

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISIS PENGARUH PEMAKAIAN KAPASITOR TERHADAP KERJA KWH METER INDUKSI**

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas-Tugas Dan Syarat-Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Fakultas Teknik Program Studi  
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Oleh :**

**GATRA TIRANA**

**NPM : 0807220061**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017**

LEMBARAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH PEMAKAIAN KAPASITOR  
TERHADAP KERJA KWH METER INDUKSI**

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas-Tugas Dan Syarat-Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Fakultas Teknik Program Studi  
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Telah Diuji dan Disidang Pada Tanggal:**

**21 Oktober 2017**

**Oleh :**

**GATRA TIRANA**

**NPM : 0807220061**

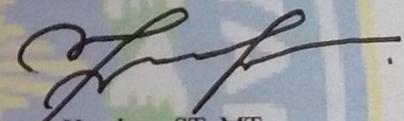
**Disetujui Oleh :**

**Pembimbing I**



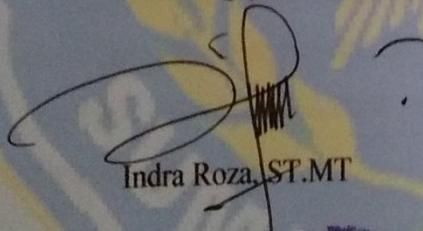
**Faisal Irsan Pasaribu, ST.MT**

**Pembimbing II**



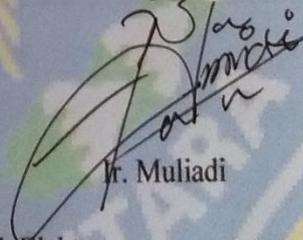
**Partaopon Harahap, ST., MT**

**Penguji I**



**Indra Roza, ST.MT**

**Penguji II**



**Ir. Muliadi**

**Program Studi Teknik Elektro  
Ketua,**



**Faisal Irsan Pasaribu, ST.MT**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Gatra Tirana  
NPM : 0807220061  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir yang berjudul :

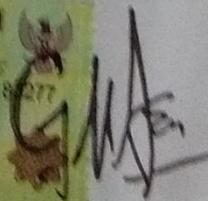
### **“ANALISIS PENGARUH PEMAKAIAN KAPASITOR TERHADAP KERJA KWH METER INDUKSI”**

Dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Medan, 26 Oktober 2017

Saya yang menyatakan,



Gatra Tirana

## **ABSTRAK**

*KWH meter adalah alat ukur pemakaian energi listrik yang digunakan oleh produsen listrik (PLN) dalam menentukan biaya yang akan dibayarkan oleh konsumen energi listrik. Dalam KWH meter yang diukur adalah daya aktif sedangkan daya yang diberikan oleh PLN adalah daya nyata yaitu penjumlahan vektoris daya aktif dan reaktif. Untuk meminimalkan daya reaktif harus dieliminasi. Jika beban bersifat kapasitif maka perlu ditambahkan inductor sehingga daya reaktif kecil atau mendekati nol. Karena beban pada lingkungan perumahan dan industri sebagai besar bersifat induktif seperti lampu TL, AC, Komputer, atau motor-motor listrik, maka penambahan kapasitor adalah salah satu cara yang mungkin untuk memaksimalkan energy listrik yang bisa kita pakai. Oleh karena itu pada Tugas Akhir ini akan dibahas keuntungan atau kerugian pemakaian kapasitor terhadap pengukuran KWH meter.*

***Kata kunci : Pengaruh Pemakaian Kapasitor, Kinerja KWH Meter Induksi***

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT, karena berkat rahmat-Nya kita masih di beri kesehatan, kelapangan dan keselamatan hingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas Akhir ini di ajukan untuk melengkapi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Adapun judul Tugas Akhir ini adalah “ANALISIS PENGARUH PEMAKAIAN KAPASITOR TERHADAP KERJA KWH METER INDUKSI”.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Teristimewa sekali kepada ayahanda tercinta Sugito dan ibunda tercinta Tusini, yang telah mengasuh, membesarkan dan mendidik penulis dengan rasa cinta dan kasih sayang yang tulus.
2. Bapak Rahmatullah, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Pembimbing I. yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pemikirannya di dalam mengarahkan penulis menyusun tugas akhir ini.
4. Bapak Partaonan Harahap, ST. M.T., selaku sekretaris prodi Teknik Elektro sekaligus pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pemikirannya di dalam mengarahkan penulis menyusun tugas akhir ini.
5. Seluruh staff administrasi dan dosen-dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah membantu dalam materi dan dukungan yang telah di berikan kepada penulis.

6. Kepada teman-teman penulis dan rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro '08, yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.  
Semoga segala bantuan yang penulis terima mendapat balasan yang layak dari Allah SWT. Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini bermanfaat bagi kita semua, Amiin.

Medan, ... Oktober 2017

Hormat saya

**GATRA TIRANA**  
**0807220061**

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>vii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
1.6 Metode Peneliti.....	2
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Umum .....	4
2.2 kapasistansi.....	4
2.2.1. Faktor yang mempengaruhi nilai kapasitansi.....	5
2.3 Pengisian dan pengosongan kapasitor.....	6
2.3.1. Pengisian kapasitor.....	6
2.3.2. Pengosongan kapasitor.....	7
2.4 Arus kapasitor.....	8
2.5 Pembagian kapasitor.....	9
2.5.1. Kapasitor tetap.....	9
2.5.2. Kapasitor tidak tetap.....	11
2.6 rangkaian Kapasitor.....	12
2.6.1. Kapasitor seri.....	12
2.6.2. Kapasitor pararel.....	13
2.7 Segitiga daya.....	13
2.8 Koreksi Faktor Daya.....	14
2.8.1. Faktor daya.....	14
2.8.2 Kapasitor untuk memperbaiki faktor daya.....	14
2.9 Defenisi dan prinsip kerja KWH meter.....	14

2.9 Induksi Elektromagnetik.....	15
2.10 Induksi dalam kumparan berputar .....	16
2.11 Beberapa peralatan listrik yang menggunakan prinsip induksi Elektromagnetik.....	17
2.11.1 Generator .....	17
2.11.2 Generator AC.....	18
2.11.3 Transformator .....	19
2.12Prinsip kerja KWH meter .....	20
2.13Elektrodinamomotor Watt meter .....	21
2.14 Watt meter satu fasa .....	21
2.13 Watt meter tiga fasa .....	23
2.14 Pengukuran daya reaktif .....	25
2.14 Alat ukur Watt jam .....	26

### **BAB III      METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Tempat dan lokasi penelitian .....	28
3.2 Alat dan Bahan .....	28
3.2.1 Rangkaian percobaan.....	29
3.3Jalannya Penelitian .....	29
3.4 Prosedur percobaan .....	30
3.5Diagram Alir penelitian .....	31

### **BAB IV HASIL PEMBAHASAN**

4.1 Data hasil pengujian .....	32
4.1.1 Data pada saat pengukuran dengan memakai kapasitor 12 $\mu$ F pada berbagai beban.....	32
4.1.2 Data pada saat pengukuran dengan memakai kapasitor 35 $\mu$ F pada berbagai beban.....	33
4.2 Perhitungan tagihan listrik.....	33
4.3 KWH meter dengan system Prabayar.....	35
4.4 Grafik perhitungan data .....	35
4.4.1 Grafik data pengukuran tanpa memakai kapasitor.....	35

### **BAB V KESIMPULAN**

5.1 Kesimpulan .....	38
5.2 Saran .....	38

### **DAFTAR PUSTAKA ..... 50**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2 Faktor yang mempengaruhi nilai kapasitansi.....	6
Gambar 2.3 Rangkaian kapasitor .....	6
Gambar 2.4 Rangkaian saat pengisian kapasitor .....	7
Gambar 2.5 Rangkaian kapasitor setelah diputuskan dengan sumber tegangan ....	7
Gambar 2.6 Rangkaian pengosongan kapasitor .....	8
Gambar 2.7 Aliran arus kapasitor .....	8
Gambar 2.8 Simbol kapasitor tetap .....	10
Gambar 2.9 Simbol elco .....	10
Gambar 2.10 Beberapa bentuk kapasitor .....	10
Gambar 2.11 Simbol trimer .....	11
Gambar 2.12 Beberapa bentuk trimer .....	11
Gambar 2.13 Simbol varco .....	11
Gambar 2.14 Rangkain kapasitor seri .....	12
Gambar 2.15 Rangkaian kapasitor parallel .....	13
Gambar 2.16 Segitiga daya .....	13
Gambar 2.17 Faktor daya pada sirkuit listrik .....	14
Gambar 2.18 Percobaan fareday untuk membuktikan adanya induksi elektromagnetik.....	15
Gambar 2.19 Lilitan kawat penghantar yang diputar dalam medan magnet .....	16
Gambar 2.20 GGL induksi pada kawat penghantar yang dipasang tegak lurus dengan garis-garis gaya medan magnet .....	17
Gambar 2.21 Generator AC .....	18
Gambar 3.4.1.2. Generator DC .....	19
Gambar 2.22 Transformator .....	19
Gambar 2.23 Prinsip kerja KWH meter .....	20
Gambar 2.23 Metode ARON .....	23
Gambar 2.24 Diagram fasor arus dan teganga pada wattmeter .....	24
Gambar 3.1 Rangkaian percobaan .....	29
Gambar 3.2 diagram alir penelitian .....	31
Gambar 4.1 Grafik pengukuran tanpa memakai kapasitor .....	36
Gambar 4.2 Grafik pengukuran dengan memakai kapasitor 12 $\mu$ F .....	36
Gambar 4.3 Grafik pengukuran dengan memakai kapasitor 35 $\mu$ F .....	37
Gambar 4.4 Grafik pemakaian 109 KWH .....	37

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konstanta-Konstanta .....	5
Tabel 4.1 Data pengukuran tanpa kapasitor .....	32
Tabel 4.2 Data pengukuran dengan memakai kapasitor 12 $\mu$ F .....	32
Tabel 4.3 Data pengukuran dengan memakai kapasitor 35 $\mu$ F .....	

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Seiring dengan kenaikan standard hidup manusia, dan inovasi teknologi serta perubahan gaya hidup masyarakat modern maka kebutuhan akan listrik terus meningkat. Listrik saat sekarang ini tidak hanya merupakan infrastruktur tetapi telah menjadi komoditi dalam kehidupan sehari-hari, karena sebagian aspek kehidupan manusia menggunakan listrik sebagai energy utamanya. Listrik paling banyak digunakan untuk industry dan rumah tangga.

Pertumbuhan kebutuhan listrik yang besar sering tidak diikuti dengan penambahan pembangkit-pembangkit listrik, hal ini menyebabkan banyak daerah di Indonesia yang kekurangan pasokan energy listrik yang ditandai sering terjadi pemadaman bergilir. Disamping pembangunan pembangkit baru yang relative masih kurang, kebanyakan masyarakat mengkonsumsi energy listrik tidak efisien, tetapi cenderung mengkonsumsi energy listrik dengan boros. Hal ini menyebabkan permintaan(demand) listrik yang besar. Oleh karena itu untuk mengoptimalkan pemakaian energy listrik, banyak cara yang di gunakan oleh masyarakat dan industry.

