EDMI	Eziview	Eziview
ITRON	AIMS	se@metris
WASION	WPMS	WISEAM

Sistem *AMR* dilengkapi dengan beberapa integrasi-integrasi untuk lebih meningkatkan mutu pelayanan terhadap pelanggan, diantaranya yaitu :

1. Integrasi dengan *billing system*. Keluaran *AMR* langsung dijadikan masukan dalam proses penerbitan rekening, tanpa melakukan entry data lagi. Data billing yang diambil dilakukan secara otomatis.
2. Integrasi dengan aplikasi web *AMICON*. Keluaran *AMR* dimasukkan ke dalam website PLN yang dapat diakses oleh masing-masing pelanggan, dengan menggunakan ID pelanggan.

3. Front End Processor (FEP)

Adalah perangkat yang berfungsi membaca meter elektronik, mengumpulkan, menyimpan dan menampilkan semua besaran listrik dan energi sesuai setting meter tersebut. FEP dan Meter Elektronik harus dikoneksikan dalam sistem komunikasi yang baik melalui media *Direct Cable*, PSTN maupun GSM.

⁷ Yuliana, Hetty. 2013. Deteksi Ketidaknormalan Pengukuran Energi Listrik Melalui Pemantauan Sesaat Pada Sistem *AMR*(Automatic Meter Reading) di PT. PLN (Persero) Area Bekasi

*Minimum requirement:*

- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| a. <i>Operating System</i> | : Windows NT/2000 service pack 4 |
| b. <i>Processor</i> | : Pentium III, 1 Ghz |
| c. <i>Main Memory</i> | : 256 MB |
| d. <i>Hardisk</i> | : 20 GB |
| e. <i>Model / Type</i> | : Industrial PC atau Server |

4. Database Server

AMR dilengkapi dengan *Database Server* yang menggunakan *Oracle*. Dengan database ini diharapkan manajemen penyimpanan data akan lebih optimal dan aman serta bisa diintegrasikan dengan sistem informasi yang telah diimplementasikan oleh PT PLN (Persero). Kapasitas data maksimum yang dapat ditampung oleh Database ini adalah sejumlah 10.000 unit data meter.

Minimum Requirement :

- | | |
|----------------------------|------------------------------------|
| a. <i>Operating System</i> | : Windows NT/2000 service pack 4 |
| b. <i>Database System</i> | : Oracle Server Enterprise Edition |
| c. <i>Processor</i> | : Pentium IV, 2 Ghz |
| d. <i>Main Memory</i> | : 1024 MB |
| e. <i>Hardisk</i> | : 80 GB |
| f. <i>Model / Type</i> | : Industrial PC atau Server |

5. PC Clint (Data Management)

Perangkat yang berfungsi memberikan fasilitas kepada operator, antara lain untuk:

- 1) Melakukan pencetakan *report summary* dan *executive report*
- 2) Melakukan pencetakan stand untuk billing.

Minimum requirement :

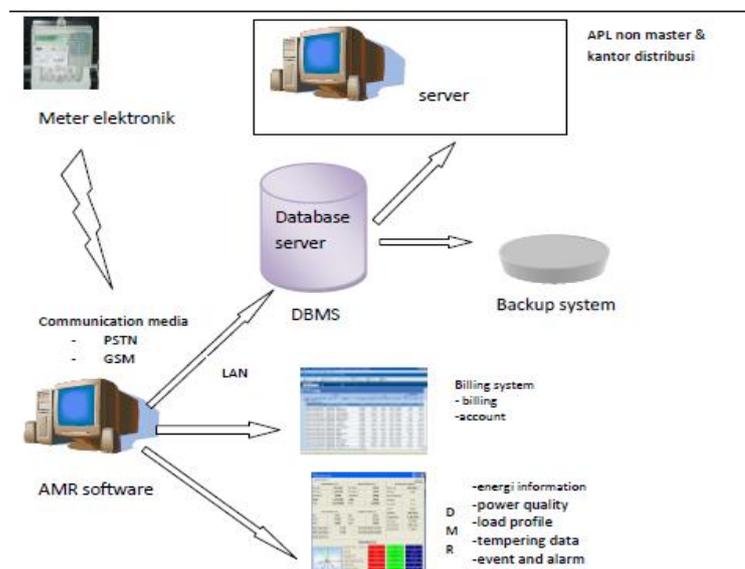
- | | |
|----------------------------|-------------------------------|
| a. <i>Operating System</i> | : Windows 9x / Me / 2000 / Xp |
| b. <i>Processor</i> | : Pentium III |
| c. <i>Main Memory</i> | : 128 MB |
| d. <i>Hardisk</i> | : 10 GB |



2.3. Penarikan Data AMR

2.3.1. Penarikan Data kWh Meter AMR

Transaksi bisnis listrik di PT PLN (Persero) dengan konsumennya secara substansial ditentukan oleh pemakaian daya dan pemakaian energi dari konsumen. Pemakaian daya terkait dengan daya terpasang pada konsumen dan menyangkut pembayaran tetap setiap bulan berdasarkan Rp/VA. Sedangkan pemakaian energi dibayar berdasarkan kategori tarif konsumen dan Rp/kWh. Penarikan data dari kWh meter AMR dilakukan secara telemetri. Adapun cara penarikannya dapat diilustrasikan dengan konfigurasi sistem AMR:



Gambar 2.5 Proses penarikan data AMR

Prinsip kerja dari sistem jaringan komunikasi AMR adalah sebagai berikut. Pusat kontrol membuat panggilan penarikan data berupa *short message service* (SMS) penarikan data yang dikirim melalui modem yang terpasang ke front-end yang terhubung dengan sistem jaringan telekomunikasi provider GSM. Sehubungan sistem GSM hanya memiliki fitur SMS, maka pengiriman SMS dapat dilakukan dengan per grup. Jumlah kWh meter AMR per grup ditentukan oleh jumlah port di router pusat kontrol ke kWh meter pelanggan. Gangguan yang sering terjadi pada komunikasi data tersebut biasanya disebabkan oleh gangguan sinyal, gangguan/kerusakan pada modem, gangguan/kerusakan pada simcard di kWh meter pelanggan.



Sistem jaringan komunikasi *AMR* terbagi atas tiga bagian, yakni :

1. Pusat Kontrol (*Control Center*)

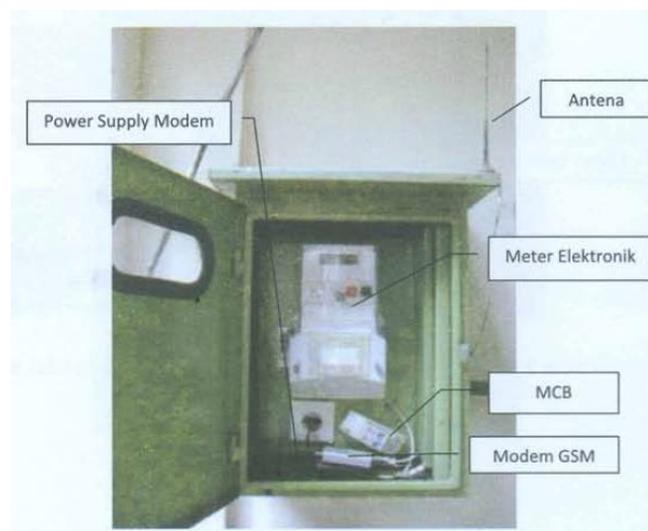
Pusat kontrol adalah pusat pengaturan sistem *AMR*, fungsi dari pusat kontrol adalah penarikan data dari kWh meter *AMR*, penyimpanan *database*, *monitoring* jaringan berdasarkan data yang diterima dan data diambil oleh pihak lain (dalam hal ini penarikan data oleh pihak area pelayanan).

