

## **TUGAS AKHIR**

# **“PENGUNAAN KAPASITOR BANK SEBAGAI MEDIA UNTUK PERBAIKAN FAKTOR DAYA PADA GEDUNG PELAYANAN KESEHATAN”**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada  
Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh :**

**MASWAR MUJAHIDY RITONGA**  
**1607220101P**



# **UMSU**

**Unggul | Cerdas | Terpercaya**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

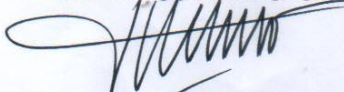
Nama : Maswar Mujahidy Ritonga  
NPM : 1607220101-P  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : **PENGGUNAAN KAPASITOR BANK SEBAGAI MEDIA UNTUK PERBAIKAN FAKTOR DAYA PADA GEDUNG PELAYANAN KESEHATAN**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 September 2019

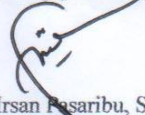
Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Penguji/Pendamping I



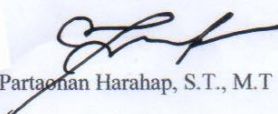
Zulfikar, S.T., M.T

Dosen Penguji/Pendamping II



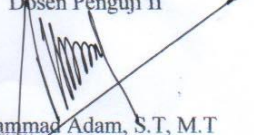
Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Penguji I



Partaonan Harahap, S.T., M.T

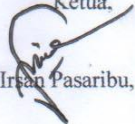
Dosen Penguji II



Muhammad Adam, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

**SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Maswar Mujahidy Ritonga  
NPM : 1607220101P  
Tempat/Tgl Lahir : Damuli Kebun, 30 April 1993  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro



Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir (skripsi) saya ini yang berjudul:

***“Penggunaan Kapasitor Bank sebagai media Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Gedung Pelayanan Kesehatan”***

Bukan merupakan plagiatisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena berhubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakan integritas Akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 - 09 2019



Saya yang menyatakan

**Maswar Mujahidy Ritonga**  
**1607220101P**

## ABSTRAK

Dalam system tenaga seperti generator, saluran transmisi, distribusi serta pralatan proteksi dan beban beban induktif yang umumnya menyerap dua komponen daya yaitu daya yang terpakai (daya aktif), daya yang tidak terpakai (daya reaktif). Untuk mengurangi daya reaktif yang tidak terpakai ini maka dilakukan pemasangan pemasangan kapasitor yang merupakan salah satu cara untuk mengurangi daya reaktif yang mudah dan paling murah

Di rumah rumah mewah, pertokoan dan industry umumnya merupakan salah satu pengguna beban induktif yang cukup besar, karena hampir disetiap ruangan terdapat beban induktif yang terpasang diantaranya AC, Motor Listrik dan Lampu hemat energi (SL & TL). Dalam penulisan ini, penulis mencoba menguraikan secara ringkas pemanfaatan Kapasitor Bank yang digunakan di gedung rumah sakit umum Labuhan Batu Utara Dari data dan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa, nilai daya reaktif sebelum kompensasi adalah 75,303 kVAR dan setelah kompensasi adalah 13,780 kVAR . Adapun besar daya reaktif yang dikompensasikan atau diberikan kapasitor adalah 61,523kVAR. Kapasitas kapasitor yang digunakan pada gedung perkantoran yang penulis data adalah 4523  $\mu$ F / phasa. Adapun perhitungan rekening listrik pada bulan Februari 2019 yaitu Rp. 31.646.400,- dan penghematan biaya rekening listrik perbulannya sekitar Rp.2.214.828,-

**Kata kunci** : *Daya reaktif, kapasitor bank*

## KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah Subhana Wataala atas limpahan rahmat dan karunianya baik berupa iman dan islam terlebih lebih rahmad kesehatan yang penulis dapatkansehingga walaupun dengan susah payah tulisan ini dapat terselesaikan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar sarjana pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah ***“Penggunaan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Gedung Pelayanan Kesehatan”***.

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, yang selalu sabar dan setia mendukung dan memberikan semangat agar saya dapat bangkit untuk menyelesaikan kuliah yang telah tertunda karena kelalaian saya..
2. Bapak Munawar Al Fansuri Siregar, ST., MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST.,MT. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Partaonan Harahap, ST., MT. Selaku Sekretaris Prodi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

5. Bapak Ir. Zulfikar, MT. selaku pembimbing I yang telah memberikan wawasan, arahan dan semangat yang tak henti hentinya kepada saya sehingga saya bisa lebih giat dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST., MT. selaku pembimbing II yang telah memberikan wawasan dan arahan yang membangun pada penyusunan skripsi ini.
7. Segenap Bapak dan Ibu dosen di fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Segenap karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Segenap teman-teman Fakultas Teknik, khususnya Fakultas Teknik Elektro yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan dan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Medan, 12 April 2019  
Penulis

**Maswar Mujahidy Ritonga**

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. LatarBelakang .....	1
1.2. RumusanMasalah .....	2
1.3. TujuanPenulisan .....	2
1.4. BatasanMasalah.....	3
1.5. ManfaatPenulisan .....	3
1.6. SistematikaPenulisan.....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1. Kajian Pustaka Relevan .....	6
2.2. Umum .....	6
2.2.1. Daya.....	7
2.2.2 Faktor Daya .....	12
2.3. BebanListrik .....	20

2.3.1. Beban Resistif.....	20
2.3.2 Beban Induktif .....	21
2.3.3. BebanKapasitif .....	21
2.4. Kapasitor Bank .....	22
2.4.1. Prinsip Kerja Kapasitor .....	23
2.4.2. Jenis – jenis Kapasitor.....	21
2.4.2.1. Kapasitor Seri .....	24
2.4.2.2. Kapasitor Shunt .....	28
2.4.3. Metode Kompensasi Daya .....	30
2.4.3.1 Kompensasi Tetap.....	30
2.4.3.2 Kompensasi Otomatis .....	31
2.4.4 Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank .....	31
2.5. PerhitunganDayaReaktif.....	34
2.5.1. Metode Perhitungan Biasa .....	34
2.5.2. MetodeTabel Kompensasi.....	35
2.5.3. Metode diagram.....	35
2.5.4. Metodekuitansi PLN .....	36
2.5.5. Metode Segitiga Daya .....	36
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>41</b>
3.1. Lokasi Penelitian .....	41
3.2. Peralatan Penelitian .....	41
3.3. Data Penelitian.....	42
3.3.1. Beban Penerangan .....	42



3.3.2. Beban Motor.....	42
3.3.3. Beban Elektronika.....	42
3.4. Proses Jalannya Penelitian.....	43
<b>BAB 4. ANALISA DAN PERHITUNGAN.....</b>	<b>45</b>
4.1 Perhitungan Daya Terpasang. ....	45
4.2. Perhitungan Ekonomis penggunaan kapasitor .....	46
4.2.1 Perhitungan Sebelum Penggunaan Kapasitor	
Bank .....	47
4.2.2 Perhitungan Sesudah Penggunaan Kapasitor	
Bank .....	47
4.3. Perhitungan Kapasitas Kapasitor Bank .....	49
4.3. Perhitungan Rekening Listrik Terpakai.....	50
4.4. Perhitungan Biaya Penghematan Rekening Listrik .....	50
4.5. Analisa Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Penggunaan	
Kapasitor Bank.....	50
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>53</b>
5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

### Halaman

Tabel 4.1 Perbandingansebelumndansesudahpemasangankapasitor bank.....	52
---	----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komponen Daya Dalam Beban Reaktif.....	7
Gambar 2.2. Vektor segi tiga daya .....	10
Gambar 2.3. Hubungan Daya Aktif Reaktif dan Kapasitansi .....	14
Gambar 2.4. Rangkaian Dan Diagram Faktor .....	16
Gambar 2.5. Faktor Daya Leading .....	19
Gambar 2.6. Segi Tiga Daya Untuk Beban Kapasitif .....	19
Gambar 2.7. Faktor Daya lagging .....	19
Gambar 2.8. Segi Tiga Daya dengan Beban Induktif .....	20
Gambar 2.9. Rangkaian Induktif Gelombang AC .....	22
Gambar 2.10. Vektor Arus Dan Tegangan pada beban Resistif .....	22
Gambar 2.11. Rangkaian Induktif Gelombang AC .....	22
Gambar 2.12. Vektor Arus Dan Tegangan pada beban Induktif .....	23
Gambar 2.13. Rangkaian Kapasitif Gelombang AC .....	23
Gambar 2.14. Vektor Arus Dan Tegangan pada Beban kapasitif .....	23
Gambar 2.14. Konstruksi Kapasitor .....	24
Gambar 2.15. Prinsip Kerja Kapasitor .....	25
Gambar 2.16. Rangkaian Kapasitor Hubungan Seri .....	26
Gambar 2.17. Rangkaian Sederhana Dari Kapasitor Seri .....	28
Gambar 2.17. Diagram Vektor Dari Rangkaian feeder radial .....	29
Gambar 2.18. Diagram Vektor Sebelum Pemasangan Kapasitor Seri .....	30
Gambar 2.19. Diagram Vektor Setelah Pemasangan kapasitor .....	30
Gambar 2.20. Hubungan Kapasitor Shunt ( Paralel).....	31

Gambar 2.21. Metode Pemasangan Instalasi Capasitor Bank .....	21
Gambar 2.22. Diagram Daya Untuk Menentukan daya Kapasitor .....	35
Gambar 3.1. Diagaram Alir Penyusunan Tugas Akhir .....	40
Gambar 4.1. Arus,Tegangan dan Frekuensi pada Indikator.....	41
Gambar 4.2. Kompensasi Daya .....	47

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dalam system tenaga seperti generator, saluran transmisi dan distribusi trafo daya, dan peralatan proteksi lainnya yang menggunakan beban-beban induktif dan kapasitif lainnya menyerap dua komponen daya yakni daya aktif dan daya reaktif. Energi listrik merupakan suatu bentuk energi yang memiliki peran yang sangat vital dalam aktivitas keseharian manusia. Setiap tahun terjadi peningkatan kebutuhan energi yang sangat signifikan dan menuntut penyedia tegangan listrik untuk memberikan *suplay* tenaga listrik yang cukup dan berkualitas. Peningkatan kebutuhan energi juga diikuti dengan permintaan daya reaktif akibat beban yang bersifat induktif meningkat, jika suatu jaringan tidak memiliki sumber daya reaktif di daerah sekitar beban maka semua kebutuhan beban reaktifnya dipikul oleh generator, sehingga akan mengalir arus reaktif pada jaringan yang mengakibatkan peningkatan drop tegangan, dan rugi daya.