Salah satu cara yang di gunakan oleh masyarakat dan industry untuk memaksimalkan energy listrik yang akan dipakai adalah dengan menambahkan kapasitor setelah KWH meter. KWH meter merupakan titik temu antara produsen listrik dengan konsumen listrik. Konsumen listrik membayar biaya listrik yang di pergunakan berdasarkan pengukuran pada KWH meter. Tetapi, sering sekali timbul konflik antara produsen dan konsumen listrik akibat kesalahan pada pencatatan pengukuran KWH meter oleh petugas pencatat daya listrik. Penambah kapasitor setelah KWH meter di harapkan akan meningkatkan Power Factor (PF) yang nantinya akan memksimalkan energy listrik yang dapat kita pergunakan.

Oleh karena itu, dlam tugas akhir ini akan dibahas pengaruh penambahan kapasitor terhadap pengukuran KWH meter, khususnya dari segi ekonomi. Sehingga dari tulisan ini dapat diperoleh informasi tentang keuntungan pemakaian kapasitor setelah KWH meter induksi.

## **1.2 RUMUSAN MASALAH**

1. Bagaimana keuntungan pemakaian kapasitor setelah KWH meter?
2. Bagaimana aspek-aspek pertimbangan pemakaian kapasitor setelah KWH meter induksi?

## **1.3 TUJUAN PENULISAN**

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui keuntungan pemakaian kapasitor setelah KWH meter.
2. Untuk mengetahui aspek-aspek pertimbangan pemakaian kapasitor setelah KWH meter induksi.

## **1.4 MANFAAT PENULIS**

Penulisan tugas akhir ini bermanfaat sebagai informasi kepada masyarakat maupun instansi yang berkepentingan tentang keuntungan pemakaian kapasitor setelah KWH meter.

## **1.5 BATASAN MASALAH**

Untuk menjaga agar pembahasan materi dalam Tugas Akhir ini lebih terarah dan maksimal, maka penulis perlu membuat batasan masalah. Adapun batasan masalah yang akan di bahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. KWH meter yang digunakan adalah KWH meter induksi satu phasa.
2. Tidak memperhitungkan pengaruh harmonic kapasitor.

## **1.6 METODE PENULISAN**

Metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

### **a. Studi Literatur**

Mempelajari dan memahami buku-buku yang telah ada sebelumnya untuk dijadikan sebagai acuan dan referensi guna membantu penyelesaian tugas akhir ini.

### **b. Penelitian Langsung ke Lapangan**

- c. Metode ini berupa penelitian dengan melakukan percobaan di laboratorium pengukuran bersama listrik Departemen Teknik Elektro USU.
- d. Diskusi  
Berupa konsultasi dan bimbingan dari dosen pembimbing dan rekan-rekan mahasiswa.

## **1.7 SISTEMATIKA PENULISAN**

Penulisan Tugas akhir ini disajikan dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan sebagai penjelasan dasar dan gambaran umum dari penulisan tugas akhir ini.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini membahas tentang penjelasan umum dari kapasitor, prinsip kerja kapasitor segitiga daya, power factor, dan pemasangan kapasitor setelah KWH meter.

### **BAB III METODELOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang penjelasan umum KWH meter, prinsip induksi elektromagnetik, prinsip kerja KWH meter, dan jenis-jenis watt meter.

### **BAB IV HASIL PEMBAHASAN**

Menguraikan tentang objek penelitian, rangkaian pengukuran, prosedur pengukuran, dan hasil pengukuran.

### **BAB V KESIMPULAN**

Berisi tentang kesimpulan yang telah didapat dari hasil pengukuran.

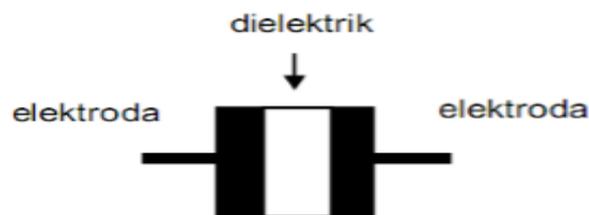
## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Kapasitor yang dalam rangkaian elektronika dilambangkan dengan huruf “C” adalah suatu alat yang dapat menyimpan energy/muatan listrik dalam medan listrik. Kapasitor ditemukan oleh Michael Faraday(1791-1867). Satuan kapasitor disebut Farad(F), tetapi dipasarkan lebih umum tersedia dalam satuan microfarad( $\mu$ F) atau Pikofarad(pF).

Struktur kapasitor terbuat dari dua buahplat metal yang dipisahkan oleh sebuah bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umumnya dikenal seperti udara vakum, keramik, gelas, dan lain-lain. Jika kedua plat diberi tegangan listrik.maka muatan-muatan positif akan menggumpul pada salah satu kaki(elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negative akan terkumpul pada metal yang satu lagi. Muatan positif tidak akan dapat mengalir menuju ujung kutub negative dan sebaliknya muatan negative tidak bias menuju ujung positif, karena terpisah oleh bahan deielektrik yang non-konduktif, muatan elektrik ini akan tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Di alam bebas fenomena kapasitor ini terjadi pada saat terkumpulnya muatan-muatan positif dan negative diawan.



#### 2.2 Kapasitansi

Kapasitansi didefenisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk menampung muatan electron. Coulumbus pada abad 18 menghitung bahwa 1 columb =  $6,25 \times 10^{18}$  elektron. Kemudian Michael Faraday membuat postulat

bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad apabila dengan tegangan 1 volt dapat membuat muatan electron sebanyak 1 coulomb. Dengan rumus dapat di tulis :

$$Q = C.V \dots\dots\dots(2.1)$$

Q = muatan electron dalam C (coulomb)

C = nilai kapasitansi dalam F (farad)

Q = besar tegangan dalam V(volt)

Dalam praktek pembuatan kapasitor, kapasitansi dihitung dengan mengetahui luas area plat metal (A) dalam m<sup>2</sup>, jarak (d) antara kedua plat metal (tebal dielektrik)dalam m, dan konstanta (k) bahan dielektrik. Dengan rumus dapat ditulis sebagai berikut :

$$C = (8,85^{-12})(kA/d) \dots\dots\dots(2.2)$$

Berikut adalah tabel contoh konstanta (k) dari beberapa bahan dielektrik yang di sederhanakan.

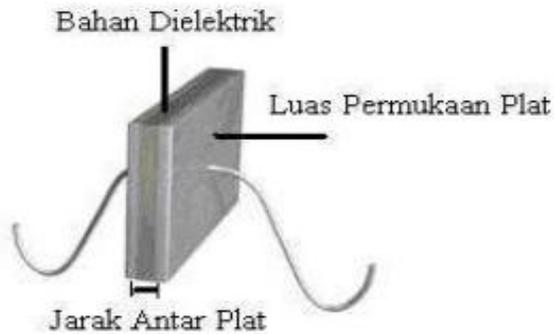
Tabel 2.1 Konstanta Konstanta (k)

Udara vakum	K=1
Aluminium oksida	K=8
Keramik	K=100-1000
Gelas	K=8
Polyethylene	K=3

### 2.2.1 Faktor yang mempengaruhi nilai kapasitansi

Kapasitansi dari sebuah kapasitor dipengaruhi oleh tiga hal, yaitu :

1. luas area plat (A); makin besar nilai A, maka makin besar pula kapasitansi
2. jarak antara plat(d); makin kecil jarak d, maka makin besar kapasitansi
3. tetapan dielektrik dari bahan antar plat (€), makin besar nilai € maka makin besar pula kapasitansi.



Gambar 2.2 Faktor yang mempengaruhi nilai kapasitansi

Ketiga factor diatas jika dinyatakan oleh persamaan adalah sebagai berikut :

$$C = \epsilon A / d \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

C = nilai kapasitansi (F)

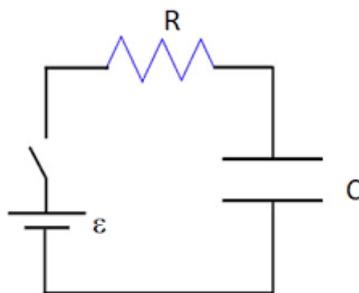
A = luas area plat metal (m<sup>2</sup>)

d = jarak antara plat metal (m)

### 2.3 Pengisian dan Pengosongan Kapasitor

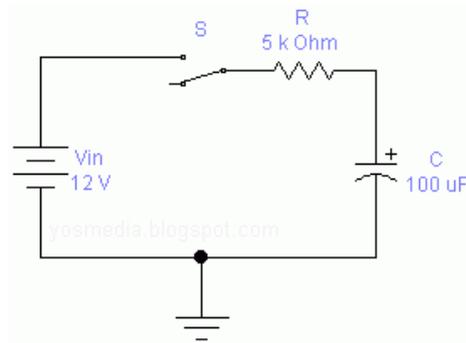
#### 2.3.1 Pengisian kapasitor

Gambar dibawah menunjukkan suatu rangkaian yang terdiri dari sebuah kapasitor, switch, dan baterai. Pada gambar dibawah, switch belum ditutup sehingga belum ada pengisian kapasitor, tidak ada beda potensial antar plat.



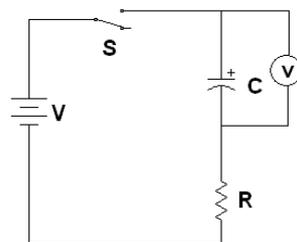
Gambar 2.3 Rangkaian kapasitor

Ketika switch ditutup, seperti gambar dibawah, ada loncatan arus sesaat melalui penghantar dari dan menuju plat kapasitor, kemudian arus mengalir dari negative baterai menuju negative kapasitor.



Gambar 2.4 Rangkaian saat pengisian kapasitor

Loncatan arus listrik pada kapasitor mempengaruhi gaya elektromotif lawan pada penghantar plat tersebut. Gaya elektromotif lawan ini disebut reaktansi. Ketika reaktansi sama dengan tegangan dari baterai, maka hal itu menunjukkan bahwa kapasitor sudah terisi penuh. Ketika kapasitor sudah terisi penuh, maka switch akan dibuka dan kapasitor akan menyimpan muatan seperti gambar dibawah ini. Karena perbedaan muatan pada plat, maka terdapat sumber energy potensial pada kapasitor tersebut.

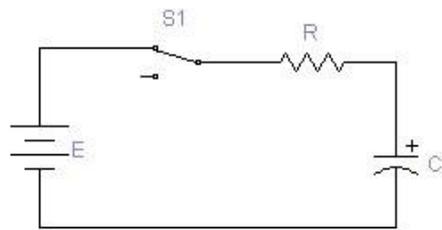


Gambar 2.5 Rangkaian kapasitor setelah diputuskan dengan sumber tegangan

Garis gaya antar plat darikapasitor menggambarkan suatu bidang gaya listrik. Bidang gaya elektrik ini terjadi karena muatan yang berbeda (positif dan negative)pada permukaan plat. Arus tidak bias mengalir sepanjang medan elektrostatik karena media dielektrik medan elektrostatik yang menahan muatan.