2. Jaringan Komunikasi

Jaringan Komunikasi yang digunakan saat ini adalah jaringan selular dengan mengirimkan perintah penarikan data dengan *short message service*.

3. kWh Meter *AMR*

kWh ME yang dikombinasikan dengan modem selular. Untuk fitur lainnya dapat dibaca di pusat kontrol baik di area jaringan (*Server*) dan Area Pelayanan (*Client*) sesuai dengan tampilan software DMR dan software pembuatan tagihan (*billing*). *Real time* (energi, arus dan tegangan), *Stand energi* (kWh, KVARh) & kVA Max, *Load profile* (angka dan kurva), DLPD dengan berbagai parameter.



Gambar 2. 6 kWh Meter *AMR* yang Terpasang di Pelanggan

Bagian terakhir adalah kWh meter *AMR* di pelanggan, yang berfungsi sebagai pembatas daya listrik dan pengukur energi yang dipakai oleh pelanggan. Untuk kWh ME yang digunakan pada sistem *AMR* ini dapat mengukur :



2.3.2. Penarikan Data Dengan Modem

Pada dasarnya, sistem *AMR* ini memanfaatkan kWh meter elektronik yang diintegrasikan dengan modem komunikasi. Di PT PLN (Persero) UP3 Ogan Ilir memanfaatkan modem GPRS. Pertimbangan menggunakan modem tersebut karena pemasangannya lebih mudah dan lebih cepat jika dibandingkan dengan CSD.

Pada pusat kontrol membuat panggilan penarikan data berupa *dialing* penarikan data yang dikirim melalui modem yang terpasang ke *front end* yang terhubung dengan sistem jaringan telekomunikasi provider seluler. Ketika hendak melakukan inisiasi modem, dengan cara mendial nomor SIM pada meter *AMR* yang dituju apabila jaringan GSM sisi pemanggil dapat melayani panggilan tersebut, maka akan dilakukan pengecekan nomor yang dipanggil dan kondisi jaringannya. Apabila nomor yang dipanggil sedang *idle* dan jaringan GSM dapat melayani panggilan tersebut, maka terbentuklah koneksi data antara modem pemanggil dengan modem pemanggil. Selanjutnya *CC (Control Center)* akan mengirimkan perintah baca ke meter *AMR* dan mengirimkan data – data yang dibaca melalui koneksi data yang sudah terbentuk. Terkadang juga didapati gangguan berupa pembacaan nomor SIM yang tidak terbaca, hal ini dikarenakan nomor SIM yang sudah rusak dan harus diganti dengan yang baru.

2.3.3. Kegagalan Baca Pada Sistem *AMR*

Kegagalan baca pada sistem *AMR* sebagian besar disebabkan oleh gangguan komunikasi. Kegagalan download data harian yang dilakukan oleh sistem *AMR* terhadap meter di pelanggan yang berakibat tidak lengkapnya data suatu pelanggan. Sehingga harus dilakukannya perbaikan di meter pelanggan yang tidak bisa ditarik datanya oleh sistem *AMR*. Kegagalan pada sistem *AMR* meliputi (Hariyati, 2015).

1. kegagalan pada saat *billing* atau *End Of Billing (EOB)* siklus *billing* dimulai tanggal 1 jam 10.01 sampai dengan tanggal 1 jam 10.00 bulan berikutnya. Penyebabnya adalah ketidak sinkronnya waktu antara meter dan server *AMR*.
2. Kegagalan Komunikasi Penyebabnya adalah kegagalan pada modem, koneksi ke modem gagal disebabkan modem rusak, sinyal buruk, kabel data putus atau rusak, port kabel modem pada meter rusak.



3. Kegagalan pada Meter

Port komunikasi pada meter rusak, tahun pada meter berubah karena usia meter dan meter rusak. Indikasi pelanggaran atau kelainan di sisi *wiring* meter, CT maupun PT berdasarkan data arus dan tegangan nol Selain *load profile*, *Diagram Phasor* menunjukkan kondisi pemakaian energi listrik yang diukur oleh meter AMR. Dalam penggunaannya, meter AMR tidak selalu menunjukkan jarum meter Fasa S, R, atau T dengan benar.

2.4. Pengukuran Energi Listrik ⁸

Pengukuran energi listrik menggunakan dua jenis alat ukur yaitu :

1. Pengukuran secara elektro mekanik dengan menggunakan kWh meter analog, adalah alat ukur energi listrik yang bekerja secara elektromagnetik.
2. Pengukuran secara elektronik dengan menggunakan *microprocessor* sebagai pengaturan pemrosesan data sampai dengan menampilkan hasil perhitungan di layar *liquid crystal display* (LCD).

Pengukuran dengan kWh meter *Automatic Meter Reading* (AMR) meliputi pengukuran besaran listrik berupa:

1. Energi : kWh, kVARh
2. Tegangan : Voltage
3. Arus : Ampere
4. Faktor kerja : $\cos \phi$

Besaran listrik yang akan diukur menyangkut pemakaian tenaga listrik oleh pelanggan PT PLN (Persero). Hal ini berkaitan dengan bisnis tenaga listrik PT PLN (Persero) terhadap konsumennya. Bisnis tenaga listrik antara PT PLN (Persero) dengan konsumennya secara garis besar mengacu pada tarif dasar listrik PT PLN (Persero).

⁸Hayt, William H; Kemmerly, Jack E; & Durbin, M.Steven. 2005. *Rangkaian Listrik: Edisi Keenam*. Jakarta: Erlangga



1. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang sebenarnya digunakan energi ini akan berubah menjadi energi lain misalnya energi panas, cahaya dll. Daya ini dilambangkan dengan huruf P dengan satuan Watt, untuk beban resistif maka faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi sama dengan 1. Rumus untuk menghitung daya aktif ini adalah:

$$P = V \cdot I \cos \phi \dots\dots\dots(2.1)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cos \phi \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

P = Daya Aktif

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

$\cos \phi$ = Faktor daya

2. Daya Reaktif

Daya Reaktif adalah daya yang digunakan untuk pembentukan medan magnet pada beban yang memiliki karakteristik induktif, seperti motor, pompa, lampu TL dll, daya ini memiliki symbol Q dengan satuannya Var atau Kvar, biasanya beban ini akan menurunkan faktor daya ($\cos \phi$) kurang dari. Daya reaktif ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = V \cdot I \sin \phi \dots\dots\dots(2.3)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \sin \phi \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

P = Daya Aktif

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

$\sin \phi$ = Faktor daya

3. Daya Semu

Daya semu dilambangkan dengan simbol S dengan satuannya VA (Volt Ampere) Daya ini terbentuk dari penjumlahan vektor daya aktif dan daya reaktif. Hubungan dari tiga jenis daya ini dapat dilihat dari segitiga daya berikut:



$$S = V.I \dots\dots\dots(2.5)$$

$$S = \sqrt{3} . V . I \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

P = Daya Aktif

Q = Daya reaktif

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

4. Faktor daya (Power factor)

Faktor daya (pf) yang dilambangkan oleh $\cos \phi$ adalah perbandingan yang menyatakan besarnya daya nyata (P) dibandingkan daya semu (S) :

$$\cos \phi = \frac{P \text{ (watt)}}{S \text{ (VA)}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

P = Daya Aktif

S = Daya Semu

Dilihat dari jenis beban listrik dibagi menjadi 3 jenis kelompok beban yaitu beban resistif, induktif, dan kapasitif. Nilai dari faktor daya yang ditentukan oleh jenis beban yang terpasang pada instalasi listrik.