Rumah Sakit Umum Labuhanbatu merupakan salah satu pengguna beban induktif yang cukup besar, karena hampir disetiap ruangan terdapat beban – beban induktif yang terpasang seperti AC, lampu hemat energi ( SL dan TL), alat-alat medis rumah sakit, lift, penggunaan komputer serta mesin foto copy. Dengan daya terpasang dari PLN sebesar 105 kVA dan kapasitas *transformator* 3 fasa

100 kVA 20 kV / 400 V yang mensuplay seluruh gedung yang terdapat di Rumah Sakit Umum Labuhanbatu.

Dalam penyaluran energi listrik ada beberapa masalah yang dihadapi antara lain jatuh tegangan, faktor daya yang rendah dan rugi - rugi daya. Beban pada jaringan distribusi bisa berupa beban kapasitif dan induktif. Apabila beban induktif semakin tinggi maka akan berakibat memperbesar rugi-rugi daya, menurunkan faktor daya dan menurunkan kapasitas penyaluran daya. Untuk mengurangi beban induktif diperlukan sumber daya kapasitif. Sumber daya kapasitif tersebut dapat berupa kapasitor bank. Keuntungan yang diperoleh dari pemasangan kapasitor bank adalah dapat memperbaiki faktor daya, penambahan kapasitas penyaluran daya, pengurangan rugi - rugi daya dan penurunan jatuh tegangan.

Berdasarkan uraian di atas maka skripsi ini membahas tentang Penggunaan Kapasitor Bank Untuk Memperbaiki Faktor Daya.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang dapat diambil berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas adalah :

1. Menghitung besar ukuran kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya di Rumah Sakit Umum Labuhanbatu.
2. Menghitung faktor daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank.

### 1.3. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui berapakah besarnya nilai dan kapasitas Kapasitor (kVAR) yang dibutuhkan pada jaringan listrik di Rumah Sakit Umum Labuhanbatu
2. Mengetahui berapakah besarnya biaya pendistribusian energi listrik sebelum pemasangan dan setelah pemasangan kapasitor, dan membuat perbandingannya

### 1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan batasan masalah yang dibahas dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan kebutuhan kapasitor bank untuk memperbaiki faktor daya di Rumah Sakit Umum.
2. Perbaikan faktor daya dengan faktor daya *shunt*.
3. Nilai ekonomisnya setelah pemasangan ditinjau dari segi biaya yang dikeluarkan

### 1.5 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk Ilmu Pengetahuan, menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang pengertian dan manfaat dan kerugian dari daya reaktif , kapasitor bank dan cara perhitungannya.

2. Bagi mahasiswa dapat dijadikan sebagai referensi untuk mengetahui kajian mengenai masalah yang selalu dihadapi dalam penyaluran energi listrik diantaranya jatuh tegangan, faktor daya yang rendah dan rugi-rugi daya.
3. Mengetahui kondisi penggunaan energi dan jaringan listrik yang digunakan oleh Rumah Sakit Umum.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Untuk memberikan gambaran penulisan tugas akhir ini, diuraikan sebagai berikut :

#### **BAB I            PENDAHULUAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, batasan masalah, metode penulisan yang dipergunakan dan sistematika penulisan.

#### **BAB 2            TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini memuat tentang dasar teori yang digunakan dan menjadi ilmu penunjang bagi peneliti, berkenaan dengan masalah yang akan diteliti berkaitan dengan daya reaktif, dimana di dalamnya dibahas masalah jatuh tegangan, faktor daya yang rendah dan rugi-rugi daya pada jaringan.

#### **BAB 3            METODE PENELITIAN**

Pada bab ini akan membahas mengenai lokasi penelitian, alat-alat yang digunakan pada pelaksanaan penelitian, jadwal penelitian, dan jalannya penelitian.



#### BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai perhitungan besarnya nilai kapasitor dan perhitungan faktor daya sebelum dan sesudah penggunaan kapasitor bank.

#### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membuat tentang kesimpulan dari seluruh hasil penelitian dan saran dari penyusun skripsi ini.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1.Kajian Pustaka Relevan**

Beberapa penelitian mengenai penempatan kapasitor bank pada jaringan distribusi dengan kapasitas dan lokasi yang tepat dapat mengurangi rugi daya dan drop tegangan pada sistem tenaga listrik. Berkaitan dengan hal tersebut beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan yaitu :

1. Penelitian tentang perbaikan profil tegangan menggunakan kapasitor Shunt, dalam penelitian tersebut menyimpulkan bahwa pada pemasangan kapasitor bank dengan daya sebesar 2700 KVAR pada jarak 34022 Km dari sumber menyebabkan kenaikan tegangan  $\pm 15 \%$  pada bus yang memiliki tegangan paling rendah ( Bus 97A ) dari tegangan awal 17,946 KV menjadi 19,070 KV.(Utama,2008)
2. Penelitian tentang pengaruh pemasangan mini Kapasitor Bank terhadap kualitas Listrik serta perencanaan filter aktif menggunakan Kontroler PI sebagai pelindung kapasitor dari harmonisa di rumah tangga. Dimana dalam penelitian tersebut terjadi peningkatan power faktor ( dari 0,95 menjadi 0,99 lagging ) kebutuhan daya total menjadi turun dari 900 VA menjadi 850 VA turun 5,6 % dan THD arus jala - jala sebelum terpasang filter aktif adalah sebesar 23 % dan setelah terpasang filter aktif turun menjadi 0,76 %.(Hartawi, 2010)

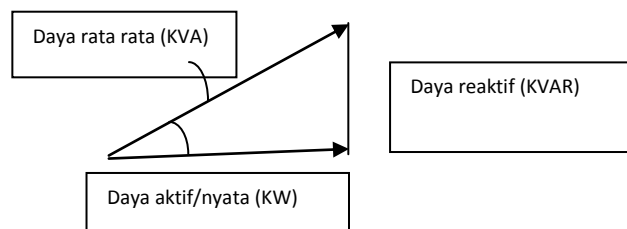
3. Penelitian tentang perbaikan faktor daya untuk penghematan biaya pemakaian energi listrik pada PT. Eastern Pearl Flour Mills Makasar. Dimana dalam penelitian tersebut untuk menaikkan faktor daya menjadi 0,970 maka daya reaktif induktif yang harus disuplai oleh kapasitor bank adalah sebesar 570,2 kVAR berdasarkan perhitungan metode kVAR. Dengan meniadakan biaya penggunaan energi kVARh perusahaan dapat menghemat biaya listrik sebesar Rp. 119.927.989,57-/bulan. (Tunggulungan, 2010)

## **2.2. Dasar Pertimbangan Perbaikan Faktor Daya.**

Perkembangan pemakaian energi listrik umumnya lebih cepat bila dibandingkan dengan kesiapan penyelenggara penyediaan energy listrik. Konsumsi energy listrik kian bertambah pada beban residential dan beban beban industri, dimana pada industri akan lebih banyak peralatan listrik yang menghasilkan beban-beban induktif, dimana beban-beban induktif tersebut umumnya dihasilkan dari motor motor listrik, transformator, alat pengelas, tungku pembakaran perapian/ pembakaran, lampu lampu tabung, dan berbagai jenis peralatan elektronik.

Beban beban induktif tersebut membutuhkan dua macam arus yaitu arus magnetisasi dan arus yang menghasilkan daya listrik. Arus magnetisasi ini diperlukan membangkitkan medan magnet pada peralatan-peralatan induktif. Arus yang diperoleh dari PLN dialirkan kemotor motor sinkron dimagnetisasi dengan arus AC dan jala-jala. Motor-motor induksi dan transformator dimagnetisasi dengan arus AC pada system daya yang menyebabkan adanya

komponen lagging dalam arus listrik. Energi akan di habiskan dalam membangkitkan medan magnetik. Sedangkan arus yang dihasilkan daya adalah arus yang terkonveksi tampak nyata menjadi daya atau kerja terpakai seperti putaran kipas, pompa air, dan pemanas listrik lainnya. Arus ini disebut juga sebagai arus aktif atau arus daya terpakai.



Gambar 2.1. Komponen daya dalam beban reaktif

Arus reaktif yang menyebabkan komponen lagging  $90^0$  akan menyebabkan pf menjadi rendah dalam system. Pada gambar diatas besarnya daya dapat dirumuskan :

$$kVA^2 = kW^2 + kVAR^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

Besarnya factor daya adalah :

$$Pf = kW /kVA = \cos \varphi \dots\dots\dots (2.2)$$

### 2.2.1 Daya

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt

atau *Horsepower*(HP), *Horsepower* merupakan satuan daya listrik dimana 1HP setara 746Watt atau lbft/second. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt, sehingga besarnya daya dinyatakan:

$$P = V \times I \times \cos\phi \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana : P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Daya nyata atau daya aktif adalah daya listrik yang digunakan secara nyata, misalnya untuk menghasilkan panas, cahaya atau putaran pada motor listrik. Daya nyata dihasilkan oleh beban- beban listrik yang bersifat resistif murni (*Reiger,1987*). Besarnya daya nyata sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban resistif dan dinyatakan dalam satuan Watt (*Sharma,2007*).

$$P = I^2 \cdot R \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana : P = Daya (Watt)

I = Arus (Ampere)

R = Tahanan (Ohm)

Daya reaktif dinyatakan dengan satuan VAR (*Volt Ampere Reaktif*) adalah daya listrik yang dihasilkan oleh beban-beban yang bersifat reaktansi. Terdapat dua jenis beban reaktansi, yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Beban- beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan magnet. Contoh beban listrik yang bersifat induktif antara lain transformator, motor induksi satu fasa maupun tiga fasa yang biasa digunakan

untuk menggerakkan kipas angin, pompa air, lift, eskalator, kompresor, konveyor dan lain-lain. Beban-beban yang bersifat kapasitif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan listrik. Contoh beban yang bersifat kapasitif adalah kapasitor (*Heinz Reiger, 1987*). Besarnya daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban reaktansi (*Sanjeev Sharma, 2007*).

$$Q = I^2 \cdot X \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$X = X_L - X_C \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

- Dimana :
- Q = Daya Reaktif ( VAR)
  - I = arus (Ampere)
  - X = reaktansi total (Ohm)
  - X<sub>L</sub> = Reaktansi Induktif (Ohm)
  - X<sub>C</sub> = reaktansi kapasitif (Ohm)