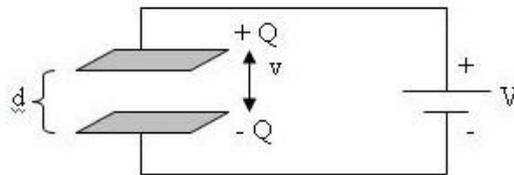
### 2.3.2 Pengosongan kapasitor

pengisian kapasitor yang telah ditunjukkan sebelumnya, sekarang merupakan sumber energy potensial. Jika switch ditutup seperti gambar dibawah, arus seketika mengalir sepanjang plat negative ke plat positif. Terjadilah pengosongan kapasitor. Arus akan berhenti mengalir pada saat kapasitor tersebut kosong.



Gambar 2.6 Rangkaian pengosongan kapasitor

### 2.4 Arus Kapasitor



Gambar 2.7 Aliran arus kapasitor

Saat sakelar ditutup secara relative electron bebas ditarikmkearah sisi positif pada bagian sebelah atas.Sisi negative yang berada pada bagian bawah, menyexiakan muatan negative. Hasil dari aliran muatan ini adalah suatu arus  $I_c$  dimana nilai awalnya akan melonjak tinggi kenilai tertentu (resistor  $R$  ) dan lambat laun akan turun menuju nol. Akibat dari penyimpangan muatan ini adalah medan listrik yang arahnya adalah dari muatan positif kemuatan negative dari plat-platnya.

Muatan tidak dapat berpindah dari suatu plat ke plat yang lain karena keberadaan isolator diantaranya, tegangan  $V_c$  dari suatu kapasitor tidak dapat

berubah secara tiba-tiba (instantaneously). Perubahan memerlukan waktu yang lamanya ditentukan oleh elemen rangkaian.

Walaupun diantara kapasitor telah ditempatkan bahan dielektrik akan tetapi disana akan terdapat sejumlah kecil aliran muatan yang biasa disebut arus *leakage*. Sehingga suatu kapasitor yang telah diisi penuh kemudian dilepaskan dari system hanyadapat mempertahankan simpanannya dalam waktu yang sangat terbatas.

Salah satu karakter yang menarik dari kapasitor adalah bahwa antara  $I_c$  dan besarnya beda tegangan tidak berhubungan secara langsung akan tetapi tergantung pada lanu perubahan beda tegangan yang terjadi. Sehingga semakin besar laju perubahan tegangan kapasitor akan semakin besar  $I_c$  nya. Tegangan DC tidak akan menimbulkan arus  $I_c$  karena pada system DC, tegangan tidak berubah dengan waktu. Hubungan arus dengan tegangan sesaat suatu kapasitor adalah sebagai berikut:

$$I_c = C \frac{dV_c}{dt} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$I_c$  = arus kapasitor (A)

$C$  = kapasitansi

$V_c$  = tegangan sesaat kapasitor (V)

Persamaan diatas menunjukkan bhwa jika tidak terdapat perubahan tegangan maka arus kapasitor akan bernilai nol, ini berarti pada system searah arus tidak dapat melewati kapasitor.

Energy yang disimpan oleh sebuah kapasitor adalah :

$$W_c = \frac{1}{2} C V^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

$W_c$  = energy yang disimpan kapasitor (joule)

$C$  = kapasitansi (farad)

$V$  = tegangan (volt)

## 2.5 Pembagian kapasitor

Kapasitor dibagi atas 2 kelompok, yaitu :

### 2.5.1 Kapasitor tetap

Kapasitor tetap adalah kapasitor yang mempunyai nilai kapasitansi yang tetap. Symbol kapasitor tetap :



Gambar 2.8 simbol kapasitor tetap

Untuk mengetahui nilai kapasitansi pada kapasitor dapat dibaca melalui kode angka pada badan kapasitor tersebut yang terdiri dari tiga angka, angka pertama dan kedua menunjukkan angka atau nilai, angka ketiga menunjukkan factor penggali atau nilai nol.

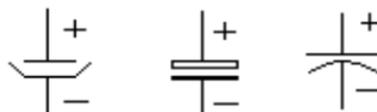
Contoh :

Pada badan kapasitor tertulis angka 103 artinya nilai kapasitas dari kapasitor tersebut adalah  $10 \times 10^3 \text{ pF} = 10 \times 1000 \text{ pF} = 10 \text{ nF} = 0,01 \mu\text{F}$ .

Kapasitor tetap yng memiliki nilai lebih dari atau sama dengan  $1 \mu\text{F}$  adalah kapasitas elektrolit (elco).

Misalnya :  $100 \mu\text{F}$ , 16 V artinya elco memiliki kapasitas  $100 \mu\text{F}$  dan tegangan kerjanya tidak boleh melebihi 16 volt.

Symbol elco :



Gambar 2.9 simbol elco



Gambar 2.10 beberapa bentuk kapasitor tetap

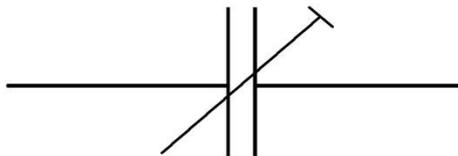
### 2.5.2 Kapasitor tidak tetap

Kapasitor tidak tetap adalah kapasitor yang memiliki nilai kapasitansi yang dapat diubah-ubah. Kapasitor ini terdiri dari :

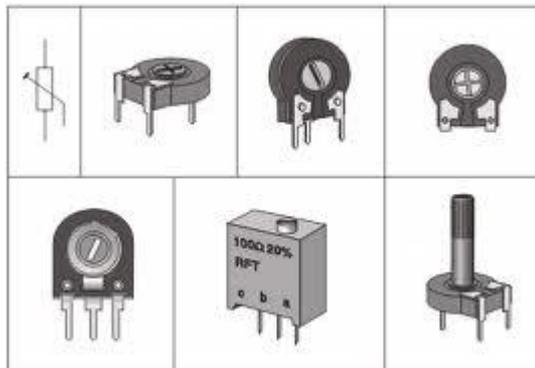
#### a. Kapasitor trimer

Kapasitor trimer adalah kapasitor yang nilai kapasitansinya dapat diubah-ubah dengan cara memutar porosnya dengan obeng.

Symbol trimer :



Gambar 2.11 simbol trimer



Gambar 2.12 Beberapa bentuk trimer

#### b. Kapasitor variable ( varco )

kapasitor variable adalah kapasitor yang nilai kapasitansinya dapat diubah-ubah dengan cara memutar poros yang tersedia (bentuknya menyerupai potensio meter).

Symbol varco

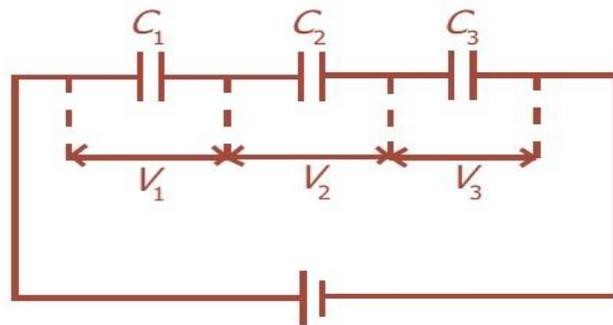


Gambar 2.13 simbol varco

2.6 Rangkaian kapasitor

2.6.1 Kapasitor seri

Pemasangan kapasitor secara seri akan mengakibatkan nilai kapasitansi total semakin kecil. Di bawah ini contoh kapasitor yang di rangkai secara seri



Gambar 2.14 rangkaian kapasitor seri

Pembagi tegangan :

$$V_1 = \frac{1}{c_1} \int idt \dots \dots \dots (2.6)$$

$$V_2 = \frac{1}{c_2} \int idt \dots \dots \dots (2.7)$$

$$V_3 = \frac{1}{c_3} \int idt \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

$$V = \frac{1}{c_1} \int idt \dots \dots \dots (2.9)$$

Sehingga :

$$V_1 = \frac{1}{c_1} V \dots \dots \dots (2.6)$$

$$V_2 = \frac{1}{c_2} V \dots \dots \dots (2.7)$$

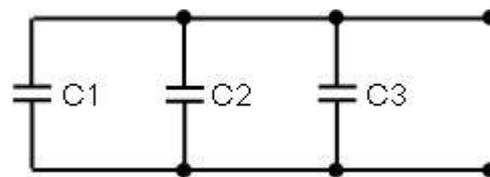
$$V_3 = \frac{1}{c_3} V \dots \dots \dots (2.8)$$

Karena :  $\sum V = 0$

$$V = \frac{1}{c_1} \int idt + \frac{1}{c_2} \int idt + \frac{1}{c_3} \int idt \dots\dots\dots(2.9)$$

### 2.6.2 Kapasitor parallel

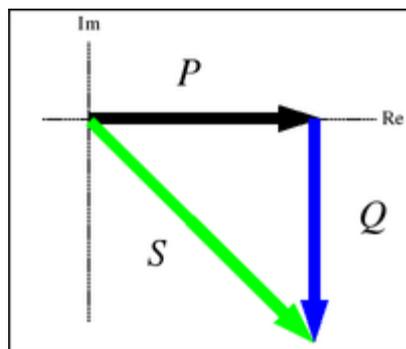
Rangkaian kapasitor parallel akan mengakibatkan nilai kapasitansi ekivalen semakin besar. Dibawah ini contoh kapisator yang dirangkai secara parallel.



Gambar 2.15 rangkaian kapisator parallel.

### 2.7 Segitiga Daya

Daya pada listrik bolak balik (AC) memiliki dua buah komponen, yaitu daya aktif (P) dan daya reaktif (Q).resultan antara keduanya disebut sebagai daya nyata (S). daya reaktif (Q) dapat terjadi karena induktansi atau kapasitansi. Induktansi diakibatkan oleh komponen berbentuk kumparan(misalnya pada motor listrik atau transformator). Sedangkan kapasitansi diakibatkan oleh komponen kapasitor.Sifat induktansi dan kapasitansi ini saling berlawanan; pada diagram segitiga daya, komponen induktansi memiliki arah kebawah sedangkan komponen kapasitansi memiliki arah keatas.



Gambar 2.16 segitiga daya

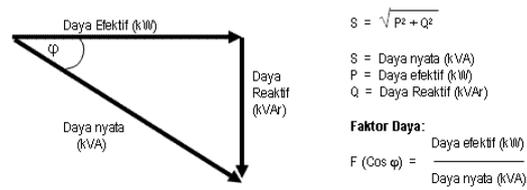
Daya aktif diukur dalam kilowatt (KW), merupakan daya yang diperlukan beban untuk melakukan tugas tertentu, daya reaktif diukur dalam kilovolt ampere reaktif (KVAR), walaupun daya reaktif merupakan daya tersendiri, daya ini sebenarnya merupakan beban(kebutuhan)pada suatu system listrik. Sedangkan daya nyata (total)merupakan penjumlahan vektoris dari daya aktif dan daya reaktif,diukur dalam kilovolt ampere (KVA). Daya nyata merupakan daya yang dikirim oleh perusahaan energy listrik kepada pelanggan. Secara matematis hal ini dapat dinyatakan sebagai :

$$kVA = \sqrt{kW^2 + kVAR^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

## 2.8 Koreksi Faktor Daya

### 2.8.1 Faktor Daya

Factor daya adalah perbandingan daya aktif (kW) dengan daya nyata (kVA), atau kosinus sudut antara daya aktif dengan daya nyata. Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya factor daya akan semakin rendah.