1. Beban Resistif

Beban resistif adalah beban yang dihasilkan oleh peralatan-peralatan yang murni bersifat tahanan (*resistor*) seperti pada lampu pijar atau elemen pemanas, energi listrik tersebut nantinya akan berubah dan habis menjadi energi lain seperti cahaya, energi panas dll, oleh karena itu beban resistif ini akan selalu ditopang oleh daya nyata, berikut gambar dari tegangan dan arus yang terjadi pada beban resistif.



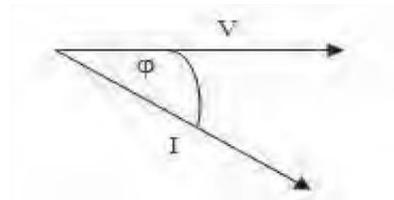
Gambar 2. 7 Tegangan Dan Arus Pada Beban Resistif

2. Beban Induktif

Beban induktif adalah beban yang terjadi karena peralatan listrik yang terdapat lilitan kawat (kumparan) di dalamnya, beban ini bersifat reaktif dimana energi



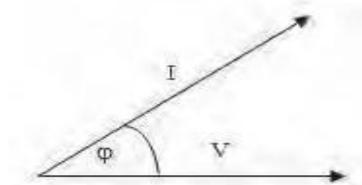
listrik akan digunakan untuk membangkitkan medan magnet pada lilitan atau dalam kata lainnya beban induktif menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik, hal inilah yang menyebabkan arus *lagging* terhadap tegangan sehingga menyebabkan beda fasa 90° , beban induktif akan menggunakan daya reaktif sebagai sumber dayanya, hal ini tidak akan merugikan konsumen secara langsung, karena bila $\cos \phi$ masih di atas 0.85 pelanggan tidak akan dikenakan biaya, namun jika $\cos \phi$ menjadi turun dibawah 0.85 maka PLN memiliki kebijakan, konsumen harus membayar tarif untuk daya reaktif tersebut karena daya reaktif akan menyebabkan losses energi yang menyebabkan PLN merugi selaku penyedia, berikut gambar arus terhadap tegangan pada beban induktif.



Gambar 2. 8 Tegangan Dan Arus Pada Beban Induktif

3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif merupakan beban yang berkebalikan dengan beban induktif dimana ia akan menyimpan tegangan terlebih dahulu sampai memenuhi kapasitasnya dan baru mengeluarkannya menyebabkan arus *leading* terhadap tegangan sebesar 90° , hal ini yang dimanfaatkan untuk memperbaiki $\cos \phi$ yang terjadi bila ternyata $\cos \phi$ kurang dari 1, atau terdapat beban induktif pada sisi beban sehingga terjadi *losses* daya, namun bila kapasitor yang dipasang melebihi beban induktif maka beban akan bersifat kapasitif, oleh karena itu kapasitor harus disesuaikan dengan kebutuhan, berikut gambar arus terhadap tegangan yang terjadi pada beban kapasitif.



Gambar 2. 9 Tegangan Dan Arus Pada Beban Kapasitif



2.5. Alat Pembatas dan Pengukur

Pembatasan yang dimaksud ialah menentukan pembatas pemakaian daya sesuai daya tersambung guna mengamankan alat ukur juga jaringan yang terhubung, pembatas sendiri mempunyai kegunaan dan jenisnya sendiri sesuai dengan arus beban yang terhubung, yang termasuk pembatas diantaranya : MCB, MCCB, NFB, Fuse , OCR + PMT.

2.5.1. Pengertian APP⁹

APP (alat pembatas dan pengukur) merupakan alat milik PT.PLN (Persero) yang digunakan untuk membatasi daya listrik yang dipakai dan digunakan untuk mengukur dan membatasi pemakaian energi listrik oleh konsumen. Alat pengukur adalah suatu benda yang digunakan untuk mengukur pemakaian energi dan daya yang terpakai oleh konsumen. Sedangkan alat pembatas adalah suatu benda yang digunakan untuk membatasi pemakaian daya sesuai yang tersambung di alat pembatas. APP terdiri dari beberapa komponen yaitu Trafo arus (CT), Meter energi (kWh meter dan kVARh meter), *Timer Switch*, *Mini circuit Breaker* (MCB), Beberapa komponen tersebut, khususnya meter energi dipasang dalam suatu kotak, yang dinamakan kotak APP.

2.5.2. Macam - Macam APP Sesuai Standar PLN (SPLN 55 - 90)

Di dalam buku SPLN 55 dijelaskan beberapa macam APP berdasarkan tipe yang digunakan karena untuk bahan pengukuran pada APP disesuaikan dengan Pengukuran dan tarif yang dikenakan berikut beberapa macam APP yang dipergunakan :

- APP type I A : pengukuran TR kWh 1 fasa : 5/20 A
- APP tipe I B : pengukuran TR kWh 1 fasa : 20/60 A, 50/100 A
- APP tipe III A : pengukuran TR kWh 3 fasa tarif tunggal : 3x20/60 A ; 3x50/100 A
- APP tipe III B : pengukuran TR kWh dan kVARh 3 fasa tarif ganda : 3x20/60 A ; 3 x 50/100 A

⁹ PT PLN (Persero) SPLN tentang Manajemen APP



- APP tipe IA khusus : pengukuran TR 3 P-4 W menggunakan CT, tarif tunggal 100 - 300 A
- APP tipe IB khusus : pengukuran TM-TR kWh dan kVARh 3 P-4 W menggunakan CT, tarif tunggal 100-500 A, 600-1000 A
- APP tipe IC khusus : pengukuran TM-TR kWh dan kVARh 3 P-4 W menggunakan CT, tarif ganda 100-500 A, 600-1000 A
- APP tipe IIA khusus : pengukuran TM kWh 3 P-3W menggunakan CT dan PT tarif tunggal
- APP tipe IIB khusus : pengukuran TM kWh 3 P-4 W menggunakan CT dan PT tarif tunggal
- APP tipe IIC khusus : pengukuran TM kWh dan kVARh 3 P-3 W menggunakan CT dan PT tarif tunggal
- APP tipe IID khusus : pengukuran TM kWh dan kVARh 3 P-4 W menggunakan CT dan PT tarif tunggal
- App tipe II E khusus : pengukuran TM kWh dan kVARh 3 P-3 W menggunakan CT dan PT tarif ganda
- APP tipe II F khusus : pengukuran TM kWh dan kVARh 3 P-4 W menggunakan CT dan PT tarif ganda