Daya kompleks atau lebih sering dikenal sebagai daya semu adalah penjumlahan secara vektor antara daya aktif dan daya reaktif, di mana:

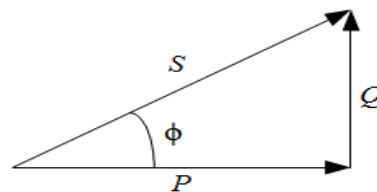
$$S = P + jQ \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Daya kompleks dinyatakan dengan satuan VA (VoltAmpere) adalah hasil kali antara besarnya tegangan dan arus listrik yang mengalir pada beban (*Sanjeev Sharma, 2007*), di mana:

$$S = V \cdot I \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

- Dimana :
- S = Daya Semu (Volt - Ampere)
  - V = Tegangan (Volt)
  - I = Arus (Ampere)

Hubungan ketiga buah daya listrik yaitu daya aktif  $P$ , daya reaktif  $Q$  serta daya kompleks  $S$ , dinyatakan dengan sebuah segitiga, yang disebut segitiga daya (*Theraja, 1984*) seperti : (Gambar 2.2)



Gambar 2.2. Vektor Segi Tiga Daya

Dari Gambar 2.2. diatas terlihat hubungan antara segi tiga daya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$P = S \cdot \cos \phi \dots\dots\dots(2.10)$$

$$P = V \cdot I \cos \phi \dots\dots\dots(2.11)$$

$$Q = S \cdot \sin \phi \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Q = V \cdot I \sin \phi \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\cos \phi = pf = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.14)$$

$\Phi$  adalah sudut antara daya aktif dan daya kompleks  $S$ , sehingga  $\cos \phi$  didefinisikan sebagai faktor daya (*power factor, pf*). Untuk beban yang bersifat induktif, *pf lagging* dimana arusnya tertinggal dari tegangannya. Dan untuk beban yang bersifat kapasitif, *pf leading* dimana arusnya mendahului tegangannya.

### 2.2.2 *Faktor Daya*

Istilah faktor daya atau *power factor* (PF) atau *cos phi* merupakan istilah yang sering sekali dipakai di bidang-bidang yang berkaitan dengan pembangkitan dan penyaluran energi listrik. Faktor daya merupakan istilah penting, tidak hanya bagi penyedia layanan listrik, namun juga bagi konsumen listrik terutama konsumen level industri. Perbaikan factor daya dapat dilakukan dengan cara melakukan pengaturan komponen reaktif-induktif yang ada pada saluran.

Pengaturan tersebut adalah dengan mengurangi komponen reaktif-induktif atau pun menginjeksikan komponen reaktif kapasitif dengan factor daya yang leading (mendahului) sehingga diharapkan dapat menetralsisir komponen leagging (tertinggal) dari beban reaktif induktif. Metode umum yang sering dipakai adalah :

- *Dengan menggunakan motor sinkron.*

Motor sinkron akan menjadi sumber daya reaktif apabila motor ini bekerja dengan penguatan berlebih, sehingga motor akan bekerja dengan factor daya yang mendahului, yang berarti bekerja seperti sebuah kapasitor karena mencatu daya reaktif-kapasitif kesaluran atau system. Pada motor sinkron terdapat sumber pembangkit fluks yaitu arus Ac dari jala-jala. Bila arus medan pada rotor cukup untuk membangkitkan fluks (ggm) yang diperlukan motor, maka stator tidak perlu memberikan arus pemagnetan atau daya reaktif sehingga motor bekerja pada factor daya = 1.

-*Dengan menggunakan kapasitor statis.*

Kapasitor dapat didefenisikan sebagai suatu komponen dimana enegi listrik yang berupa medan listrik disimpan. Kapasitor yang digunakan dalam



rangkaian system tenaga adalah kapasitor elektro statis dengan semacam kertas (kraf paper) sebagai bahan dielektrik utamanya. Biasanya kertas tersebut diperkuat dengan minyak atau zat organik lain untuk mempertinggi kapasitasnya.

Penentuan suatu kapasitor dalam rangkaian system tenaga listrik arus bolak balik akan menyebabkan arus yang melaluinya terdahulu (leading) terhadap tegangan dan arus ini disebut arus kapasitif. Oleh karena itu kapasitor digunakan untuk mengkompensir arus induktif yang banyak dibutuhkan dalam peralatan – peralatan system tenaga.

Penyedia layanan listrik selalu berusaha untuk menghimbau konsumennya agar berkontribusi supaya faktor daya menjadi lebih baik, pun para konsumen industri juga berusaha untuk mendapatkan faktor daya yang baik agar tidak sia-sia bayar mahal kepada penyedia layanan. Apakah sebenarnya yang dimaksud dengan faktor daya?.

Faktordaya( $\cos \phi$ ) dapat di definisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam  $\cos \phi$  .

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :  $\cos \phi$  = Faktor daya  
 $P$  = Daya aktif (kW)  
 $S$  = Daya nyata (kVA)

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

$$\tan \phi = \frac{Q}{P} \quad (\text{kVAR} / \text{kW}) \dots\dots\dots (2.16)$$

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

$$Q = P \times \tan\phi \dots\dots\dots (2.17)$$

Sebuah contoh, rating kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya sebagai berikut:

$$\text{Daya Reaktif pada } pf \text{ awal} = P \times \tan \phi_1$$

$$\text{Daya Reaktif pada } pf \text{ diperbaiki} = P \times \tan\phi_2$$

Sehingga rating kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah:

$$Q = P \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \dots\dots\dots (2.18)$$

Beberapa keuntungan meningkatkan faktordaya:

1. Tagihan listrik akan menjadi kecil (PLN akan memberikan denda jika *pf* lebih kecil dari 0,85)
2. Kapasitas distribusi system tenaga listrik akan meningkat
3. Mengurangi rugi-rugi daya pada sistem
4. Adanya peningkatan tegangan karena daya meningkat.

Jika *pf* lebih kecil dari 0,85 maka kapasitas daya aktif (kW) yang digunakan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan menurunnya *pf* sistem kelistrikan. Akibat menurunnya *pf* maka akan timbul beberapa persoalan diantaranya:

1. Membesarnya penggunaan daya listrik kWh karena rugi-rugi
2. Membesarnya penggunaan daya listrik kVAR
3. Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan (*voltagedrops*)

Denda atau biaya kelebihan daya reaktif dikenakan apabila jumlah pemakaian kVARH yang tercatat dalam sebulan lebih tinggi dari 0,62 jumlah kWh pada bulan yang bersangkutan sehingga  $pf$  rata-rata kurang dari 0,85. Sedangkan perhitungan kelebihan pemakaian kVARH dalam rupiah menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kelebihan pemakaian kVARH} = [B - 0,62 (A_1 + A_2)] H_k \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana:

B = Pemakaian kVARH

$A_1$  = Pemakaian kWh WPB  $A_2$  = Pemakaian kWh LWBP

$H_k$  = Harga kelebihan pemakaian kVARH



Gambar 2.3. Hubungan daya aktif, reaktif dan kapasitansi

Seperti terlihat pada gambar 2.3, daya reaktif yang dibutuhkan oleh induktansi selalu mempunyai beda fasa  $90^\circ$  dengan daya aktif. Kapasitor menyuplai kVAR dan melepaskan energi reaktif yang dibutuhkan oleh induktor. Ini menunjukkan induktansi dan kapasitansi mempunyai beda fasa  $180^\circ$ .

a. Penyebab rendahnya faktor daya

Pada umumnya faktor daya rendah disebabkan oleh :

1. Banyak pemakai arus bolak-balik (AC) menggunakan motor induksi sebagai penggerak utama yang bekerja pada faktor daya lagging dan ini akan menambah laggingnya faktor daya.
2. Transformator-transformator yang mempunyai faktor daya yang sangat rendah karena menghasilkan arus magnetisasi yang menyebabkan arus totalnya menjadi tertinggal terhadap tegangan.
3. Penggunaan penyearah sebagai ganti pasangan motor generator untuk mencatu daya arus searah (DC).
4. Pemakaian lampu tabung (neon) yang beroperasi pada daya rendah.
5. Alat-alat las busur listrik yang mempunyai factor daya rendah.

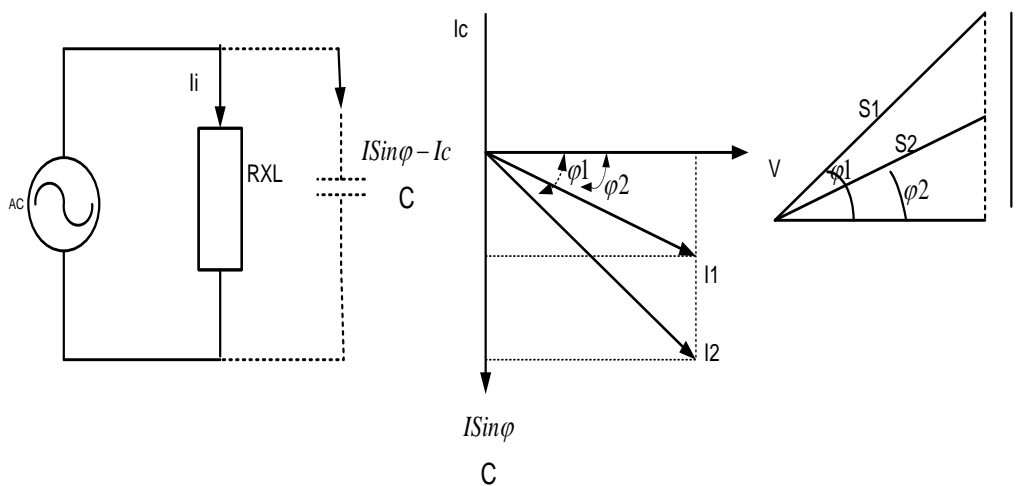
b. Kerugian akibat faktor daya rendah

Faktor daya yang rendah akan menimbulkan kerugian antara lain :

1. Pada faktor daya yang rendah, arus yang mengalir relatif besar yang mengakibatkan rugi-rugi tegangan dan rugi-rugi daya/panas yang besar.
2. Arus yang relative besar akan menyebabkan kenaikan temperature konduktor, hal ini akan menyebabkan umur peralatan menjadi berkurang.
3. Harus menggunakan kabel-kabel suplai dan aparatur yang lebih berat.