Gambar 2.17 faktor daya pada sirkuit listrik

Factor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasang oleh perusahaan listrik memiliki factor daya satu, daya maksimum yang di transfer setara dengan kapasitas system pendistribusian. Sehingga dengan beban yang terinduksi, dan jika factor daya berkisar dari 0,2 hingga 0,3 maka kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan. Jadi daya reaktif (kVAR) harus serendah mungkin untuk keluaran kW yang sama dalam rangka meminimalkan kebutuhan daya total (kVA).

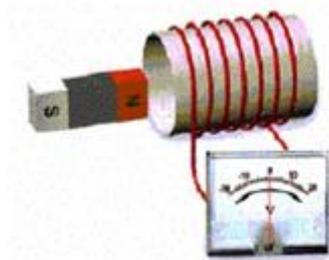
### 2.8.2 Kapasitor untuk memperbaiki factor daya

Factor dapat diperbaiki dengan memasang kapasitor pengkoreksi daya. Kapasitor bertindak sebagai pembangkit daya reaktif dan oleh karenanya akan mengurangi jumlah daya reaktif, juga daya total yang dihasilkan oleh bagian utilitas.

## 2.9 Definisi dan Prinsip Kerja Kwh Meter

Kwh meter adalah suatu alat ukur yang mengukur daya aktif listrik. kWH meter merupakan jembatan yang menghubungkan antara konsumen listrik dengan perusahaan produsen listrik (PLN). Besar tagihan listrik biasanya berdasarkan pada angka-angka yang tertera pada kWH meter setiap bulannya. kWH meter ada tiga type, kWH meter jenis dynamometer (elektrodinamis), kWH meter jenis induksi dan kWH meter jenis thermocouple. kWH meter jenis induksi adalah kWH meter yang paling banyak digunakan oleh konsumen listrik, kWH meter jenis induksi bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

## 2.9 Induksi Elektromagnetik



Gambar 2.18 Percobaan Faraday untuk membuktikan adanya induksi elektromagnetik

Induksi elektromagnetik pertama kali dipelajari dan ditemukan oleh Michael Faraday, seorang ilmuwan yang berkebangsaan Inggris pada tahun 1831. Induksi elektromagnetik atau imbas listrik merupakan pembangkit energi listrik dari medan magnet. Induksi elektromagnetik terjadi pada suatu kumparan jika ada perubahan jumlah garis gaya magnet yang dilingkupi setiap saat. Galvanometer adalah alat untuk menyelidiki besar dan arah arus induksi pada suatu rangkaian. Kita dapat membangkitkan GGL induksi dengan cara berikut :

1. Menggerakkan magnet keluar masuk kumparan

2. Memutar magnet didekat kumparan.
3. Memutar kumparan dalam magnet.
4. Memutus-mutus arus listrik yang melalui kumparan.

Jika jumlah garis gaya yang dilingkupi kumparan bertambah, jarum galvanometer menyimpang kekanan. Jika garis gaya yang di lingkupi kumparan berkurang jarum galvanometer menyimpang kekiri. Penyimpangan jarum galvanometer kekanan dan kekiri tersebut menunjukkan bahwa GGL induksi yang dihasilkan kumparan berupa tegangan bolak balik/AC ( alternative current).

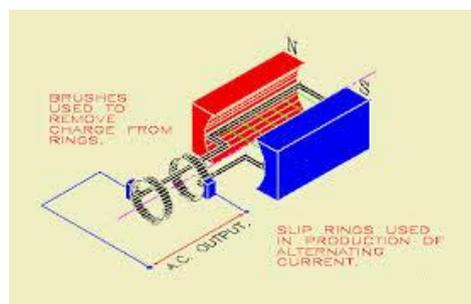
Jika GGL induksi lebih besar, kuat arus induksi yang timbul juga lebih besar. Menurut Fareday, besar GGL induksi pada kedua ujung kumparan sebanding dengan laju perubahan fluks megnetik yang dilingkupi kumparan. Artinya, semakin cepat terjadinya perubahan fluks magnetic, makin besar GGL induksi yang timbul. Adapun yang dimaksud fluks adalah banyaknya garis gaya magnet yang menembus suatu bidang.

Ada tiga factor yang mempengaruhi besar kecilnya GGL induksi, yaitu :

1. Jumlah lilitn pada kumparan.
2. Kecepatan gerak magnet keluar masuk kumparan
3. Kekuatan magnet batang yang digunakan

## 2.10 Induksi dalam Kumparan Berputar

Kerja sebuah generator berdasarkan atas azas imbas listrik.kumparan yang terdiri dari atas banyak belitan, diputar dalam medan magnet sehingga memotong GGM didalam kumparan. Dalam gambar 3.2 terdapat lilitan kawat penghantar yang diputar dalam medan magnet. Sisi kanan dan sisi kiri lilitan memotong garis garis gaya sehingga didalam kedua sisi dibangkitkan ggl. Arah ggl dikawat sisi sebelah kiri kebelakang, dikawat sisi sebelah kanan kemuka (belawanan, karena arah geraknya juga berlawanan).Karena bagian ujung belakang kedua sisi ini dihubungkan maka daalam lilitan itu kedua ggl saling membantu.Generator mempunyai banyak lilitan semacam itu yang dipasang pada sebuah inti yang disebut jangkar.



Gambar 2.19 Lilitan kawat penghantar yang diputar dalam medan magnet

Nilai ggl yang diinduksikan sepotong kawat penghantar digerakkan tegak lurus pada garis-garis gaya dalam medan magnet seperti pada gambar 2.19 adalah :

$$E = H \times l \times v \times 10^{-8} \dots\dots\dots(2.11)$$

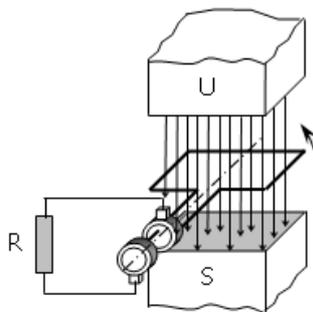
Dimana :

E = nilai ggl (volt)

H = kuat medan (oersted)

l = panjang penghantar yang berada didalam medan magnet (cm)

v = kecepatan gerakan penghantar (cm/detik)



Gambar 2.20 GGL induksi pada kawat penghantar yang dipasang tegak lurus dengan garis-garis gaya medan magnet

## 2.11 Beberapa Peralatan Listrik yang Menggunakan Prinsip Induksi Elektromagnetik

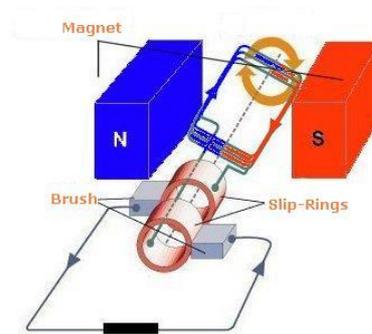
### 2.11.1 Generator

Generator atau pembangkit listrik yang sederhana dapat ditemukan pada dynamo sepeda. Dynamo sepeda biasanya digunakan untuk menyalakan lampu. Caranya ialah bagian atas dynamo (bagian yang dapat berputar) dihubungkan ke roda sepeda. Pada proses itu terjadilah perubahan energy gerak dan energy listrik. generator ( dynamo ) merupakan alat yang prinsip kerjanya

berdasarkan induksi elektromagnetik. Alat ini pertama kali ditemukan oleh Michael Faraday.

Berkebalikan dengan motor listrik, generator adalah mesin yang mengubah energy kinetic menjadi energy listrik. energy kinetic pada generator dapat juga diperoleh dari angin, air terjun atau sumber energy lainnya. Berdasarkan arus yang dihasilkan. Generator dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu, generator AC dan generator DC. Generator AC menghasilkan arus bolak balik (AC) dan generator DC menghasilkan arus searah (DC).

### 2.11.2 Generator AC

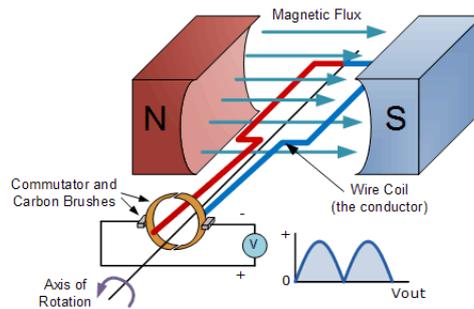


Gambar 2.21 generator AC

Bagian utama generator AC terdiri dari magnet permanen (tetap), kumparan (solenoida), cincin geser dan sikat. Pada generator, perubahan garis gaya magnet diperoleh dengan cara memutar kumparan didalam medan magnet permanen. Karena dihubungkan dengan cincin geser, perputaran menimbulkan GGL induksi AC, oleh karena itu arus industry yang ditimbulkan berupa arus AC. Adanya arus AC ini ditunjukkan oleh menyalnya lampu pijar yang disusun seri dengan kedua sikat. Sebagaimana percobaan Faraday, GGL induksi yang ditimbulkan oleh generator AC dapat diperbesar dengan cara :

- a. Memperbanyak lilitan kumparan
- b. Menggunakan magnet permanen yang lebih kuat
- c. Mempercepat putaran kumparan
- d. Menyisipkan inti besi lunak kedalam kumparan

Contoh generator AC yang akan sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari adalah dynamo sepeda. Bagian utama dynamo sepeda adalah sebuah magnet tetap dan kumparan yang disisipi besi lunak, jika magnet tetap diputar, perputaran tersebut menimbulkan GGL induksi pada kumparan. Jika sebuah lampu pijar dipasang pada kabel yang menghubungkan kedua ujung kumparan, lampu tersebut akan dilalui arus induksi AC. Akibatnya, lampu tersebut menyala. Nyala lampu akan semakin terang apabila perputaran magnet tetap makin cepat (laju sepeda semakin kencang).



Gambar 3.4.1.2 generator DC

Prinsip kerja generator DC sama dengan generator AC. Namun, pada generator DC arah arus induksinya tidak berubah. Hal ini disebabkan cincin yang digunakan pada generator DC berupa cincin belah (komutator).

### 2.11.3 Transformator



Gambar 2.22 Transformator

Agar tidak berbahaya, tegangan yang tinggi itu harus diturunkan terlebih dahulu sebelum arus listrik disalurkan kerumah-rumah penduduk. Pada umumnya tegangan yang disalurkan kerumah-rumah penduduk ada dua macam, yaitu 220 volt dan 110 volt. Alat yang digunakan untuk menurunkan tegangan disebut transformator.