2.5.3. Pengukuran Secara Elektronik

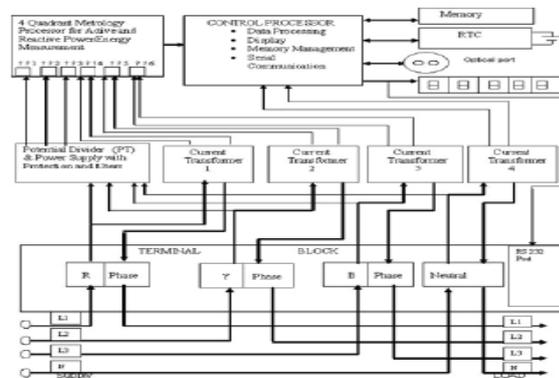
Dibandingkan kWh meter analog, kWh meter elektronik (kWh ME) memiliki kelebihan dengan tampilan layar LCD (display LCD) pembacaannya lebih akurat, menggunakan memori untuk menyimpan data pencatatan meter, serta perhitungan yang terdiri dari beberapa *processor* dan *display*.

Processor diprogram untuk menghitung periode T tertentu, misal untuk 1 bulan ($T = 1$ bulan) untuk hasil perhitungan kWh 1 bulan. Perhitungan dan penjumlahan ini dilakukan dengan cara *scanning* 6 MHz. *Processor* bisa juga di program untuk menghitung besaran lain. Misal kVA maks, kWh LWBP dan kWh WBP. Pemakaian kWh meter elektronik (kWh ME) dikembangkan menjadi dua macam kWh ME :

- a. kWh ME *Postpaid*
- b. kWh ME *Prepaid*



Dengan modem yang dikombinasikan dengan kWh ME *postpaid*, maka sangat memungkinkan pencatatan meter dilakukan jarak jauh.



Gambar 2. 10 Diagram Blok kWh Meter

2.5.4. Sistem Pengukuran Wh Meter 3 Fasa ¹⁰

Sistem pengukuran energi listrik terdiri dari dua macam yaitu:

- Pengukuran Langsung satu fasa digunakan pada pelanggan yang daya kontaknya dibawah 6.600 VA. Untuk pengukuran langsung tiga fasa digunakan pada pelanggan yang daya kontraknya di atas 6.600 VA sampai dengan 33.000 VA. Hal tersebut disesuaikan dengan Edaran Direksi nomor 018 .E/012 /DIR /2002 .
- Pengukuran tidak langsung digunakan pada pelanggan yang daya kontraknya lebih dari 13.900 VA. Hal tersebut disesuaikan dengan Edaran Direksi nomor 018.E/012/DIR/2002.

2.5.5. Meter Energi kWh Meter

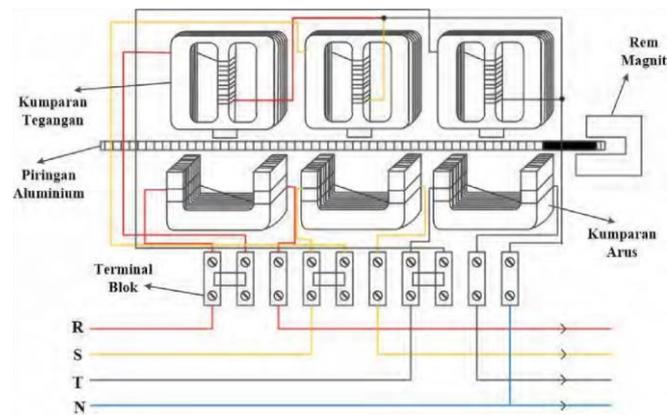
kWh meter merupakan alat pengukur energi listrik yang mengukur secara langsung hasil kali tegangan, arus faktor kerja, kali waktu yang tertentu ($V \cdot I \cdot \cos \phi \cdot t$) yang bekerja selama jangka waktu tertentu. Hal ini berdasarkan kerjanya induksi magnetik oleh medan magnet yang dibangkitkan oleh arus melalui kumparan arus terhadap piringan kWh meter, dimana induksi magnetik ini berpotongan dengan induksi magnetik yang dibangkitkan oleh arus melewati

¹⁰ Prihatna, Teana.2005. Analisa Kesalahan Pengukuran kWh Meter Tiga Fasa 4 kawat Pengukuran Tidak Langsung TR. Politeknik Negeri Bandung



kumparan tegangan terhadap piringan yang sama. kWh meter 3 fasa banyak digunakan di industri-industri maupun rumah mewah. Karena tegangannya 3 fasa, maka kWh meter ini memiliki 3 kumparan arus, 3 kumparan tegangan, dan 3 kumparan pengatur $\text{Cos } \varphi$

1. Bagian-bagian kWh meter dan fungsinya



Gambar 2. 11 Diagram Pengawatan kWh meter 3 fasa 4 kawat

Keterangan:

1. Kumparan Tegangan Terdapat beberapa kumparan tegangan sesuai dengan jenis kWh meter misalnya Pada kWh meter 3 fasa 4 kawat memiliki 3 set kumparan tegangan
2. Kumparan arus Kumparan arus yang terdapat pada kWh meter berbeda-beda tergantung jenis kWh meter dan pengawatannya, Kumparan arus dilengkapi dengan kawat tahanan atau lempengan besi yang berfungsi sebagai pengatur *cosinus phi* (Factor Kerja) seperti pada kWh meter 3 fasa 4 kawat memiliki 3 set kumparan arus
3. Piringan digerakan oleh medan magnet yang terjadi pada dua buah kumparan yang diujung terdapat bantalan sehingga menggerakkan piringan tanpa mengalami gesekan sekecil mungkin.
4. Rem magnet terbuat dari magnet permanen yang mempunyai kegunaan untuk mengatasi akibat adanya gaya berat, meredam ayunan putaran piringan, dan juga sebagai alat kalibrasi arus



5. Register merupakan alat pencatat di dalam kWh meter sehingga putaran yang terjadi sesuai dengan konstanta putaran kWh akan mengkonversikan putaran piringan menuju roda gigi yang akan menggerakkan angka pada register.
6. Terminal Blok berfungsi untuk menyambungkan pengawatan kumparan arus dan kumparan tegangan yang dibutuhkan kWh meter
7. *Name plate* digunakan untuk mencantumkan informasi-informasi dasar yang terdapat pada kWh meter. Pada *nameplate* dari meter energi tercantum data/informasi.