Besar kecilnya daya erat hubungannya dengan kebutuhan beban terhadap daya reaktif. Daya reaktif yang dibutuhkan beban adalah bersifat induktif, dimana fasa arus tertinggal terhadap fasa tegangan sumber. Semakin rendah faktor daya berarti kebutuhan akan daya reaktif induktif beban akan semakin besar jika sudut fasa antara arus semakin kecil.

Cara untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan mengurangi daya reaktif induktif. Untuk mengurangi komponen daya reaktif ini dapat dilakukan dengan cara pemasangan daya reaktif kapasitif. Besarnya daya reaktif kapasitif tergantung dari besarnya perbaikan faktor daya yang diinginkan. Faktor daya dari setiap sistem dapat diperbaiki dengan menggunakan kapasitor yang dihubungkan parallel dengan beban yang umumnya bersifat induktif seperti motor induksi, alat las dan sebagainya. Dengan faktor daya maksimum, rugi-rugi daya karena resistansi saluran akan berkurang. Untuk memberikan daya yang sama besar diperlukan arus yang lebih besar bila faktor daya maksimum lebih rendah daripada faktor daya beban yang mempunyai faktor daya lebih tinggi. Perbaikan faktor daya tersebut dikenal sebagai kompensasi fasa. Prinsip perbaikan faktor daya dapat dijelaskan pada gambar berikut :



Gambar 2.4 Rangkaian Dan Diagram Faktor

Keterangan gambar :

$\phi_1$  dan  $\phi_2$  = sudut faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya.

$I_1$  dan  $I_2$  = Arus beban sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya.

$S_1$  dan  $S_2$  = Daya semu beban sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya.

$P$  = Daya aktif beban

$Q_c$  = Daya reaktif kapasitor

Diasumsikan daya aktif sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya tetap.

a. Daya reaktif beban sebelum perbaikan faktor daya ( $Q_1$ )

$$Q_1 = P \tan \varphi_1 \dots\dots\dots(2.20)$$

b. Daya reaktif beban sesudah perbaikan faktor daya ( $Q_2$ )

$$Q_2 = P \tan \varphi_2 \dots\dots\dots(2.21)$$

Besar daya reaktif yang dikompensasikan atau diberikan kapasitor adalah

$$:Q_c = Q_1 - Q_2 \dots\dots\dots(2.22)$$

$$Q_c = P (\tan \varphi_1 \text{ dan } \tan \varphi_2) \dots\dots\dots(2.23)$$

Besar kapasitansi kapasitor adalah :

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$Q_c = V^2 \cdot 2\pi f C \dots\dots\dots(2.25)$$

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f V^2} \dots\dots\dots(2.26)$$

Keuntungan dari perbaikan faktor daya adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi drop tegangan disisi beban.
2. Mengurangi komponen-komponen induktif arus jala-jala.
3. Dapat menghindari trafo kelebihan beban (*overload*), sehingga memberikan tambahan daya yang tersedia.

4. Dapat menghindari kenaikan arus/ suhu pada kabel, sehingga mengurangi rugi-rugi daya dalam sistem.
5. Memperbaiki pengaturan (*regulasi*) tegangan.
6. Meningkatkan kapasitor dalam alternator.
7. Kapasitas Kw dari penggerak mula (*prime motor*) menjadi lebih baik.
8. Efisiensi dari setiap sistem meningkat.
9. Biaya keseluruhan menjadi lebih murah.

Beberapa strategi untuk koreksi faktor daya adalah:

1. Meminimalkan operasi dari beban motor yang ringan atau tidak bekerja
2. Menghindari operasi dari peralatan listrik di atas tegangan rata – ratanya
3. Mengganti motor – motor yang sudah tua dengan energi efisien motor. Meskipun dengan energi efisien motor, bagaimanapun factor daya dipengaruhi oleh beban yang variasi. Motor ini harus dioperasikan sesuai dengan kapasitas rata– ratanya untuk memperoleh faktor daya tinggi.
4. Memasang kapasitor pada jaringan AC untuk menurunkan medan dari daya reaktif.

Selain itu, pemasangan kapasitor dapat menghindari:

1. Trafo kelebihan beban (*overload*), sehingga memberikan tambahan daya yang tersedia
2. *Voltage drop* pada line ends
3. Kenaikan arus/suhu pada kabel, sehingga mengurangi rugi– rugi.

Untuk pemasangan *Capasitor Bank* diperlukan :

1. Kapasitor, dengan jenis yang cocok dengan kondisi jaringan
2. Regulator, dengan pengaturan daya tumpuk kapasitor (*Capasitor Bank*).
3. Kontaktor, untuk *switching* kapasitor
4. Pemutus tenaga, untuk proteksi tumpuk kapasitor.

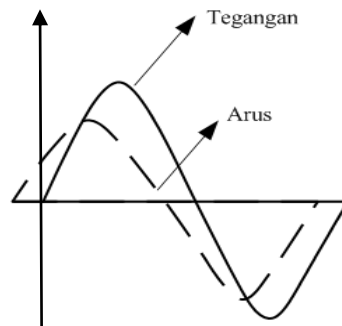
Energi listrik digunakan berbanding lurus dengan biaya produksi yang dikeluarkan. Semakin besar energi listrik yang digunakan maka semakin besar biaya produksi yang dibutuhkan. Dengan menggunakan *power monitoring system* dapat diketahui pemakaian energi listrik dan kondisi energi listrik dari peralatan listrik sehingga meningkatkan efisiensi dari energi listrik yang digunakan dalam pekerjaan dan meminimalkan rugi – rugi pada sistem untuk penyaluran energi listrik yang lebih efisien dari sumber listrik ke beban.

Faktor daya terdiri dari dua sifat yaitu faktor daya “ *leading*” dan faktor daya “*lagging*”. Faktor daya ini memiliki karakteristik seperti berikut:

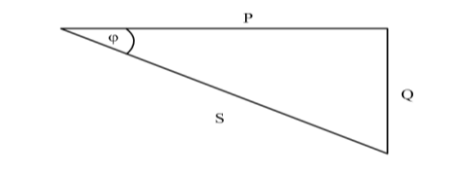
### **1. Faktor Daya “*leading*”**

Apabila arus mendahului tegangan, maka faktor daya ini dikatakan “*leading*”. Faktor daya *leading* ini terjadi apabila bebannya kapasitif, seperti *capacitor*, *synchronocus generators*, *synchronocus motors* dan *synchronocus condensor*.





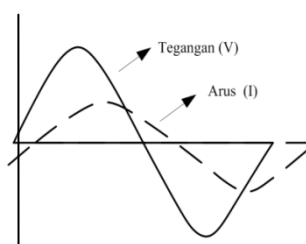
Gambar 2.5. Faktordaya “leading”



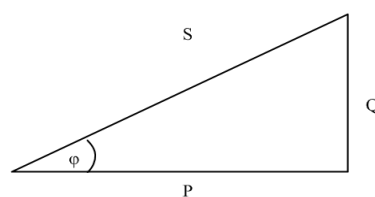
Gambar 2.6. Segi Tiga Daya untuk beban kapasitif

## 2. Faktor Daya “lagging”

Apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan “lagging”. Faktor daya *lagging* ini terjadi apa bila bebannya induktif, seperti *motor induksi, AC dan transformator*.



Gambar 2.7. FaktorDaya “lagging”



Gambar 2.8. Segi Tiga Daya dengan beban induktif

**2.3. Beban Listrik**

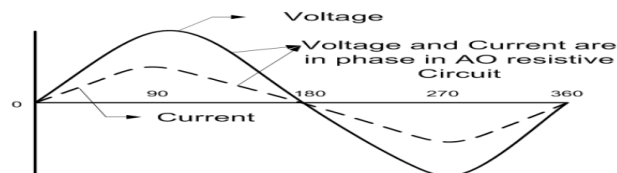
Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol.

Reaktansi induktif ( $X_L$ ) akan menjadi nol yang berarti bahwa inductor tersebut akan *short circuit*. Reaktansi kapasitif ( $X_C$ ) akan menjadi tak berhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan *opencircuit*. Jadi sumber DC akan mengakibatkan – beban beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian. Bila sumber listrik AC maka beban dibedakan menjadi 3 yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif sebagai berikut:

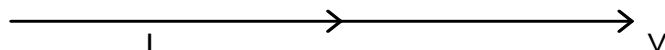
**2.3.1. Beban Resistif**

Beban resistif yang merupakan suatu resistormurni, contoh: lampu pijar, pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus se-fasa. Secara matematis dinyatakan:

$$R = V/I \dots\dots\dots(2.27)$$



Gambar 2.9. Rangkaian resistif gelombang AC



Gambar 2.10. Vektor arus dan tegangan pada beban resistif

**2.3.2. Beban Induktif**

Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi, contoh: motor–moto listrik, induktor dan transformator. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat lagging. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0–1 “*lagging*”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar  $\phi^\circ$ . Secara matematis dinyatakan :

$$P = V.I \cos \phi \dots\dots\dots(2.28)$$

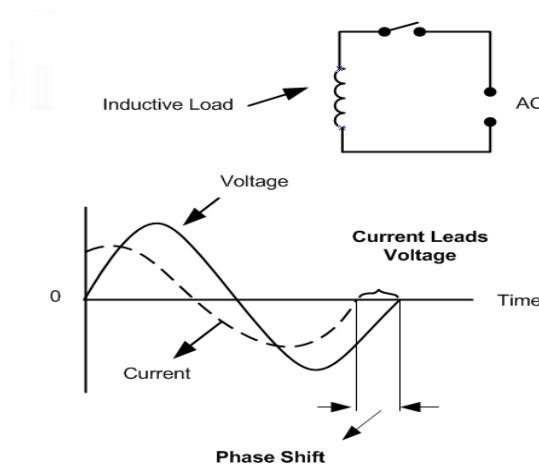
Dimana :

P = Daya aktif yang diserap beban (watt)

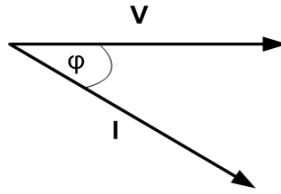
V = Tegangan yang mencatu beban (volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (A)

$\phi$  = Sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2.11. Rangkaian Induktif Gelombang AC



Gambar 2.12. Vektor Arus dan Tegangan Pada Beban Induktif

Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif ( $X_L$ ), dapat digunakan rumus :

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots(2.29)$$

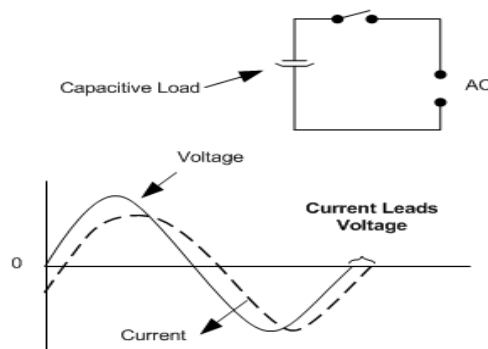
Dimana :  $X_L$  = reaktansi induktif

$f$  = frekuensi (Hz)

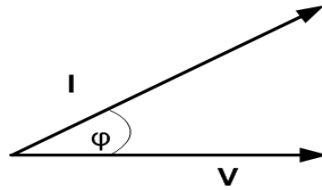
$L$  = induktansi (Henry)

### 2.3.3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif (C) yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus *leading* terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif.