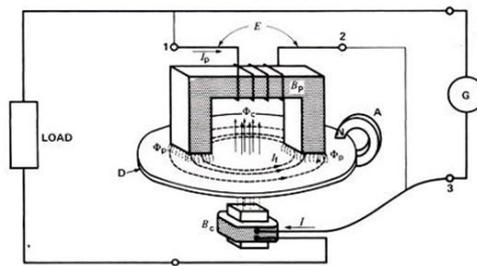
Bagian utama transformator adalah dua buah kumparan yang keduanya dililitkan pada sebuah inti besi lunak. Kedua kumparan tersebut memiliki jumlah lilitan yang berbeda. Kumparan yang dihubungkan dengan sumber tegangan AC disebut kumparan primer, sedangkan kumparan yang lain disebut kumparan sekunder.

Jika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan AC (dialiri arus listrik AC), besi lunak akan menjadi elektromagnet. Karena arus yang mengalir tersebut adalah arus AC, garis-garis gaya elektromagnet selalu berubah-ubah. Oleh karena itu, garis-garis gaya yang dilingkupi oleh kumparan sekunder juga berubah-ubah. Perubahan gaya ini menimbulkan GGL induksi pada kumparan sekunder. Hal itu menyebabkan pada kumparan sekunder mengalir arus AC (arus induksi).

## 2.12 Prinsip Kerja kWh meter

Prinsip kerja dari kWh meter dapat dijelaskan berdasarkan gambar 2.22 alat ukur ini dibangun oleh tiga bagian utama yaitu, dua buah kumparan tetap (1) dan (2) yang mana disebut kumparan tegangan dan kumparan arus. Bagian yang ketiga adalah piring yang berputar (3), umumnya terbuat dari aluminium yang diikat pada sumber putar (4) yang memindahkan putaran.

Piring kesuatu sistem penghitung mekanis (6) yang menunjukkan jumlah energy.



Gambar 2.23 prinsip kerja kWh meter

Bila Kwh meter dihubungkan dengan sumber tegangan AC maka akan mengalir arus pada kumparan arus dan tegangan mengalir pada kumparan tegangan sehingga akan timbul momen putar yang memutar piring sebanding dengan daya pada beban.

Untuk menghasilkan momen lawan digunakan magnet permanen (5), magnet permanen juga menghasilkan fluksi, dimana fluksi ini memotong piring aluminium, maka pada piring akan diinduksikan tegangan yang sebanding dengan kecepatan putar piring. Bila kecepatan piring mencapai kecepatan konstan, maka kedua momen putar dan momen lawan akan besar.

Pada piringan kWh meter terdapat suatu garis penanda (biasanya berwarna hitam atau merah). Garis ini berfungsi sebagai indikator putaran piringan. Untuk satu kWh biasanya setara dengan 900 putaran ( adapula 450 putaran tiap kWh). Saat beban banyak memakai daya listrik maka putaran kWh ini semakin cepat, hal ini nampak dari cepatnya garis penanda ini melintas.

### 2.13 Elektrodinamometer Wattmeter

Instrument ini cukup familiar dalam desain dan konstruksi elektrodinamometer tipe ammeter dan voltmeter analog. Kedua koilnya dihubungkan dengan sirkuit yang berbeda dalam pengukuran power. Koil yang tetap atau "field coil" dihubungkan secara seri dengan rangkaian, koil bergerak dihubungkan parallel dengan tegangan dan membawa arus yang proporsional dengan tegangan. Sebuah tahanan non induktif dihubungkan secara seri dengan koil bergerak supaya dapat membatasi arus menuju nilai yang kecil. Karena koil bergerak membawa arus proporsional dengan tegangan maka disebut "pressure coil" atau "voltage coil" dari wattmeter.

### 2.14 Wattmeter Satu Fasa

Elektrodinamometer dipakai secara luas dalam pengukuran daya dia dapat dipakai untuk menunjukkan daya searah (dc) maupun daya bolak balik (ac) untuk setiap bentuk gelombang tegangan dan arus yang tidak terbatas pada gelombang sinus saja. Elektrodinamometer yang digunakan sebagai voltmeter atau kumparan-kumparan yang diam dihubungkan seri dengan tahanan pembatas arus dan membawa arus kecil ( $I_p$ ). Arus sesaat didalam kumparan yang berputar adalah  $I_p = e/R_p$ , dimana  $e$  adalah tegangan sesaat pada jala-jala (volt) dan  $R_p$  adalah tahanan total (Ohm), kumparan berputar beserta tahanan serinya.

Defleksi kumparan putar sebanding dengan pertalian  $I_c$  dan  $I_p$  dan untuk defleksi rata-rata selama satu perioda dapat dituliskan :

$$\text{Defleksi rata-rata} = K \cdot I_c \cdot I_p \cdot dt \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

rata-rata= defleksi sudut rata-rata kumparan

K = konstanta instrument

I<sub>c</sub>= arus sesaat dalam kumparan medan (Amp)

I<sub>p</sub>= arus sesaat didalam kumparan-kumparan potensial (Amp)

Dengan menganggap sementara I<sub>c</sub> sama dengan arus beban I ( secara actual I<sub>c</sub> = I<sub>p</sub> + I) dan menggunakan nilai I<sub>p</sub> = e/R<sub>p</sub> kita bisa dapatkan :

$$\text{Defleksi rata-rata} = K \cdot I \cdot e/R_p \cdot dt = K \cdot 1/T \cdot e \cdot I \cdot dt \dots \dots \dots (2.13)$$

Menurut definisi, daya rata-rata didalam suatu rangkaian adalah :

$$P \text{ rata-rata} = E_i \cdot dt \dots \dots \dots (2.14)$$

Hal ini menunjukkan bahwa elektrodinamometer yang dihubungkan dalam konfigurasi gambar 1 mempunyai defleksi yang sebanding dengan daya rata-rata. Jika  $\phi$  dan I adalah besaran sinus dengan bentuk  $e = E_m \sin \omega t$  dan  $I = I_m \sin (\omega t + \phi)$  maka persamaan (3.3) berubah menjadi Defleksi rata-rata = K. E I cos  $\phi$ .

Dimana E dan I menyatakan nilai-nilai rumus tegangan (volt) dan arus (Amp).  $\phi$  menyatakan sudut fasa antara tegangan dan arus. Wattmeter elektrodinamometer membutuhkan sejumlah daya untuk mempertahankan medan magnetnya, tetapi ini biasanya begitu kecil dibandingkan dengan daya beban sehingga dapat diabaikan, jika diperlukan pembacaan daya yang tepat, kumparan arus harus persis membawa arus beban, dan kumparan potensial harus dihubungkan diantara terminal beban.

Dengan menghubungkan kumparan potensial ke titik A seperti pada gambar, tegangan beban terukur dengan tepat. Tetapi arus yang melalui kumparan-kumparan medan lebih besar sebanyak I<sub>p</sub>. Berarti wattmeter membaca lebih tinggi sebesar kehilangan daya daya tambahan didalam rangkaian potensial. Tetapi, jika rangkaian potensial dihubungkan ketitik B, kumparan medan mencatat arus yang tepat, tetapi tegangan pada kumparan potensial akan lebih besar sebanyak penurunan tegangan pada kumparan-kumparan medan. Juga

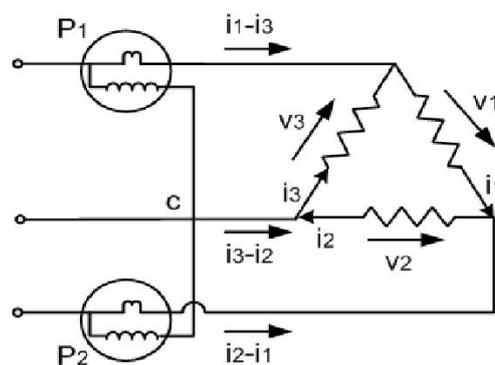
wattmeter akan mencatat lebih tinggi tetapi dengan kehilangan sebesar  $I.R$  didalam kumparan medan.

Cara penyambungan yang tepat tergantung situasi. Umumnya sumbangan kumparan potensial pada titik A lebih diinginkan pada arus tinggi, tegangan rendah, sedang sambungan tegangan kumparan pada titik B lebih diinginkan untuk beban-beban arus rendah, dan tegangan tinggi.

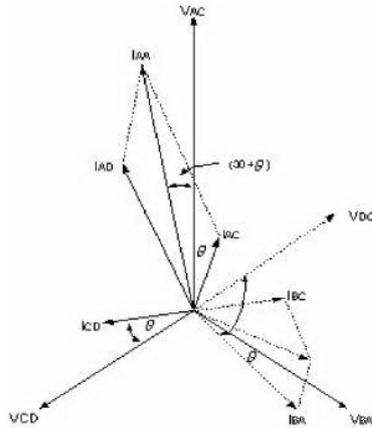
Kesulitan dalam menempatkan sambungan kumparan potensial diatasi dengan wattmeter yang terkompensasi. Kumparan arus terdiri dari dua kumparan, masing-masing mempunyai jumlah lilitan yang sama. Salah satu kumparan menggunakan kawat besaran yang membawa arus beban ditambah arus untuk kumparan potensial. Gulungan lain menggunakan kawat kecil (tipis) dan hanya membawa arus kekumparan tegangan. Tetapi arus ini berlawanan dengan arus didalam gulungan besar, menyebabkan fluks yang berlawanan dengan fluks utama. Berarti efek I dihilangkan dan wattmeter menunjukkan daya yang sesuai.

### 2.13 Wattmeter Tiga Fasa

Pengukuran daya dalam suatu system fasa banyak memerlukan pemakaian dua atau lebih wattmeter. Kemudian daya nyata total diperoleh dengan menjumlahkan pembacaan masing-masing wattmeter secara aljabar. Teorema Brondel menyatakan bahwa daya nyata dapat diukur melalui pengurangan satu elemen dan jumlah kawat-kawat dalam setiap fasa banyak, dengan persyaratan bahwa satu kawat dapat dibuat common terhadap semua rangkaian potensial. Gambar (2.23) menunjukkan bahwa sambungan dua wattmeter untuk pengukuran konsumsi daya oleh sebuah beban yang seimbang yang dihubungkan secara delta. Kumparan arus wattmeter I dihubungkan dalam jaringan A dan kumparan tegangan dihubungkan antara (jala-jala, line ) A dan C. kumparan arus wattmeter 2 dihubungkan dengan antaran B, dan kumparan tegangan antara antaran B dan C.