Gambar 2. 12 Contoh *Name plate* kWh meter

Pada *Name Plate* kWh meter tercantum beberapa informasi yaitu:

- a. Nama alat / merek pabrik
- b. Tipe atau jenis meter
- c. Cara pengawatan : satu fasa, 2 kawat; tiga fasa, 3 kawat; tiga fasa, 4 kawat
- d. Tegangan
- e. Arus
- f. Frekuensi
- g. Konstanta meter
- h. Kelas
- i. Satuan energi listrik

2. Cara Kerja kWh Meter

Cara kerja dari kWh meter tergantung dari induksi medan magnet yang terjadi karena arus yang melalui kumparan arus terhadap piringan kWh meter, pada



saat yang sama induksi medan magnet yang terjadi pada kumparan tegangan juga mengenai piringan kWh sehingga piringan dapat berputar. Koppel putar dapat dibangkitkan terhadap piringan karena induksi magnetik kedua medan magnet di atas bergeser fasa 90° satu terhadap lainnya (Azas Ferrari). Hal ini dimungkinkan dengan konstruksi kumparan tegangan dibuat dalam jumlah besar gulungan sehingga dapat dianggap induktansi murni.

Arus listrik yang berubah mengakibatkan kumparan arus berubah berdasarkan waktu sedangkan Kumparan tegangan membantu mengarahkan medan magnet agar menerpa permukaan aluminium sehingga terjadi suatu gesekan antara piringan aluminium dengan medan magnet di sekelilingnya. Dengan demikian maka piringan tersebut mulai berputar dan kecepatan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus listrik yang melalui kumparan arus. Jumlah putaran tersebut sebanding dengan energi yang terukur karena putaran tersebut adalah mengukur daya sedangkan daya yang terukur berdasarkan waktu disebut dengan energi.

$$W = V \cdot It = I^2 \cdot Rt \dots\dots\dots (2.8)$$

W = Energi yang digunakan berbanding lurus dengan Waktu, maka :

$$W = P \cdot t \dots\dots\dots (2.9)$$

Jadi untuk menghitung besarnya energi listrik yang digunakan pada kWh meter yaitu menggunakan formulasi sebagai berikut :

$$n = Cz \cdot P \dots\dots\dots (2.10)$$

$$P = n / Cz \dots\dots\dots (2.11)$$

$$W = P \dots\dots\dots (2.12)$$

$$W = \frac{n}{Cz} t \dots\dots\dots (2.13)$$

$$P = \frac{3600 \times n}{Cz \times t} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

P = Daya listrik (watt)

3600 = Konversi jam ke detik

n = Putaran Piringan (put/detik)



2.5.6. Meter Energi kVARh Meter

1. Pengertian kVARh Meter

kVARh meter merupakan alat pengukuran yang mempunyai cara kerja yang sama dengan kWh meter yang membedakan adalah kVARh mengukur daya reaktif yang terjadi pada beban dengan satuan VAR/jam, alat ukur ini biasanya dihubungkan paralel dengan kWh meter untuk bahan pengukuran yang berhubungan dengan tarif yang nantinya dibebankan pada pelanggan hal yang penting adalah kVARh itu sendiri mengukur beban yang memiliki faktor daya ($\cos \phi$) kurang dari 1 yang biasanya terdapat pada jenis beban seperti pada alat pemanas (*Heater*) adanya unsur lilitan dan inti besi seperti ballast di lampu TL, motor-motor listrik, las listrik dan trafo menyebabkan nilai faktor dayanya kurang dari 1, daya ini biasanya tidak terukur pada kWh karena daya reaktif sendiri terbuang untuk fluks medan magnet yang terjadi pada beban yang memiliki lilitan, Daya ini tidak akan hilang dan akan terus ada dalam sistem (terus berbolak-balik dan beban), satuannya adalah VAR. sedangkan jenis beban yang memiliki ($\cos \phi$) 1 merupakan beban resistif dan merupakan daya aktif.

Daya aktif adalah daya yang benar-benar terpakai oleh beban dan akan hilang setelah dipakai, satuannya adalah watt (W). Untuk bisa mendapatkan hasil pengukuran $V.I.\sin\phi.t$, pada pengawatan kVARh polaritas kumparan arus dibalik untuk kVARh 1 fasa, untuk kVARh 3 fasa menggunakan hubungan segitiga pada kumparan tegangannya. kVARh dipergunakan untuk mengukur besarnya pemakaian energi pada konsumen yang mempunyai $\cos \phi$ kurang dari 0.85 atau pada konsumen konsumen yang mempunyai sudut fasa lebih besar dari $36,86^\circ$.

2. Bagian Pada kVARh Meter

Pada bagiannya sendiri kVARh mempunyai bagian-bagian yang sama dengan kWh yang membedakan adalah pengukuran daya yang diukur yaitu daya reaktif hal tersebut dapat terjadi dengan menghubungkan segitiga kumparan tegangan sedangkan kumparan arus tetap berikutan bagian-bagian pada kVARh:



1. Kumparan Tegangan Terdapat beberapa kumparan tegangan sesuai dengan jenis kWh meter misalnya Pada kWh meter 3 fasa 4 kawat memiliki 3 set kumparan tegangan
2. Kumparan arus Kumparan arus yang terdapat pada kWh meter berbeda-beda tergantung jenis kWh meter dan pengawatannya, Kumparan arus dilengkapi dengan kawat tahanan atau lempengan besi yang berfungsi sebagai pengatur *cosinus phi* (Faktor Kerja) seperti pada kWh meter 3 fasa 4 kawat memiliki 3 set kumparan arus
3. Piringan digerakan oleh medan magnet yang terjadi pada dua buah kumparan yang diujung terdapat bantalan sehingga menggerakkan piringan tanpa mengalami gesekan sekecil mungkin.
4. Rem magnet terbuat dari magnet permanen yang mempunyai kegunaan untuk mengatasi akibat adanya gaya berat, meredam ayunan putaran piringan, dan juga sebagai alat kalibrasi arus
5. Register merupakan alat pencatat di dalam kWh meter sehingga putaran yang terjadi sesuai dengan konstanta putaran kWh akan mengkonversikan putaran piringan menuju roda gigi yang akan menggerakkan angka pada register
6. Terminal Blok berfungsi untuk menyambungkan pengawatan kumparan arus dan kumparan tegangan yang dibutuhkan kWh meter
7. *Klem Spanning* berfungsi penghubung terminal arus dan kumparan tegangan

2.6. Kesalahan-Kesalahan Pengawatan Pada kWh Meter

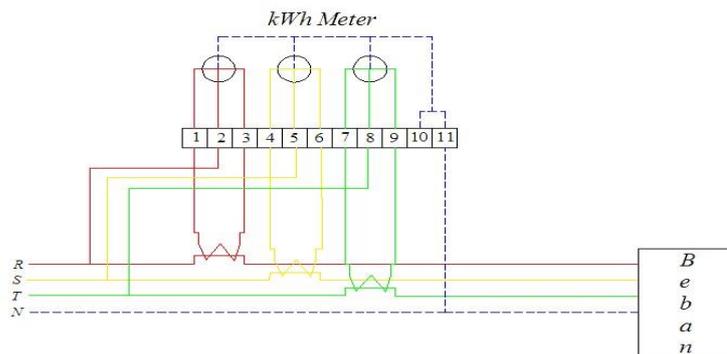
Kesalahan pemasangan wiring pada alat ukur energi antara kumparan arus, kumparan tegangan maupun netral pada kWh meter akan mempengaruhi ketelitian pengukuran pada kWh meter. Dengan demikian sistem pengkabelan (wiring) antara kumparan arus, kumparan tegangan dan netral pada kWh meter harus dipasang pada urutan yang tepat. Letak kesalahan wiring dapat terjadi pada alat ukur konsumsi energi yaitu berupa kesalahan urutan penghubungan fasa atau netral pada terminal kWh meter. Berikut ini kesalahan pengawatan pada kWh meter.