Gambar 2.13. Rangkaian Kapasitif Gelombang AC



Gambar 2.14. Vektor Arus dan Tegangan Pada Beban Kapasitif

Untuk menghitung besarnya reaktansi kapasitif ( $X_C$ ), dapat digunakan rumus :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana :

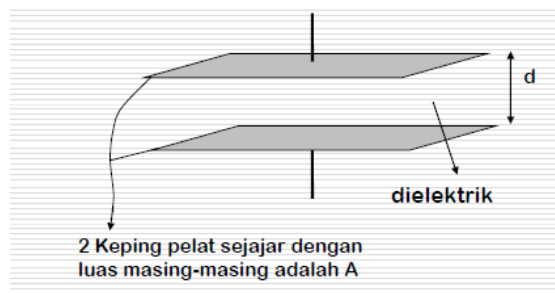
$X_c$  = reaktansi kapasitif

$f$  = frekuensi

$C$  = kapasitansi (Farad)

#### 2.4. Kapasitor Bank

Kapasitor merupakan komponen yang hanya dapat menyimpan dan memberikan energi yang terbatas sesuai dengan kapasitasnya. Pada dasarnya kapasitor tersusun oleh dua keping sejajar yang disebut *electrodes* yang dipisahkan oleh suatu ruangan yang disebut *dielectric* yang pada saat diberi tegangan akan menyimpan energi.



Gambar 2.15. konstruksi Kapasitor

Dalam sistem tenaga listrik kapasitor sering digunakan untuk memperbaiki tegangan jaringan dan untuk menyuplai daya reaktif ke beban yang berfungsi untuk memperbaiki nilai faktor daya dari sistem. Dalam perbaikan faktor daya kapasitor-kapasitor dirangkai dalam suatu panel yang disebut *capacitor bank*. Selain itu kapasitor bank dapat juga digunakan untuk aplikasi lain yaitu filter harmonisa, proteksi terhadap petir, untuk *transformer testing*, *generator impuls*, *voltage divider kapasitor*.

#### 2.4.1 Prinsip Kerja Kapasitor

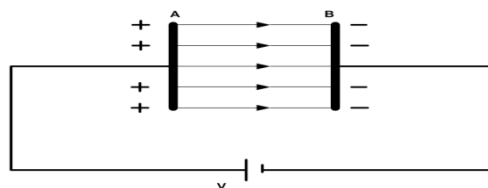
Bila dua buah benda bermuatan dan berlainan tanda yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik maka akan terdapat kapasitansi diantara kedua benda tersebut. Pemberian beda potensial diantara benda konduktor tersebut akan menghasilkan muatan positif pada suatu konduktor dan muatan negatif pada konduktor lainnya. Perbandingan harga listrik dengan harga mutlak beda potensial didefenisikan sebagai suatu kapasitansi.

$$C = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana : C = Kapasitansi ( Farad )

Q = Muatan Listrik ( Coloumb)

V = Beda Potensial ( Volt )



Gambar 2.16. Prinsip kerja sebuah kapasitor

Bila plat A dan B diberi beda potensial  $V$  maka akan mengalir arus melalui bahan dielektrik pada waktu yang relatif singkat. Bahan dielektrik secara perlahan-lahan akan terpolarisasi. Setelah muatan negatif mengalir dari plat A akan bermuatan positif dan elektron-elektron akan terkumpul pada plat B, Sehingga terjadi beda potensial diantara kedua plat yang lama kelamaan arus mengalir semakin kecil dan akhirnya beda potensial antara plat A dan B sama besarnya dengan  $V$  dan arus pun berhenti mengalir.

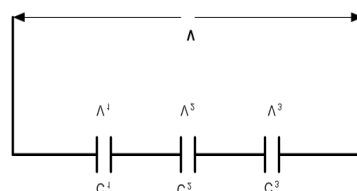
## 2.4.2 Jenis – Jenis Kapasitor

Kapasitor Bank berdasarkan cara pemasangannya terdiri dari:

### 2.4.2.1 Kapasitor Seri

Kapasitor seri adalah kapasitor yang dipasang secara seri dengan jaringan listrik yang seperti halnya pada kondensator dan kapasitansi sunt. Kapasitansi seri juga merupakan sumber daya reaktif untuk memperbaiki factor daya, dengan timbulnya komponen tenaga pada kapasitor. Selain itu juga merupakan reaktif negative yang dapat menetralkan reaktansi induktif dari jaringan.

Kapasitor yang dipasangkan secara seri dengan saluran mempunyai efek yang utama untuk mengurangi susut tegangan yang disebabkan oleh reaktansi induktif



Gambar 2 .17. rangkaian kapasitor hubungan seri

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \dots\dots\dots(2.32)$$

Suatu kapasitor seri dapat diasumsikan sebagai suatu reaktansi kapasitif negatif yang terhubung seri dengan jala-jala. Dengan memasang kapasitor seri pada jaringan maka tegangan akan naik. Kenaikan tegangan pada kapasitor adalah sebagai fungsi dari arus. Perubahan tegangan tersebut adalah secara otomatis dan sesaat dengan perubahan arus. Dengan demikian kapasitor seri dapat juga dianggap sebagai suatu pengtur tegangan (*voltage regulator*), akan tetapi berbeda dengan induction regulator. Perbedaannya ialah pada kapasitor seri tak dapat mengkompensasi perubahan tegangan yang terjadi pada sumber dan hanya dapat mengkompensasi perubahan tegangan yang diakibatkan oleh perubahan beban. Kapasitor seri juga dapat memperbaiki faktor daya sebagai mana kapasitor shunt, akan tetapi pemakaiannya masih sangat terbatas.

Untuk menentukan kapasitas dari kapasitor seri (arus ataupun daya) pada suatu feeder tergantung pada faktor daya beban, besarnya tahanan dan reaktansi dari feeder juga kapasitas rangkaian (*circuit rating*). Kapasitas arus kapasitor harus mampu mengalirkan arus sebesar kapasitas arus jaringan, karena kapasitor terhubung seri pada jaringan. Kapasitas daya kapasitor seri adalah :

$$I^2 \cdot X_C \text{ Untuk satu phasa}$$

$$3 \cdot I^2 X_C \text{ Untuk 3 phasa}$$



Tegangan pada kapasitor seri adalah fungsi dari arus dan reaktansi kapasitif yaitu:

$$E_c = I \cdot X_C \dots\dots\dots(2.33)$$

Dimana :

$E_c$  = Tegangan pada kapasitor seri

$X_C$  = Reaktansi Kapasitor ( Ohm )

$I$  = Arus jaringan ( Ampere )

Akan tetapi pengaruh kapasitor seri pada tegangan jaringan tergantung pada sudut phasa dari arus beban.

$$e_c = I \cdot X_C \cdot \sin \phi \dots\dots\dots(2.34)$$

Dimana :

$e_c$  = kenaikan tegangan yang disebabkan oleh kapasitor seri.

Secara umum jatuh tegangan adalah:

$$e = I \cdot R \cdot \cos \phi \pm IX \sin \phi \dots \dots\dots (2.35)$$

Tanda positif untuk faktor daya terbelakang dan tanda negatif untuk faktor daya mendahului. Dengan adanya kapasitor seri pada beban Lagging (terbelakang) maka jatuh tegangan menjadi :

$$e = I.R \cos \phi + ( X_L - X_C ) \sin \phi \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana :  $e$  = Jatuh tegangan pada jaringan ( Volt )

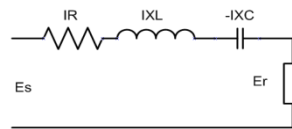
$I$  = Arus total ( ampere )

$\phi$  = Sudut phasa antara arus dan tegangan ( Derajat Listrik )

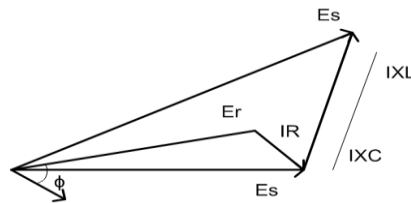
$X_C =$  Reaktansi kapasitif ( Ohm )

$X_L =$  Reaktansi Induktif ( Ohm )

Pada persamaan diatasterlihat bahwa jatuh tegangan reaktif (  $I.X$  ) semakin kecil akibat pemasangan kapasitor. Gambar (2.17)menjelaskan pengaruh dari pemasangan kapasitor seri. Tegangan ujung penerima sebagai referensi.



Gambar 2.18. (a) Rangkaian sederhana kapasitor seri.