Gambar 2.23 Metode ARON



Gambar 2.24 Diagram fasor arus dan teganga pada wattmeter

Kumparan arus wattmeter I membawa arus antara IA'A yang merupakan penjumlahan vector dan at=rus-arus fasa IAC dan IAB. Kumparan potensial wattmeter 1 dihubungkn ketegangan antara VAC. Dengan cara sama kumparan arus wattmeter 2 membawa arus antara IB'B yang merupakan penjumlahan vector dari arus-arus fasa IBA dan IBC. Sedang tegangan pada potensialnya adalah tegangan antara VBC, Karena beban adalah setimbang, tegangan fasa dan arus-arus sama besarnya dan dituliskan :

$$V_{AC} = V_{AB} = V \text{ dan } I_{AC} = I_{BA} = I \dots\dots\dots(3.5)$$

Daya dinyatakan oleh arus dan tegangan masing-masing wattmeter adalah :

$$W_1 = V_{AC}.I_{A'A} \text{ Cos } (30^\circ - \phi) = VI \text{ Cos } (30^\circ - \phi) \dots\dots\dots(3.6)$$

$$W_2 = V_{BC}.I_{B'b} \text{ Cos } (30^\circ + \phi) = VI \text{ Cos } (30^\circ + \phi) \dots\dots\dots(3.7)$$

Dan

$$W_1 + W_2 = VI \text{ Cos } (30^\circ - \phi) + VI \text{ Cos } (30^\circ + \phi) = VI \text{ Cos} 30^\circ \text{ Cos } \phi + \sin 30^\circ \text{ Sin } \phi + \text{Cos } 30^\circ \text{ Cos } \phi + \sin 30^\circ \text{ Sin } \phi = 3VI \text{ Cos } \phi \dots\dots\dots(3.8)$$

Persamaan merupakan pernyataan daya total dalam sebuah rangkaian tiga fasa, dan karena itu kedua wattmeter pada gambar secara tepat mengukur daya total tersebut. Dapat ditunjukkan bahwa penjumlahan aljabar dari penjumlahan kedua wattmeter akan memberikan nilai daya yang benar untuk setiap kondisi yang tidak seimbang, faktor daya atau bentuk gelombang. Jika kwat netral dari sistem tiga fasa juga tersedia seperti halnya pada beban yang tersambung dalam hubungan bintang 4 kawat, sesuai dengan Teorema Blondel, diperlukan tiga wattmeter untuk melakukan daya nyata total.

#### 2.14 Pengukuran Daya Reaktif

Daya reaktif yang disuplai kerangkaian arus bolak balik sebagai satuan yang disebut VAR (Volt Ampere Reaktif), karena itu memberikan perbedaan daya nyata dan daya oleh komponen reaktif. Merupakan dua fasor  $E$  dan  $I$  yang menyatakan tegangan dan arus pada sudut fasa. Daya nyata adalah perkalian komponen-komponen sefasa dari tegangan dan arus ( $E I \cos \phi$ ), sedang daya reaktif adalah kumpulan komponen-komponen reaktif yaitu  $E I \sin \phi$ , atau  $E I \cos (\phi - 90^\circ)$ . Jika tegangan bergeser  $90^\circ$  dari nilai sebenarnya, komponen sefasa yang bergeser menjadi  $E \cos (\phi - 90^\circ)$  sehingga perkalian komponen-komponen sefasa menjadi  $E I \cos (\phi - 90^\circ)$ , yang mana adalah daya reaktif. Setiap wattmeter biasa bersama-sama dengan sebuah jaringan penggeser fasa yang sesuai dapat digunakan untuk mengukur daya reaktif. Dalam sebuah rangkaian satu fasa, penggeseran fasa  $90^\circ$  dapat dihasilkan oleh komponen  $R$ ,  $L$  dan  $C$  yang berimbang. Namun pemakaian umum dari pengukuran VAR ditemukan dalam sistem tiga fasa dimana pergeseran fasa yang diinginkan dilakukan dengan menggunakan dua autotransformator yang dihubungkan dalam konfigurasi delta terbuka. Seperti biasanya kumparan-kumparan arus dari wattmeter dihubungkan seri dengan jala-jala. Kumparan-kumparan potensial dihubungkan ke kedua autotransformator dalam cara yang ditunjukkan pada gambar.

Antara fasa B dihubungkan ke terminal bersama dua common kedua transformator dan fasa antara fasa A dan C dihubungkan ke percabangan (tap) 100% kedua transformator tersebut. Kedua transformator akan menghasilkan

115,4% tegangan antara pada gulungan total. Kumparan potensial wattmeter I dihubungkan dari percabangan (tap) 57,7% transformator I kepercabangan 115,4% transformator 2 menghasilkan tegangan yang sama dengan tegangan antara tetapi bergeser-geser sebesar  $90^0$  ini ditunjukkan pada diagram kumparan fasor tegangan wattmeter 2 dihubungkan dengan cara yang serupa. Karena sekarang kedua kumparan menerima gaya gerak listrik (ggl) yang sama dengan tegangan antara tetapi bergeser sejauh  $90^0$  kedua wattmeter akan membaca daya reaktif yang dipakai oleh beban penjumlahan aljabar dan pembacaan kedua wattmeter menyatakan daya reaktif total yang disalurkan ke beban. Dalam sebuah paket instrument tunggal, gabungan wattmeter dan transformator penggeser fasa disebut VAR meter.

#### 2.14 Alat Ukur Watt Jam

Alat ukur watt jam (watt hour meter) tidak banyak digunakan dalam laboratorium tetapi banyak digunakan dalam pengukuran energy listrik komersil. Kenyataannya adalah jelas bahwa di semua tempat dimanapun, perusahaan listrik menyalurkan energy listrik ke industry dan pemakai setempat memerlukan alat ukur kWh. Alat ini bekerja berdasarkan prinsip kerja induksi.

Kumpran arus dihubungkan seri dengan antaran dan kumparan tegangan dihubungkan secara parallel. Kedua kumparan yang dililitkan pada sebuah kerangka logam dengan desain khusus melengkapi dua rangkaian magnet. Sebuah piringan aluminium ringan digantung dalam senjang udara medan kumparan arus yang menyebabkan arus pusar mengalir didalam piringan. Reaksi medan dan kumparan tegangan membangkitkan sebuah torsi (aksi motor) terhadap piringan dan menyebabkannya berputar. Torsi yang dibangkitkan sebanding dengan kuat medan kumparan putaran tegangan dan arus pusar didalam piringan yang berturut-turut adalah fungsi kuat kumparan medan arus. Berarti jumlah putaran piringan sebanding dengan energy yang telah dipakai oleh beban dalam selang waktu tertentu, dan diukur dalam kilowatt jam (kWh, kilo watt hour). Poros yang menopang piringan aluminium dihubungkan melalui susunan roda gigi ke mekanisme panel alat ukur, melengkapi suatu kWh terkalibrasi secara decimal. Redamaan piringan diberikan dua magnet permanen kecil yang

ditempatkan saling berhadapan pada sisi piringan. Bila piringan berputar, magnet-magnet permanen menginduksi arus pusar didalamnya. Arus-arus pusar ini bereaksi dengan medan magnet dari magnet-magnet permanen kecil dan meredam gerakan piringan. Kalibrasi alat ukur wattjam dilakukan pada kondisi beban penuh yang diijinkan dan pada kondisi 10% dari beban yang diijinkan.

Pada beban penuh, kalibrasi terdiri dari pengaturan posisi dari magnet-magnet permanen kecil agar alat ukur membaca dengan tepat. Pada beban-beban yang sangat ringan, komponen tegangan dari medan menghasilkan suatu torsi yang tidak sebanding langsung dengan beban. Komponen kesalahan diperoleh dengan menyisipkan sebuah kumparan pelindung atau plat diatas sebagian kumparan tegangan dengan membuat alat ukur bekerja pada 10% beban yang diijinkan. Kalibrasi alat ukur pada kedua posisi ini biasanya menghasilkan pembacaan yang memuaskan untuk semua beban-beban lainnya.

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan tentang Pemasangan kapasitor disinyalir dapat mengurangi daya yang diukur pada kWh meter sehingga diharapkan dapat mengurangi biaya yang dibayarkan konsumen terhadap perusahaan listrik. oleh karena itu analisis ini melihat dampak pemakaian kapasitor terhadap kerja kWh meter induksi.

Kapasitor adalah suatu komponen elektrik yang dapat menyimpan energy listrik dalam bentuk medan listrik. kapasitor menghasilkan daya yang disebut daya reaktif. Daya reaktif ini diperlukan oleh beban-beban yang bersifat induktif dan beban kapasitif. Beban induktif contohnya motor listrik, kulkas, air conditioner, dan beban lain yang memiliki belitan(kumparan), sedangkan beban kapasitif contohnya beban yang memiliki kapasitor.

kWh meter merupakan alat yang digunakan perusahaan listrik untuk mengukur energy listrik yang dipakai oleh konsumen listrik. kWh meter mengukur daya aktif saja, sementara peralatana(beban) membutuhkan daya aktif dan daya reaktif ( daya nyata). Dalam rumah tangga daya reaktif itu tidak dibayar kepada perusahaan listrik tetapi kepada industry  $\text{Cos } \phi$  dibawah 0,85 maka perusahaan akan dikenakan denda.  $\text{Cos } \phi$  merupakan perbandingan daya aktif dengan daya reaktif.

#### 3.1 Tempat dan lokasi penelitian

Kegiatan penelitian ini bertempat di laboratorium fakultas teknik prodi teknik elektro UMSU.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Ada pun peralatan dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

##### 1. Peralatan :

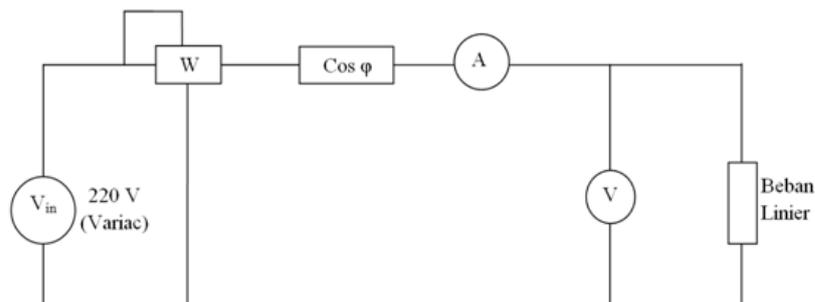
- Yokogawa 2533 Digital Power Meter
- kWh meter induksi
- Kapasitor 12  $\mu\text{F}$  dan 35  $\mu\text{F}$
- 9 buah lampu pijar masing-masing 75 w

- Dua buah lampu TL masing-masing 20 w
- Satu buah lampu XL 18 w
- Satu buah kipas angin
- Satu buah stop watch
- Satu buah setrika listrik
- Satu buah autotrafo

## 2. Spesifikasi Peralatan

- Kapasitor
- MP Capacitor 20 MAL 126 UA12  $\mu$ F 200 WV, AC Manon 3502
- SH, CAPASITOR 250 VAC 35  $\mu$ F 25/70/2150/60 Hz michicon
- kWh meter AEG wechselstromzahler A42G220 V10(40) A50 Hz600  
U/kWh Schlgt 1000

### 3.2.1 Rangkaian Percobaan



Gambar 3.1 Rangkaian Percobaan

### 3.3 Jalannya Penelitian

Metode yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah :

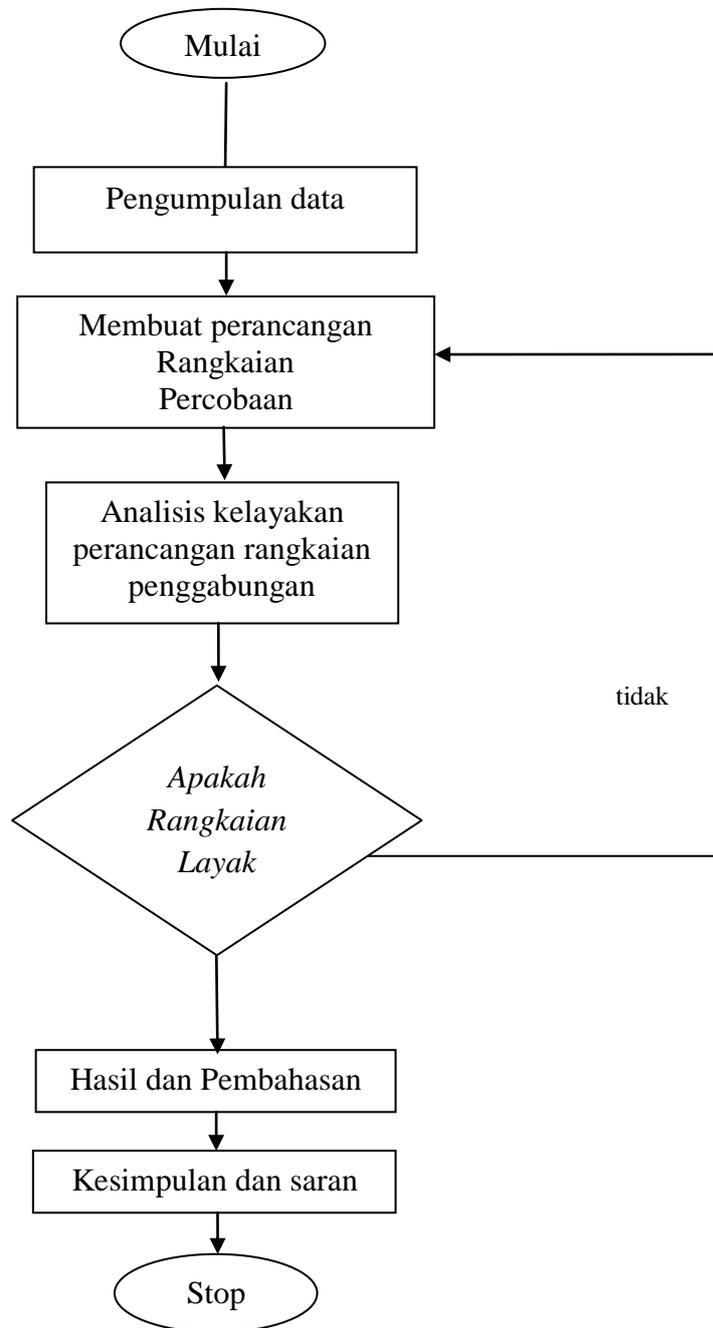
- a. Membuat perancangan rangkaian Rangkaian Percobaan
- b. Mengukur tegangan dan arus rangkaian
- c. Mengamati hasil pengukuran
- d. Menghitung tegangan, arus
- e. Analisis perhitungan kelayakan perancangan rangkaian

### 3.4 Prosedur Percobaan

Percobaan ini dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Rangkaian percobaan disusun seperti gambar 4.1
- b. Beban dipasang berupa lampu hemat energy
- c. Autrafo diatur sehingga keluarannya sebagai catu tegangan 220 Volt
- d. Digital power meter di On kan sehingga dapat diukur besar tegangan (V), arus (I),  $\cos \phi$ , daya nyata (kVA), daya aktif (KW), daya reaktif (kVAR) dan waktu (detik) untuk tiga putaran piringan kWh meter.
- e. Catat hasil percobaan
- f. Prosedur yang sama lakukan dengan cara mengubah-ubah beban berupa lampu pijar, kipas angin, setrika dan lampu hemat energy.
- g. Percobaan selesai.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

## BAB 4

### HASIL PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Pengujian

Data pada saat pengukuran tanpa memakai kapasitor dengan menggunakan berbagai beban

Tabel 4.1 Data pengukuran tanpa memakai kapasitor

Beban	V (volt)	W (kWatt)	Cos $\phi$	I (A)	S (kVA)	Q (kVAR)	t(detik)	Put
Tanpa beban	220	0,001	0,269	0,018	0,004	0,003	-	-
1 lampu XL	219,7	0,017	0,665	0,119	0,026	0,019	1.467,03	3
2 lampu TL	218,8	0,048	0,464	0,476	0,104	0,092	412,24	3
5 pijar	217,9	0,336	0,969	1,596	0,347	0,876	55,07	3
6 pijar	217,6	0,403	0,969	1,915	0,416	0,105	45,49	3
7 pijar	217,0	0,469	0,969	2,225	0,483	0,120	39,20	3
8 pijar	216,4	0,534	0,969	2,548	0,552	0,138	34,23	3
9 pijar	216,8	0,601	0,969	2,865	0,620	0,155	30,45	3
2 TL + 9 pijar	216,8	0,646	0,963	3,097	0,673	0,181	28,38	3
1 XL + 9 pijar	216,9	0,616	0,967	2,938	0,636	0,161	29,77	3
9 pijar +2 TL + 1 XL	216,6	0,662	0,964	3,167	0,685	0,182	27,92	3
Kipas angin	220	0,046	0,969	0,217	0,047	0,011	639,45	3
seterika	220,9	0,275	0,969	1,280	0,284	0,069	67,13	3

4.1.1 Data pada saat pengukuran dengan memakai kapasitor 12  $\mu$ F pada berbagai beban

Tabel 4.2 Data Pengukuran dengan memakai kapasitor 12  $\mu$ F

Beban	V (volt)	W (kWatt)	Cos $\phi$	I (A)	S (kVA)	Q (kVAR)	t (detik)	put
tanpa beban	220,2	0,001	0,009	0,880	0,195	0,194	-	-
1 lampu XL	220,5	0,017	0,088	0,933	0,205	0,204	205,0	3
2 lampu TL	220,1	0,048	0,405	0,542	0,119	0,109	429,45	3
5 pijar	218,5	0,339	0,847	1,834	0,400	0,213	54,19	3
6 pijar	218,7	0,408	0,879	2,121	0,464	0,222	45,09	3
7 pijar	218,9	0,475	0,899	2,415	0,528	0,232	38,77	3

8 pijar	218,3	0,541	0,914	2,716	0,593	0,241	33,97	3
9 pijar	218,5	0,619	0,924	3,019	0,658	0,252	29,76	3
2 TL +9 pijar	217,5	0,652	0,956	3.132	0,680	0,200	28,12	3
1 XL + 9 pijar	218,4	0,609	0,924	3,015	0,659	0,252	30,09	3
9 pijar + 2 TL + 1 XL	217,1	0,665	0,954	3,210	0,697	0,208	27,47	3
kipas angin	220,8	0,046	0,223	0,938	0,206	0,202	503,30	3
seterika	215,8	0,263	0,769	1,532	0,330	0,201	70,04	3

#### 4.1.2 Data pada saat pengukuran dengan memakai kapasitor 35 $\mu$ F pada berbagai beban

Tabel 4.3 Data Pengukuran dengan memakai kapasitor 35  $\mu$ F

Beban	V (volt)	W (kWatt )	Cos $\phi$	I (A)	S (kVA)	Q (kVA R)	t (detik)	put
tanpa beban	220	0,002	0,004	2,306	0,507	0,508	-	-
1 lampu XL	220,3	0,017	0,034	2,333	0,515	0,515	1.641,54	3
2 lampu TL	220	0,049	0,115	1,923	0,423	0,422	431,24	3
5 pijar	219,1	0,339	0,551	2,808	0,617	0,512	53,19	3
6 pijar	219,6	0,406	0,615	3,005	0,650	0,520	45,04	3
7 pijar	219,5	0,473	0,669	3,219	0,702	0,525	38,67	3
8 pijar	219,3	0,540	0,714	3,448	0,754	0,527	33,62	3
9 pijar	218,8	0,608	0,753	3,697	0,809	0,532	29,88	3
2 TL +9 pijar	218,5	0,654	0,822	3.642	0,797	0,454	27,76	3
1 XL + 9 pijar	219,2	0,625	0,756	3,771	0,826	0,541	29,37	3
9 pijar + 2 TL + 1 XL	218,1	0,668	0,822	3,727	0,815	0,461	27,17	3
kipas angin	221	0,050	0,098	2,309	0,511	0,507	503,30	3
seterika	219,7	0,003	0,005	2,300	0,505	0,507	70,04	3

#### 4.2 Perhitungan Tagihan Listrik

Sebuah rumah tangga dengan golongan tariff R1 dengan daya 450 VA memiliki beban berupa 1 buah TV, 1 buah DVD, 1 buah tape recorder, 1 buah rice cooker, 1 lampu TL 100W, 4 buah lampu pijar 25 W, 1 buah setrika, dan 1 buah mesin pamarut kelapa. Pada bulan September 2008, total daya yang dipakai adalah 109 kWh ( lihat lampiran I).

Dalam menghitung tagihan listrik diatas maka harus diketahui terlebih dahulu, bahwa ada penggunaan listrik rumah tangga dengan daya 450 VA (R1/450) memiliki ketentuan sebagai berikut :

<b>Penggunaan</b>	<b>tarif ( dalam rupiah )</b>
30 kWH pertama	169
30 kWH kedua	360
Per kWH berikutnya	495

Untuk pemakaian 109 kWH maka perhitungannya sebagai berikut :

<b>Penggunaan</b>	<b>Tarif (dalam rupiah )</b>	<b>Biaya (dalam rupiah )</b>
30 kWH (0-30)	X169	5.070
30 kWH (31-60)	X360	10.800
49 Kwh berikutnya (61-109)	X495	24.225
<b>total</b>		<b>40.125</b>

Jadi didapat total penggunaan listrik sebesar Rp 40.125,- , ini adalah nilai pemakaian bersih tanpa abodeman dan pajak. Untuk menghitung abodemen listrik PLN digunakan rumus :

$$\text{Abodeman PLN} = (\text{daya}/1000) \times (\text{Rp}/\text{kVA})$$

Untuk R1/450, Rp/kVA yang ditetapkan PLN adalah Rp 11.000,-

Jadi abodemen untuk R1/450 adalah :  $(450/1000) \times \text{Rp } 11.000,- = \text{Rp } 4.950,-$

Maka tagihan listrik tanpa pajak adalah :  $\text{Rp } 40.125,- + \text{Rp } 4.950,- = \text{Rp } 45.075,-$

Rumus menghitung pajak yaitu 10% dari tagihan listrik yang ditambah abodemen, maka besar pajak =  $10\% \times \text{Rp } 45.075,- = \text{Rp } 4.507,-$  dikenakan menjadi **Rp 4.510,-** sehingga total tagihan listrik PLN setelah dikenakan pajak adalah :  $\text{Rp } 45.075,- + \text{Rp } 4.510,- = \text{Rp } 49.585,-$  .

### 4.3. kWh meter dengan system prabayar

System pembayar listrik yang lazim dilakukan di Indonesia adalah dengan menghitung daya yang terpakai (melalui kWh meter), dimana secara periodic petugas mendatangi rumah ke rumah dan mencatat pengukuran kWh meter. Setelah itu pemilik rumah harus membayar listrik pada tempat yang sudah ditentukan, atau melalui fasilitas yang disediakan oleh bank. System ini dikenal sebagai system pascabayar. Dengan system pascabayar ini akan timbul kemungkinan adanya tunggakan listrik, kesalahan pembacaan / pencatatan kWh meter oleh petugas, ataupun konsumen yang merasa kurang nyaman karena harus antri sekian lama.