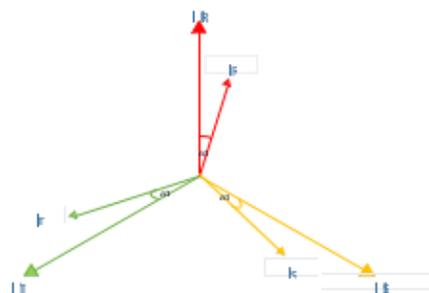
1. Pengawatan kWh Meter Sesuai Dengan Standar

Pada setiap kWh memiliki dua kumparan guna memutar piringan kWh meter yang membedakan adalah fase yang diukur dan jenis pengawatan yang digunakan contohnya pada kWh meter 3 fasa 4 kawat dalam keadaan normal setiap kumparan arus memiliki pengawatan yang tidak tertukar maupun tegangan yang sesuai dengan fasanya R,S dan T di dalam kWh.

Jika kita melakukan pengawatan yang sesuai dengan standar maka beda fasa yang terjadi pada masing-masing arus yaitu 120°, begitu pula dengan beda fasa antara masing-masing tegangan R,S dan T, sedangkan beda sudut yang terjadi antara arus dan tegangan sesuai dengan faktor daya yang diakibatkan jenis beban yang terpasang pada kWh.



Gambar 2. 13 Pengawatan Dalam Keadaan Normal



Gambar 2. 14 Vektor dalam keadaan normal

Rumus daya pada keadaan normal

$$P_1 = V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.15)$$

$$P_2 = V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.16)$$



$$P_3 = V_T \cdot I_T \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (2.17)$$

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots (2.18)$$

$$= (V_R \cdot I_R \cdot \cos \phi) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \phi) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \phi)$$

$$V_R = V_S = V_T = U$$

$$I_R = I_S = I_T = I$$

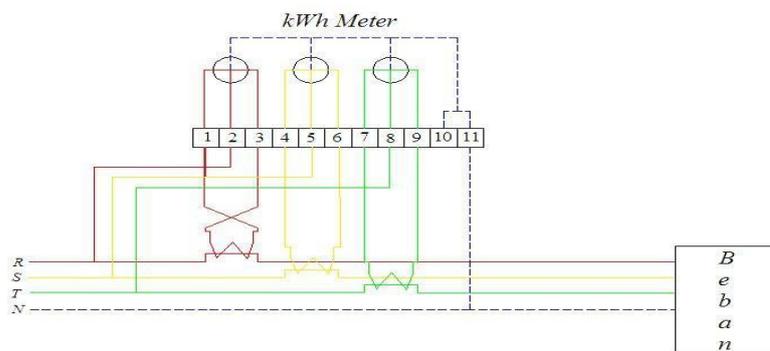
$$P_t = (U \cdot I) (\cos \phi + \cos \phi + \cos \phi)$$

$$= (U \cdot I) (3 \cos \phi) \dots\dots\dots (2.19)$$

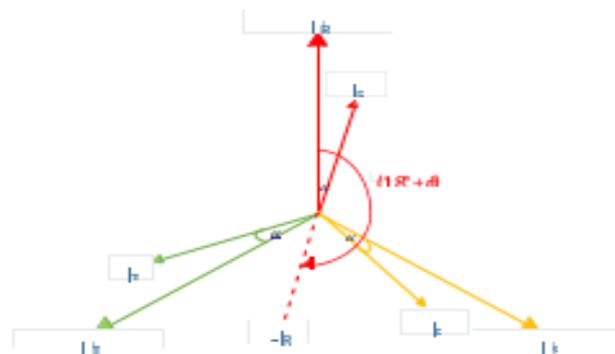
Maka dalam keadaan normal putaran piringan akan ke arah kanan dan bila dalam perhitungan rumus diatas maka hasilnya sama dengan $(U \cdot I) 3(\cos \phi)$.

2. Salah Satu Kumparan Arus Terbalik Pada kWh Meter

Jika kita merangkai dengan kesalahan salah satu kumparan arus terbalik pada kWh 3 fasa misalnya yang terjadi pada kumparan arus fasa R seperti yang terlihat pada gambar :



Gambar 2. 15 Contoh Salah Satu Kumparan Arus terbalik



Gambar 2. 16 Vektor Dalam Keadaan Arus Fasa R ditukar



Dalam keadaan pengawatan salah satu kumparan arus ditukar maka vektor yang terjadi seperti yang terlihat pada gambar terjadi perbedaan Fasa arus dan tegangan yang seharusnya $P_1 = V.I.\cos \phi$ menjadi $P_1 = V.I.\cos (180^\circ + \phi)$, hal ini disebabkan karena vektor arus dan tegangan berbeda $\cos (180^\circ + \phi)$, yang menyebabkan mengurangi putaran piringan karena medan magnet yang terjadi pada fasa R berkebalikan atau melawan arah putaran medan magnet fasa S dan T

Pada Kondisi tersebut daya yang akan terukur oleh kWh Meter adalah :

$$P_1 = V_R . I_R . \cos (180^\circ + \phi) \dots\dots\dots (2.20)$$

$$P_2 = V_S . I_S . \cos \phi \dots\dots\dots (2.21)$$

$$P_3 = V_T . I_T . \cos \phi \dots\dots\dots (2.22)$$

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots (2.23)$$

$$= (V_R . I_R . \cos (180^\circ + \phi)) + (V_S . I_S . \cos \phi) + (V_T . I_T . \cos \phi)$$

$$V_R = V_S = V_T = U$$

$$I_R = I_S = I_T = I$$

$$= (U . I) (\cos (180^\circ + \phi) + \cos \phi + \cos \phi)$$

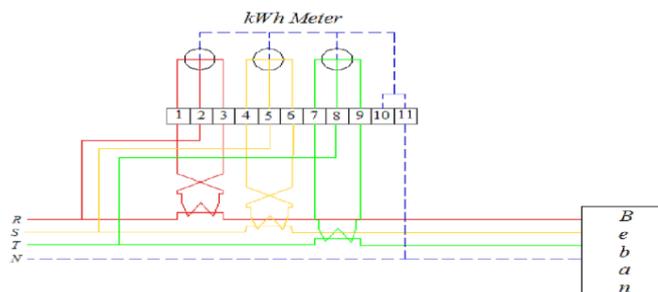
$$= (U . I) ((-\cos \phi) + \cos \phi + \cos \phi)$$

$$= (U.I) (\cos \phi) \dots\dots\dots (2.24)$$

Jika kita melihat perhitungan pada rumus yang terjadi pada kumparan arus yang ditukar maka akan terlihat bahwa arus pada fasa R mengurangi salah satu arus pada fasa S dan T namun masih tetap membuat piringan berputar searah jarum jam (kanan), maka daya yang terukur adalah 1/3 dari daya normal.