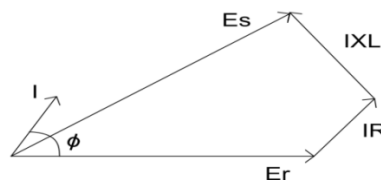
Gambar 2.18. (b) Diagram vektor dari rangkaian diatas

Dari diagram vektor dapat dilihat bahwa tanpa menggunakan kapasitor perbedaan  $E_s$  dan  $E_r$  besar, sehingga regulasi tegangan besar. Akan tetapi setelah pemasangan kapasitor dengan besar reaktansi kapasitif  $X_C = X_L$  (reaktansi induktif dinetralsisir oleh reaktansi kapasitif, perbedaan  $E_s'$  dan  $E_r$  semakin kecil sehingga regulasi tegangan semakin baik. Bila rangkaian dikompensasi secara berlebihan (*Over compensated*) maka regulasi tegangan dapat dicapai hingga nol. Oleh karena kapasitor seri memiliki response yang sesaat dan otomatis, maka sangat sesuai digunakan untuk mengkompensasi fluktuasi tegangan yang disebabkan oleh beban yang berfluktuasi besar. Kapasitor seri sangat efektif digunakan pada jaringan bila :

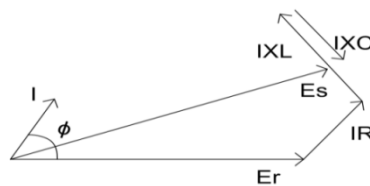
1. Reaktansi induktif jaringan lebih besar dari pada resistansinya

2. Faktor daya beban selalu berubah–ubah dengan batas yang besar.

Umumnya dalam praktek, kompensasi dilakukan dengan reaktansi kapasitif yang hampir menetralkan keseluruhan reaktansi induktif sehingga yang tertinggal sebahagian besar komponen resistansi yang harganya relatif kecil. Agar kapasitor seri dapat mengurangi jatuh tegangan dengan baik maka faktor daya beban harus terbelakang. Bila faktor daya beban mendahului, maka tegangan pada sisi penerima akan menurun akibat pemasangan kapasitor seri. (seperti gambar 2.19 dan gambar 2.20)



Gambar 2.19. Diagram vektor sebelum pemasangan kapasitor seri



Gambar 2.20. Diagram vektor setelah pemasangan kapasitor seri

#### 2.4.2.2 Kapasitor Shunt (Paralel)

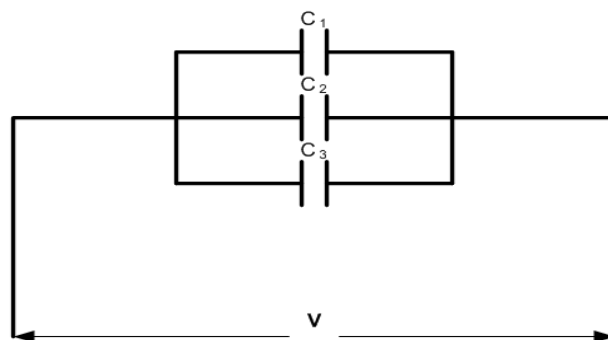
Yang dimaksud dengan kapasitor shunt adalah suatu kapasitor yang terhubung paralel dengan jala – jala listrik. Fungsi dari kapasitor shunt ini adalah untuk memberikan daya reaktif yang diperlukan oleh beban – beban induktif

seperti motor induksi dan lain – lain. Dengan pemberian daya reaktif oleh kapasitor shunt maka faktor daya dari beban induktif tersebut akan meningkat. Umumnya beban listrik itu bersifat induktif, sehingga arus yang ditariknya terbelakang terhadap tegangan, maka faktor dayanya akan mengecil.

Pengaruh buruk dari faktor daya yang rendah adalah :

- a. Meningkatnya rugi–rugi listrik
- b. Menurunnya tegangan kerja
- c. Kapasitas pembebanan meningkat walaupun beban tetap konstan

Jika pada suatu rangkaian, arus reaktifnya diperkecil maka dengan kata lain arus total juga ikut mengecil. Dengan memperkecil arus reaktif maka faktor daya akan meningkat. Untuk memperbaiki faktor daya dengan memberikan kebutuhan daya reaktif beban maka diperlukan kapasitor, karena kapasitor dapat di asumsikan sebagai suatu pembangkit daya reaktif.



Gambar 2.21. hubungan kapasitor Shunt ( paralel )

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$CV = C_1V + C_2V + C_3V$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \dots\dots\dots(2.37)$$

Untuk mengetahui besarnya reaktansi kapasitif kapasitor Shunt adalah:

$$C = \frac{E^2}{X_C \cdot 1000} \dots\dots\dots(2.38)$$

Juga :

$$C = \frac{E^2 2 \pi f_c \cdot 10^{-6}}{1000} \dots\dots\dots(2.39)$$

Dimana : E = Tegangan Rms ( KV)

X<sub>C</sub> = Reaktansi Kapasitif (Ohm )

F = Frekuensi ( Hz )

C = Kapasitansi ( uF)

Dalam prakteknya tegangan kerja tidak benar-benar tepat dengan tegangan ratingnya walaupun masih dalam batas-batas yang diperbolehkan, sehingga daya reaktif sebenarnya yang dikeluarkan oleh kapasitor adalah :

$$C \text{ sebenarnya} = C \text{ rating} \left\{ \frac{\text{TeganganOperasi}}{\text{TeganganRating}} \right\}^2 \dots\dots\dots(2.40)$$

Output kilovar kapasitor juga berbanding langsung dengan frekuensi tegangan yang diberikan, sehingga :

$$C \text{ sebenarnya} = C \text{ rating} \left[ \frac{\text{frekuensiOperasi}}{\text{frekuensiRating}} \right] \dots\dots\dots(2.41)$$

### 2.4.3 Metode Kompensasi Daya

Metode perbaikan faktor daya dengan kapasitor bank disebut juga metode kompensasi yaitu menambah daya reaktif ke jaringan. Ada dua metode kompensasi yang digunakan yaitu metode kompensasi tetap dan metode kompensasi otomatis.

#### **2.4.3.1 Kompensasi Tetap**

Kompensasi jenis ini biasanya digunakan pada beban yang relatif konstan. Kapasitor dipasangkan langsung pada pangkal motor atau transformator yang selalu bekerja tanpa memerlukan panel.

Untuk kontrol pada pemasangan kapasitor seperti ini dapat menggunakan :

- Sistem manual : dengan pemutus daya atau *load break switch*.
- Sistem semi-otomatis : dengan kontaktor
- Koneksi langsung pada pangkal beban

Keadaan lain penggunaan kompensasi tetap ini adalah jika perbandingan daya reaktif yang diperlukan ( $Q_c$ ) dengan daya trafo ( $S_n$ ) lebih kecil dari 15%.

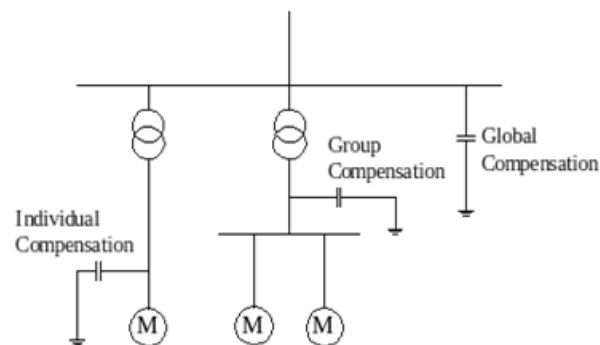
#### **2.4.3.2 Kompensasi Otomatis**

Jika perbandingan daya reaktif yang diperlukan ( $Q_c$ ) dengan daya trafo ( $S_n$ ) melebihi 15%, sebaiknya dipasang kompensasi otomatis. Juga jika perubahan beban agak besar, padahal faktor daya diinginkan selalu berada pada nilai tertentu, hal ini dapat dilakukan dengan pemasangan regulator.

#### **2.4.4 Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank**

Metode pemasangan kapasitor tergantung dari fungsi yang diinginkan. Cara pemasangan instalasi kapasitor dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

1. *Global compensation*
2. *Group compensation*
3. *Individual compensation*



Gambar 2.22. Metode pemasangan instalasi kapasitor bank

### 1. *Global Compensation*

Dengan metode ini kapasitor dipasang di induk panel (MDP). Arus yang turun dari pemasangan model ini hanya di penghantar antara panel MDP dan transformator. Sedangkan arus yang lewat setelah MDP tidak turun dengan demikian rugi akibat disipasi panas pada penghantar setelah MDP tidak terpengaruh. Terlebih instalasi tenaga dengan penghantar yang cukup panjang *Delta Voltagenya* masih cukup besar.

Kelebihan :

- Pemanfaatan kompensasi daya reaktifnya lebih baik karena semua motor tidak bekerja pada waktu yang sama.
- Biaya pemeliharaan rendah.

Kekurangan :

- Switching peralatan pengaman bisa menimbulkan ledakan.
- Transient yang disebabkan oleh energizing grup kapasitor jumlah besar.
- Hanya memberikan kompensasi pada sisi atasnya (*upstream*).
- Kebutuhan ruang.

## 2. *Group Compensation*

Dengan metoda ini kapasitor yang terdiri dari beberapa panel kapasitor dipasang dipanel SDP. Cara ini cocok diterapkan pada industri dengan kapasitas beban terpasang besar sampai ribuan KVA dan terlebih jarak antara panel MDP dan SDP cukup berjauhan.

Kelebihan :

- Biaya pemasangan rendah.
- Kapasitansi pemasangan bisa dimanfaatkan sepenuhnya.
- Biaya pemeliharaan rendah.

Kekurangan :

- Perlu dipasang kapasitor bank pada setiap SDP atau MV/LV bus.
- Hanya memberikan kompensasi pada sisi atas.
- Kebutuhan ruangan

## 3. *Individual Compensation*

Dengan metoda ini kapasitor langsung dipasang pada masing masing beban khususnya yang mempunyai daya yang besar. Cara ini sebenarnya lebih efektif dan lebih baik dari segi teknisnya. Namun ada kekurangannya yaitu harus



menyediakan ruang atau tempat khusus untuk meletakkan kapasitor tersebut sehingga mengurangi nilai estetika.

Kelebihan :

- Meningkatkan kapasitas saluran suplai.
- Memperbaiki tegangan secara langsung.
- Kapasitor dan beban ON/OFF secara bersamaan.
- Pemeliharaan dan pemasangan unit kapasitor mudah.

Kekurangan :

- Biaya pemasangan tinggi.
- Membutuhkan perhitungan yang banyak
- Kapasitas terpasang tidak dimanfaatkan sepenuhnya
- Terjadi fenomena transient yang besar akibat sering dilakukan switching ON/OFF.
- Waktu kapasitor OFF lebih banyak dibanding waktu kapasitor ON

## **2.5.Perhitungan Daya Reaktif**

Terdapat beberapa cara untuk melakukan koreksi / perhitungan daya reaktif, cara - cara yang biasa digunakan adalah dengan metode perhitungan biasa, metode tabel kompensasi, metode diagram, metode kuitansi PLN, & metode Segi tiga daya.