Pengujian system yang dilakukan dengan cara memberi suatu beban pada kWh meter sehingga terjadi pengurangan jumlah unit yang setara dengan putaran piringan. Prototype rangkaian system prabayar ini telah dapat berjalan dengan baik. Kesalahan sekitar 6,64% terjadi karena kWh meter untuk prototype tidak dikalibrasi lebih dahulu.

Dimana :

$\text{Cos } \phi_1 = \text{cos } \phi$  sebelum pemakaian kapasitor

$\text{Cos } \phi_2 = \text{cos } \phi$  setelah pemakaian kapasitor 12  $\mu\text{F}$

$\text{Cos } \phi_3 = \text{cos } \phi$  setelah pemakaian kapasitor 35  $\mu\text{F}$

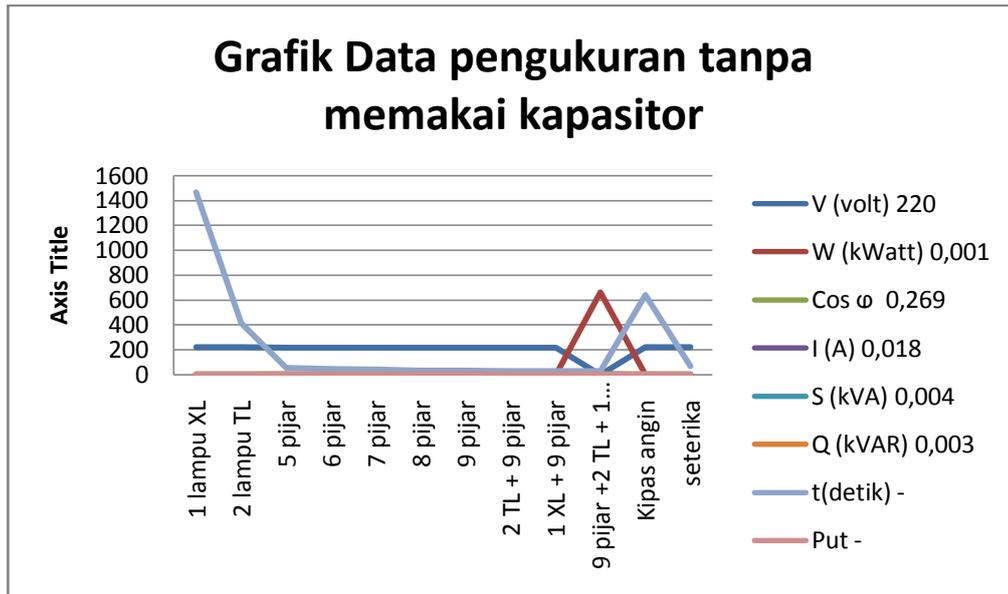
$V_1 =$  tegangan sebelum pemakaian kapasitor

$V_2 =$  tegangan setelah pemakaian kapasitor 12  $\mu\text{F}$

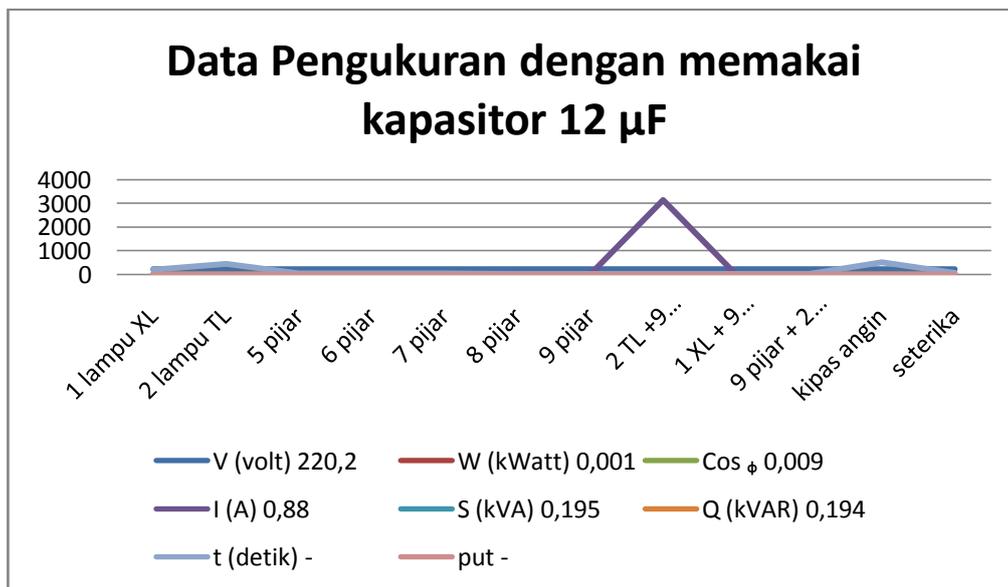
$V_3 =$  tegangan setelah pemakaian kapasitor 35  $\mu\text{F}$

### 4.4 Grafik Perhitungan Data

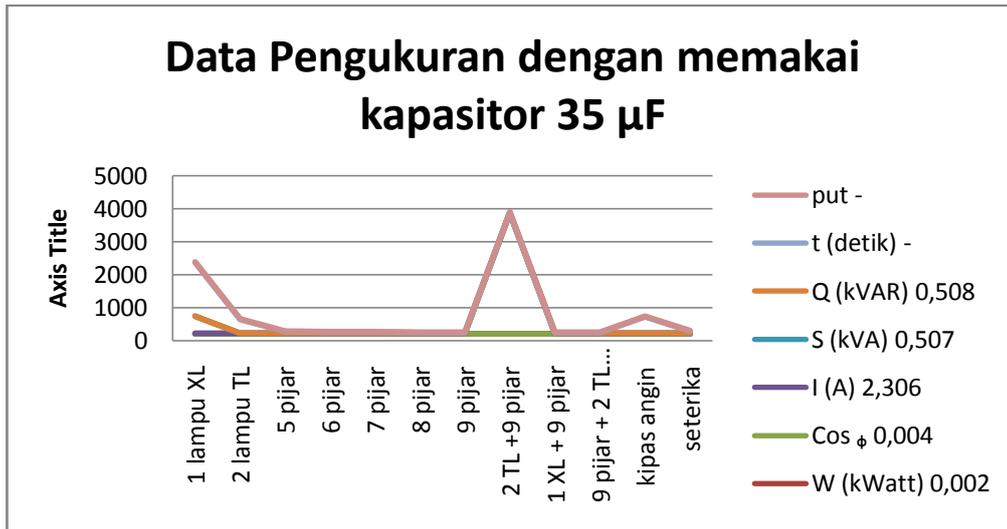
#### 4.4.1 Grafik Data pengukuran tanpa memakai kapasitor



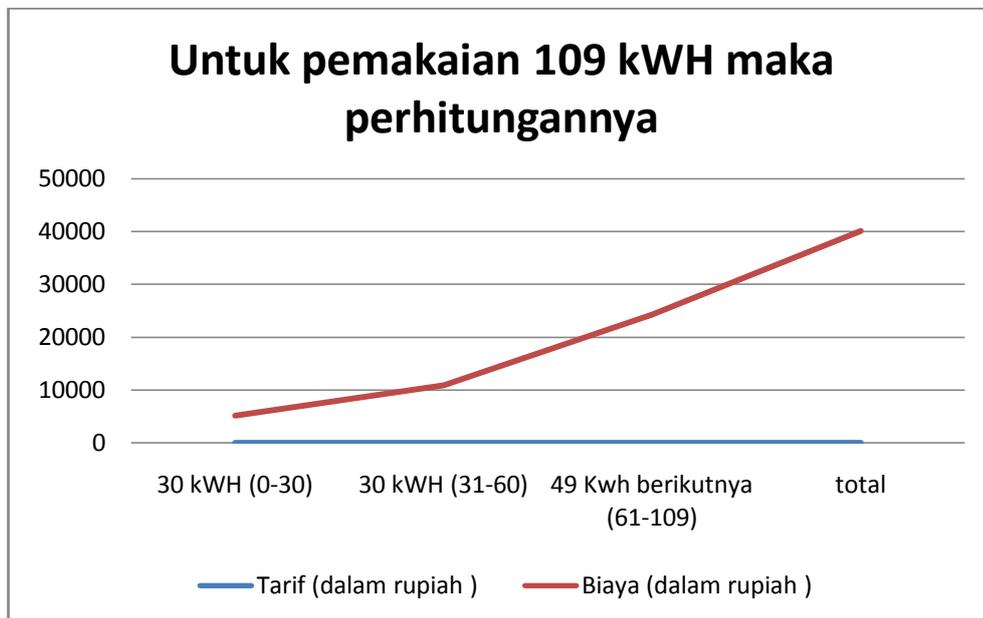
Gambar 4.1 Grafik pengukuran tanpa memakai kapasitor



Gambar 4. 2 Grafik Pengukuran dengan memakai kapasitor 12 μF



Gambar 4. 3 Grafik Pengukuran dengan memakai kapasitor 35  $\mu$ F



Gambar 4.4 Grafik pemakaian 109 kWh

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Pemasangan kapasitor pada kWh meter menyebabkan tegangan pada sistem semakin besar/baik. Pemakaian kapasitor mengakibatkan nilai  $\cos \phi$  semakin besar, jadi cocok dipasang pada kWh meter induksi satu fasa perumahan yang mempunyai banyak bahan induktif, sebaliknya bila dipakai pada perumahan yang memiliki banyak beban kapasitif, pemakaian kapasitor pada kWh meter induksi satu fasa justru akan merugikan.
2. Pemakaian kapasitor akan mengefektifkan pemakaian energy, sehingga kita dapat memasang lebih banyak peralatan listrik karena MCB bekerja berdasarkan arus resultan daya nyata.

#### **5.2 Saran**

1. Pemasangan kapasitor pada kWh meter ini dapat diaplikasikan di kWh yang dipasang ke konsumen sehingga pemakaian daya lebih efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Kraus & Fleisch, “ *Electromagnetiks with Application*”, edisi ke lima, Mc Graw Hill International , New York, 1999.
2. Lazar, Irwin, “*Elektrical System Analysis and Design for Industrial Plants*”, Mc Graw Hill-Book Company, United State of America, 1980
3. M. Pugh , Emerson, “*Principles of Electrycity and Magnetism*”, Addison Wesley Publishing Company, inc, London, 1960
4. Sapiie, Soedjana, Prof, Dr dan Nishino, Osama, Dr, “*Pengukuran dan Alat-alat ukur listrik*”, Jakarta, 2005.
5. Sumanto, Drs, MA, “ *Alat-alat ukur listrik*”, Andi, Yogyakarta, 1996
6. Suryatmo, F, “*Teknik Pengukuran Listrik dan Elektronika*”, Bumi Aksara, Jakarta, 1999.