3. Dua Kumparan Arus Terbalik pada kWh meter

Kondisi yang terjadi pada pengawatan kWh meter yang ditukar kumparan arusnya seperti pada contoh gambar terlihat I_R dan I_S ditukar kumparan arusnya.



Gambar 2. 17 Contoh Dua Rangkaian Arus terbalik



Seperti yang terjadi pada pengawatan kWh meter salah satu kumparan arus tertukar, beda fasa yang terjadi pada masing-masing tegangan terhadap arus memiliki beda fasa sebesar $\text{Cos}(180^\circ + \varphi)$, maka jika kita masukan kedalam rumus perhitungan, Pada Kondisi tersebut daya yang akan terukur oleh kWh Meter adalah:

$$P_1 = V_R \cdot I_R \cdot \text{Cos}(180^\circ + \varphi) \dots\dots\dots (2.25)$$

$$P_2 = V_S \cdot I_S \cdot \text{Cos}(180^\circ + \varphi) \dots\dots\dots (2.26)$$

$$P_3 = V_T \cdot I_T \cdot \text{Cos} \varphi \dots\dots\dots (2.27)$$

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots (2.28)$$

$$= (V_R \cdot I_R \cdot \text{Cos}(180^\circ + \varphi)) + (V_S \cdot I_S \cdot (180^\circ + \varphi)) + (V_T \cdot I_T \cdot \text{Cos} \varphi)$$

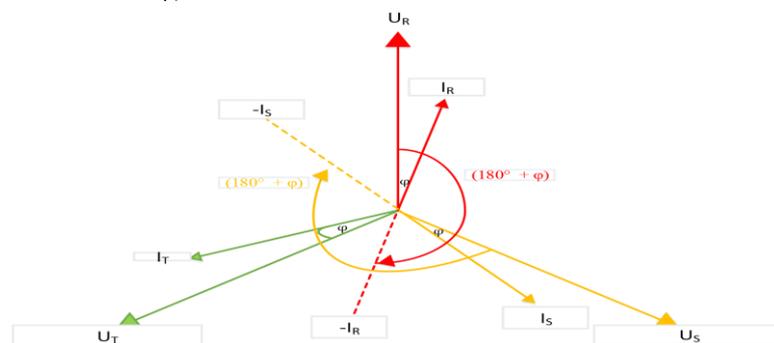
$$V_R = V_S = V_T = U$$

$$I_R = I_S = I_T = I$$

$$= (U \cdot I) (\text{Cos}(180^\circ + \varphi) + \text{Cos}(180^\circ + \varphi) + \text{Cos} \varphi)$$

$$= (U \cdot I) ((-\text{Cos} \varphi) + (-\text{Cos} \varphi) + \text{Cos} \varphi)$$

$$= (U \cdot I) (-\text{Cos} \varphi) \dots\dots\dots (2.29)$$

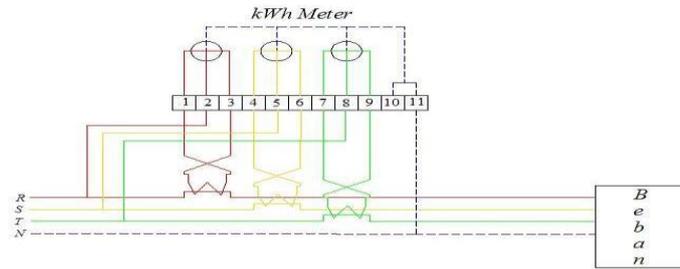


Gambar 2. 18 Vektor dalam Dua Rangkaian Arus terbalik

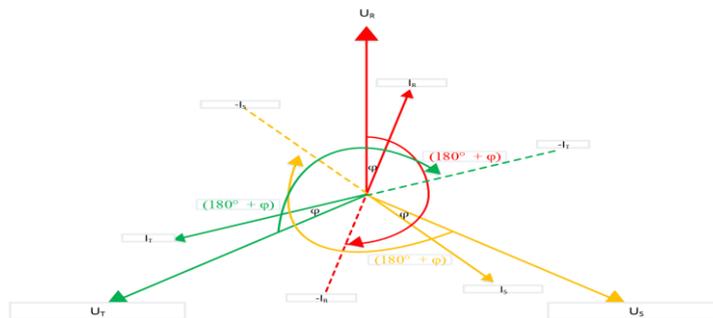
Hasil perhitungan yang terjadi adalah $(U \cdot I) (-\text{Cos} \varphi)$ artinya piringan kWh akan berputar berlawanan arah jarum jam (kiri) dengan kecepatan sama dengan satu fasa kumparan tegangan dan arus, atau sebesar $1/3$ putaran normal namun ke arah kiri.

4. Tiga Kumparan Arus Terbalik Pada kWh Meter

Kondisi yang terjadi pada pengawatan kWh meter yang ditukar kumparan arusnya seperti pada contoh gambar terlihat I_R dan I_S ditukar kumparan arusnya



Gambar 2. 19 Contoh Tiga Rangkaian Arus terbalik



Gambar 2. 20 Vektor Dalam Keadaan Arus Fasa R,S,T ditukar

Pada Kondisi tersebut daya yang akan terukur oleh kWh Meter adalah :

$$P_1 = V_R \cdot I_R \cdot \cos (180^\circ + \varphi) \dots\dots\dots (2.30)$$

$$P_2 = V_S \cdot I_S \cdot \cos (180^\circ + \varphi) \dots\dots\dots (2.31)$$

$$P_3 = V_T \cdot I_T \cdot \cos (180^\circ + \varphi) \dots\dots\dots (2.32)$$

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots (2.33)$$

$$= (V_R \cdot I_R \cdot \cos (180^\circ + \varphi)) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos (180^\circ + \varphi)) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos (180^\circ + \varphi))$$

$$V_R = V_S = V_T = U$$

$$I_R = I_S = I_T = I$$

$$P_t = (U \cdot I) (\cos (180^\circ + \varphi) + \cos (180^\circ + \varphi) + \cos (180^\circ + \varphi))$$

$$= (U \cdot I) (-\cos \varphi + -\cos \varphi + -\cos \varphi)$$

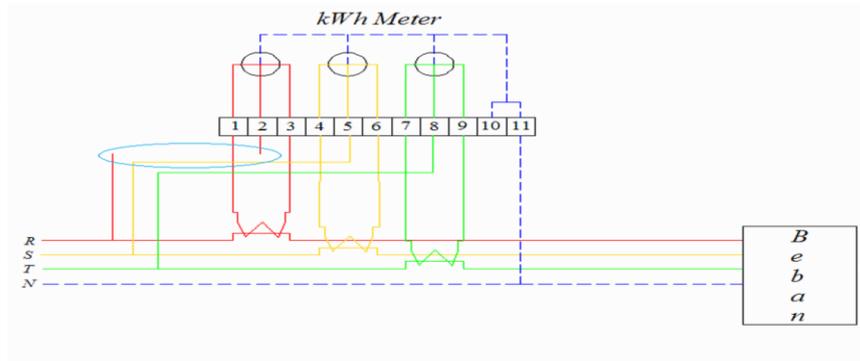
$$P_t = (U \cdot I) (-3 \cos \varphi) \dots\dots\dots (2.34)$$

Jika dilihat dari hasil perhitungan rumus yaitu $(U \cdot I) \cdot -3 (\cos \varphi)$ maka beban daya yang akan terukur akan sama dengan beban daya normal, namun yang berbeda adalah arah putaran piringan yang mundur (kiri).