### **2.5.1. Perhitungan Biasa**

Data yang diperlukan antara lain adalah daya aktif (kW). *Power factor* lama ( $\text{Cos } \theta_1$ ) dan *Power factor* baru ( $\text{Cos } \theta_2$ ). Daya yang diperoleh dari persamaan :

$$S = P / \text{Cos } \theta_1 \dots\dots\dots(2.42)$$

Dimana :  $S = \text{Daya nyata (kVA)}$

$P = \text{Daya aktif (kW)}$

Daya reaktif dari *pf* lama dan *pf* baru diperoleh dari persamaan :

$$Q_L = P \text{ Tan } \theta_1 \dots\dots\dots (2.43)$$

$$Q_B = P \text{ Tan } \theta_2 \dots\dots\dots(2.44)$$

Dimana :

$Q_L = \text{Daya reaktif } pf \text{ lama (kVAR)}$

$Q_B = \text{Daya reaktif } pf \text{ baru (kVAR)}$

Daya reaktif yang dikompensasi oleh *capacitor bank* adalah :

$$Q_C = Q_L - Q_B \dots\dots\dots (2.45)$$

Dimana :  $Q_C = \text{Daya yang dikompensasi kapasitor (kVAR)}$

$Q_L = \text{Daya reaktif } pf \text{ lama (kVAR)}$

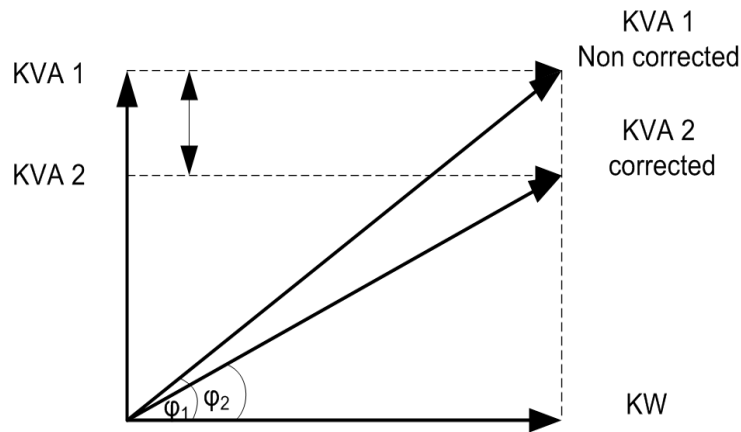
$Q_B = \text{Daya reaktif } pf \text{ baru (kVAR)}$

### 2.5.2. Metode Tabel Kompensasi

Untuk menghitung besarnya daya reaktif dapat dilakukan melalui tabel kompensasi, tabel ini menyajikan suatu data dengan input faktor daya mula-mula sebesar  $\text{Cos } \theta_1$  dan faktor daya yang diinginkan  $\text{Cos } \theta_2$  maka besarnya faktor pengali dapat dilihat melalui tabel kompensasi.

### 2.5.3. Metode Diagram

Dalam menentukan besarnya kapasitor yang dibutuhkan diperlukan diagram sebelum kompensasi dan sesudah kompensasi. (seperti gambar 2.23)



Gambar 2.23. Diagram daya untuk menentukan daya kapasitor

Sebelum ada perbaikan power faktor, dengan  $\theta_1$  dan setelah dilakukan perbaikan sesuai yang diinginkan ditunjukkan dengan  $\theta_2$ . Maka besar daya kapasitor yang diperlukan adalah :

$$Q_C = kW [ \tan \theta_1 - \tan \theta_2 ] \dots\dots\dots (2.46)$$

**2.5.4 Metode Kwitansi PLN**

Metoda ini memerlukan data dari kwitansi PLN selama satu periode (misalnya 1 tahun). Kemudian data penghitungan diambil dari pembayaran denda kVARH yang tertinggi. Data lain yang diperlukan adalah jumlah pemakaian.

$$Q_C = \frac{kVarh_{tertinggi}}{waktu_{pemakaian}} (kVAR) \dots\dots\dots (2.47)$$

$$P = \frac{kWh_{\text{tertinggi}}}{waktu_{\text{pemakaian}}} (kW) \dots\dots\dots(2.48)$$

### 2.5.5 Metode Segitiga Daya

Metoda ini dipakai jika data yang diketahui adalah Daya aktif (P) dan Daya nyata (S).Perhitungan metoda ini dilakukan dengan segitiga daya.

## **BAB 3**

### **METEODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1.LokasiPenelitian**

Adapun lokasi penelitian dilaksanakan di Rumah Sakit Umum Labuhanbatu Rantau Parapat, Sumatera Utara

#### **3.2.PeralatanPenelitian**

Adapun peralatan penelitian yang digunakan oleh penulis dalam melaksanakan penelitian di Rumah Sakit Umum Rantau Parapat ini adalah sebagai berikut :

a. Laptop

Peralatan utama untuk melaksanakan penelitian ini adalah seperangkat laptop AcerIntel @ core i3-4005U (1.7 GHz, 3MB L3 Cache, intel HD graphics 4400, up to 256 MB dynamic video memory, 2GB DDR3L memory, 500 GB HDD,Alat ini digunakan untuk mengerjakan laporan Tugas Akhir, seperti mengetik, melakukan pengolahan dan penyimpanan data, sharcing internet dirumah maupun dikampus.

b. Flasdisk

Merk : V-GeN I

Memory : 16 GB

Digunakan untuk menyimpan , memindahkan file/data untuk keperluan penulisan laporan Tugas Akhir.

### **3.3. Data Penelitian**

Adapun data yang diperoleh dari hasil pelaksanaan penelitian ini adalah data beban dari keseluruhan gedung rumah sakit, secara garis besar energi listrik yang digunakan disupply oleh PLN, untuk kebutuhan beban seperti :

#### **3.3.1. Beban Penerangan**

- a. Lampu TL untuk ruangan ruangan yang memerlukan fluks cahaya yang besar, seperti ruang operasi, ruang bangsal dan lain, lain.
- b. Lampu XL untuk ruangan ruangan kamar inap.
- c. Lampu Pijar untuk ruangan khusus.
- d. Lampu Merkuri untuk ruang operasi dan lampu jalan

#### **3.3.2. Beban Motor**

- a. Air Conditioner (AC)
- b. Kipas Angin
- c. Pompa Air

#### **3.3.3. Beban Elektronika**

- a. Komputer lengkap dengan printer dan mesin foto copy nya
- b. Proyektor
- c. Televisi
- d. Dispenser
- e. Mesin cuci
- f. Mesin ronzen

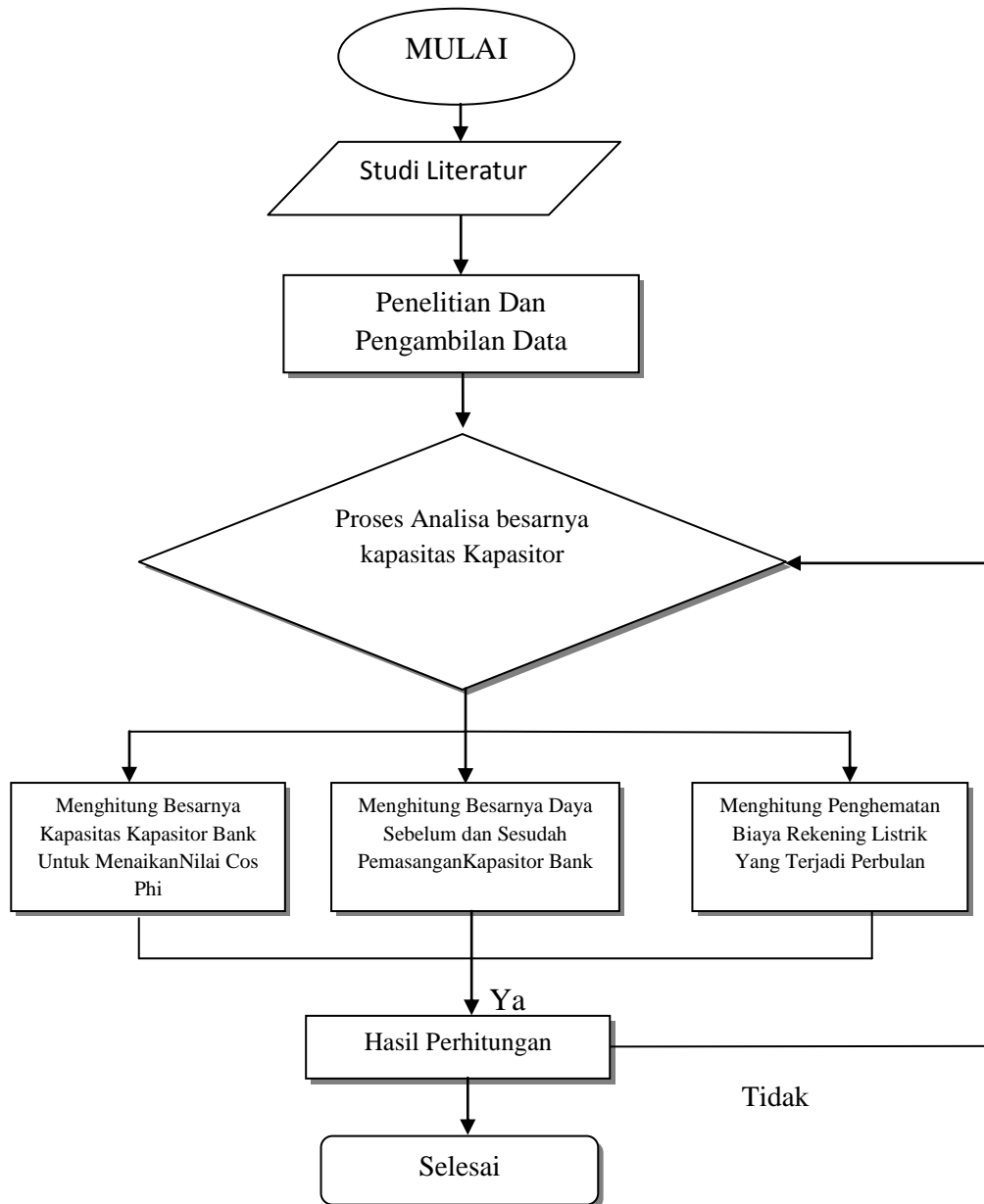
### 3.4. Proses Jalannya Penelitian

Sebelum melakukan penelitian terlebih dahulu penulis merumuskan masalah yang akan dikaji dalam penelitian, agar nantinya sewaktu melaksanakan penelitian tinggal melaksanakan langkah-langkah yang akan dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan studi kepustakaan untuk mendukung dan sebagai landasan pelaksanaan penelitian.