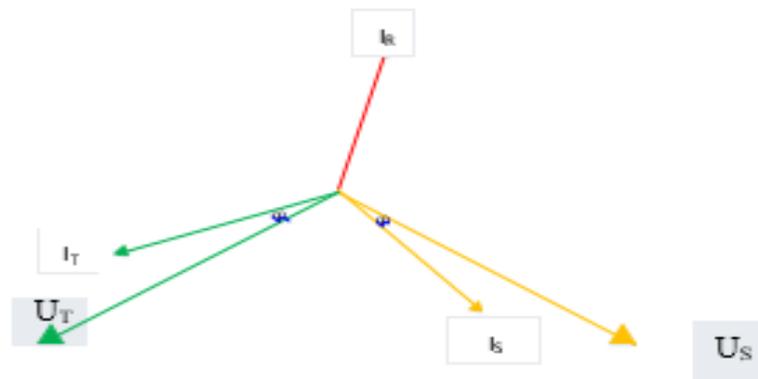


5. Salah Satu Kumparan Tegangan Terlepas

Jika pada kumparan tegangan terlepas salah satu tegangan Fasanya atau tidak tersambung dengan baik seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 21 contoh satu tegangan terlepas



Gambar 2. 22 Vektor Salah Satu Kumparan Tegangan Fasa Tidak Terhubung

Maka yang terjadi pada tegangan dan arus seperti pada gambar vector di atas dimana tidak adanya garis tegangan R di dalam gambar tersebut menyebabkan nilai tegangan = 0 Pada Kondisi tersebut daya yang akan terukur oleh kWh Meter adalah

Pada Kondisi tersebut daya yang akan terukur oleh kWh Meter adalah :

$$P_1 = V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi = 0 \dots\dots\dots (2.35)$$

$$P_2 = V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.36)$$

$$P_3 = V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.37)$$

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots (2.38)$$

$$= (V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi = 0) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi)$$

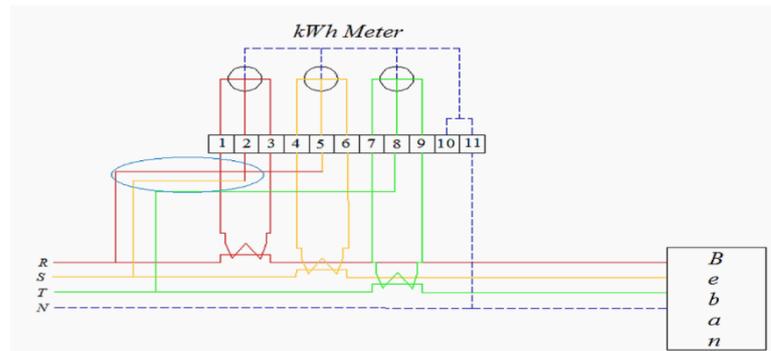


$$\begin{aligned}
 V_R &= V_S = V_T = U \\
 I_R &= I_S = I_T = I \\
 &= (U \cdot I) (\cos \phi + \cos \phi) \\
 &= (U \cdot I) (2 \cos \phi) \dots\dots\dots (2.39)
 \end{aligned}$$

Dapat dilihat bahwa hasil yang terukur pada kWh nantinya akan 2/3 putaran dalam keadaan normal namun arah putaran masih dalam keadaan berputar kearah kanan (maju).

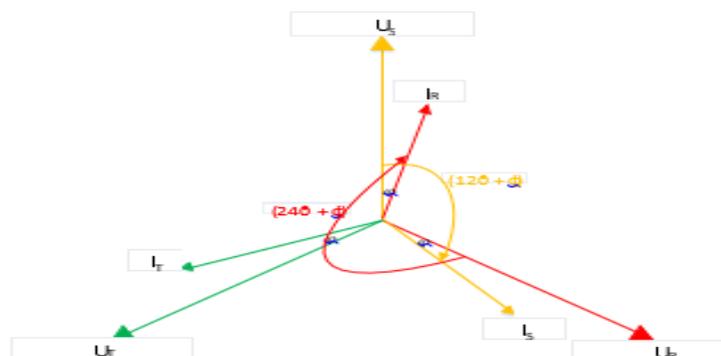
6. Dua Kumparan Tegangan Tertukar

Jika kita mendapati rangkaian kWh meter dimana dua kumparan tegangan tertukar seperti pada gambar dibawah ini, maka yang akan terjadi adalah :



Gambar 2. 23 Contoh Dua Rangkaian Tegangan Tertukar

Seperti pada gambar maka tegangan R dan S akan tertukar, maka beda fasa antara arus dan tegangan di fasa R akan menjadi $\cos (240^\circ + \phi)$ sedangkan perbedaan pada fasa S akan menjadi $\cos (120^\circ + \phi)$, jika kita masukan kedalam perhitungan maka yang akan terjadi sebagai berikut:



Gambar 2. 24 Vektor Dengan Rangkaian Tegangan 1 (V_R) Dan 2 (V_S) Tertukar



Pada Kondisi tersebut daya yang akan terukur oleh kWh Meter adalah :

$$P_1 = V_R \cdot I_R \cdot \cos (240^\circ + \varphi) \dots\dots\dots (2.40)$$

$$P_2 = V_S \cdot I_S \cdot \cos (120^\circ + \varphi) \dots\dots\dots (2.41)$$

$$P_3 = V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.42)$$

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots (2.43)$$

$$= (V_R \cdot I_R \cdot \cos (240^\circ + \varphi)) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos (120^\circ + \varphi)) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi)$$

$$V_R = V_S = V_T = U$$

$$I_R = I_S = I_T = I$$

$$= (U \cdot I) (\cos (240^\circ + \varphi) + \cos (120^\circ + \varphi) + \cos \varphi)$$

$$= (U \cdot I) (-0.5 \cos \varphi + -0.5 \cos \varphi + \cos \varphi)$$

$$= 0 \dots\dots\dots (2.44)$$

Sehingga dapat terlihat piringan kWh meter tidak akan berputar karena hasil penjumlahan antara fasa R dan S akan sama dengan fasa T namun akan mengurangi fasa tersebut menyebabkan kWh tidak berputar.

Keterangan rumus:

P = Daya yang terukur (Watt)

V_R = Tegangan yang terukur pada fasa R (Volt)

I_R = Arus yang terukur pada fasa R (Ampere)

V_S = Tegangan yang terukur pada fasa S (Volt)

I_S = Arus yang terukur pada fasa S (Ampere)

V_T = Tegangan yang terukur pada fasa T (Volt)

I_T = Arus yang terukur pada fasa T (Ampere)

2.7. Energi Tidak Terukur

Akibat kesalahan pengawatan kWh meter maka ada pemakaian yang tidak terukur sehingga menimbulkan kerugian kWh tidak tertagih.

Perhitungan :

$$\text{kWh terukur} = \text{kWh ukur} \times \text{faktor kali} \dots\dots\dots (2.45)$$