Jalannya penelitian dilakukan dengan rumusan sebagai berikut:

1. Menghitung berapakah besarnya kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk mencapai faktor daya atau  $\cos \phi$  yang diinginkan.
2. Menghitung besarnya daya reaktif yang di kompensasikan dengan cara mengurangi besarnya daya reaktif sebelum pemasangan kapasitor dengan daya reaktif setelah pemasangan kapasitor.
3. Melakukan penghitungan seberapa besar penghematan pemakaian daya listrik terpasang sehingga dapat diketahui besarnya pembayaran biaya rekening listrik yang terjadi setiap bulannya.

Untuk lebih jelasnya proses penelitian yang berlangsung dijelaskan dalam bentuk alur diagram alir berikut ini:



Gambar 3.1. Diagram Alir Proses penelitian



## BAB 4

### ANALISA DAN PERHITUNGAN

#### 4.1. Perhitungan Daya Terpasang

Dari pengamatan yang dilakukan di panel utama pada stasiun power di rumah sakit umum rantau prapat pada saat kapasitor dinyalakan dengan  $\text{Cos}\phi 0,99$  supply daya dari PLN 110.000 VA.



Gambar 4.1. Control panel daya terpasang untuk Arus, Tegangan dan Frekuensi pada Indikator

Keterangan :

$$I_R \text{ ( Ampere ) } = 93 \text{ A}$$

$$I_S \text{ ( Ampere ) } = 85 \text{ A}$$

$$I_T \text{ ( Ampere )} = 82 \text{ A}$$

$$\text{Tegangan ( Volt )} = 377 \text{ V}$$

$$\text{Frekuensi ( Hertz )} = 50,2 \text{ Hz}$$

- Daya aktif ( P ) :

$$P = V \times I \times \text{Cos}\phi$$

Maka :

$$P_R = V \times I_R \times \text{Cos}\phi$$

$$= 377 \times 93 \times 0,99$$

$$= 34.710 \text{ Watt}$$

$$P_S = V \times I_S \times \text{Cos}\phi$$

$$= 377 \times 85 \times 0,99$$

$$= 31.725 \text{ Watt}$$

$$P_T = V \times I_T \times \text{Cos}\phi$$

$$= 377 \times 82 \times 0,99$$

$$= 30.605 \text{ Watt}$$

$$\text{Daya Keseluruhan} = P_R + P_S + P_T$$

$$= 34.710 + 31.725 + 30.605$$

$$= 97.040 \text{ Watt}$$

#### 4.2. Perhitungan Nilai Ekonomis ketika menggunakan Kapasitor Bank

Data daya beban yang digunakan adalah :

$$\text{Trafo} = 110 \text{ kVA}$$

$$\text{Daya aktif} = 97,04 \text{ kW}$$

- Perhitungan pemakaian perbulan = Waktu pemakaian x Daya aktif  
 $= 24 \times 30 \times 97,04$   
 $= 69.868,8 \text{ kWh}$
- Batas kVAR yang dibebaskan PLN = 0,62 x Pemakaian perbulan  
 $= 0,62 \times 69.868,8$   
 $= 43.318,656 \text{ kWh}$

#### 4.2.1. Perhitungan Sebelum Penggunaan Kapasitor Bank

Daya beban yang digunakan adalah :

$$\text{Daya aktif} = 97,04 \text{ kW}$$

$$\text{Cos}\phi_{\text{awal}} = 0,79$$

Maka :

$$\text{Cos}\phi_1 = 0,79$$

$$\phi_1 = 37,814^\circ$$

$$\tan\phi_1 = 0,776$$

- Daya semu ( $S_1$ ) =  $\frac{P}{\text{Cos}\phi}$   
 $= \frac{97,04}{0,79}$   
 $= 122,835 \text{ kVA}$

- Daya reaktif yang terpakai ( $Q_1$ ) = Daya aktif x tan phi  
 $= 97,04 \times 0,776$   
 $= 75,303 \text{ kVAR}$

- Pemakaian daya reaktif perbulan = Daya reaktif x Waktu pemakaian  
 $= 75,303 \times 24 \times 30$   
 $= 54.218,16 \text{ kVARh}$
- Kelebihan pemakaian daya reaktif = Pemakaian daya reaktif - Batas  
 KVAR yang diizinkan PLN  
 $= 54.218,16 - 43.318,656$   
 $= 10.899,595 \text{ kVARh}$

#### 4.2.2. Perhitungan Sesudah Penggunaan Kapasitor Bank

Daya beban yang digunakan adalah :

$$\text{Daya beban} = 97,04 \text{ kW}$$

$$\text{Cos}\phi_{\text{akhir}} = 0,99$$

Maka :

$$\text{Cos}\phi_2 = 0,99$$

$$\Phi_2 = 8,109^0$$

$$\text{tan}\phi_2 = 0,142$$

- Daya semu ( $S_2$ ) =  $\frac{P}{\text{Cos}\phi}$   
 $= \frac{97,04}{0,99}$   
 $= 98,020 \text{ kVA}$

- Daya reaktif yang terpakai ( $Q_2$ ) = Daya beban x tan phi  
 $= 97,04 \times 0,142$   
 $= 13,780 \text{ kVAR}$

- Pemakaian daya reaktif perbulan = Daya reaktif x Waktu pemakaian  
 = 13,780 x 24 x 30  
 = 9.921,6 kVARh
- Kelebihan pemakaian daya reaktif = 9.921,6 - 43.318,656  
 = -33.397,056 kVARh
- Selisih kelebihan daya reaktif = 10.899,595 - (-33.397,056)  
 = 44.296,651 kVARh
- Persentase perbandingan =  $\frac{-33.397,056 - (-9.921,6)}{33.397,056} \times 100 \%$   
 = -70,29 %

Besar daya reaktif yang dikompensasikan kapasitor adalah :

- $Q_C = Q_1 - Q_2$   
 = 75,303 - 13,780  
 = 61,523 kVAR

#### 4.3. Perhitungan Kapasitas Kapasitor Bank

Besar kapasitas kapasitor yang digunakan dengan nilai cos phi 0,99 adalah :

- Arus ( I ) :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{Q_C}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{61,523 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380} \\
 &= 93,475 \text{ A}
 \end{aligned}$$

- Reaktansi kapasitif( $X_C$ ) :

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{\sqrt{3} \times V}{I} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 380}{93,475} \\ &= 7,041 \Omega \end{aligned}$$

- Kapasitas kapasitor ( C ) :

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{2\pi f X_C} \\ &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 7,041} \\ &= 4523 \mu\text{F} / \text{phasa} \end{aligned}$$

#### 4.4. Perhitungan Rekening Listrik terpakai:

Rumah sakit umum labuhan batu Rantau Parapat merupakan pelanggan aktif PT. PLN (PERSERO) dengan memakai tariff pelanggan S-2, dengan daya 110 kVA dipasok dengan tegangan menengah 380 /220 V.

Data pencatatan stand kWh - Meter pada bulan maret 2019 seperti berikut:

Faktor kali kWh LWBP :

- Stand awal = 84046
- Stand akhir = 84875

Faktor kali untuk kWh adalah 40 kWh.

Berapa rekening listrik yang harus dibayar untuk periode tersebut?

Jawab :

$$\text{Pemakaian kWh} = ( 84875 - 84046 ) \times 40 \text{ kWh} = 33160 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ Biaya Pemakaian kWh LWBP} = 33160 \times \text{Rp.1,200/Kva} = \text{Rp.39.792.000,-}$$

$$2. \text{ Pajak Penerangan Jalan} = 10 \% \times \text{Rp. 39792.000,-} = \text{Rp . 3.979200,-}$$

$$3. \text{ Biaya admin Pos} = \text{Rp . 8.000,-}$$

$$\text{Total rekening yang dibayar adalah} = \text{Rp.43779200,-}$$

#### 4.5. Perhitungan Biaya Penghematan Rekening Listrik

- Penghematan biaya rekening listrik perbulan adalah :

$$\text{Pemakaian kWh} = 61,523 \times 40 \text{ kWh} = 2.460,92 \text{ kWh}$$

$$\text{Biaya Pemakaian kWh LWBP} = 2.460,92 \times \text{Rp.900,-/kVA} = \text{Rp.2.214.828,-}$$

- Waktu pengembalian harga kapasitor =  $\frac{\text{Harga kapasitor bank}}{\text{Penghematan biaya rekening}}$

$$= \frac{\text{Rp.24.000.000,-}}{\text{Rp.2.214,828,-}}$$

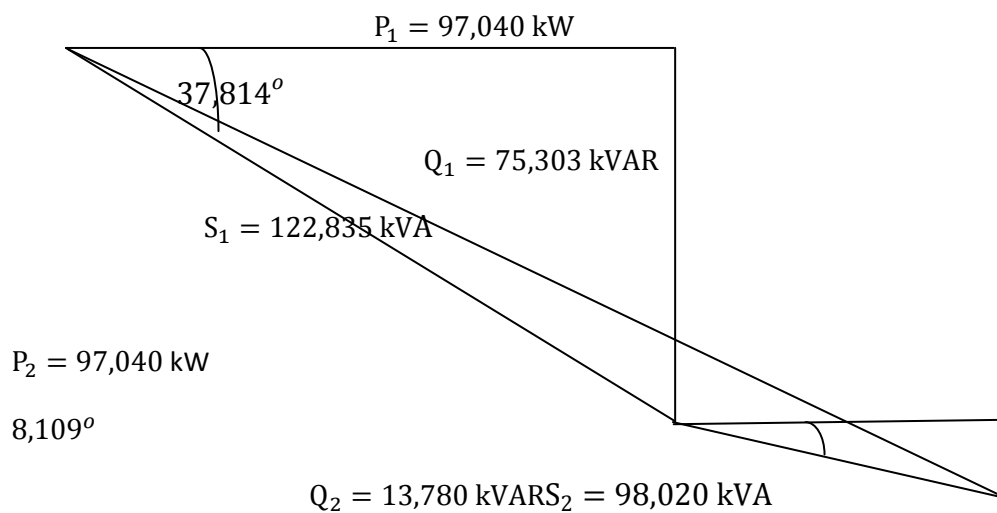
$$= 11 \text{ bulan}$$

#### 4.6. Analisa Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Penggunaan Kapasitor

Dari perhitungan faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan kapasitor bank dapat dilihat seperti :

Tabel 4.1. Perbandingan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank

No	Symbol	Daya Sebenarnya	
		Sebelum Kompensasi	Sesudah Kompensasi
1	Cos $\phi$	0,79	0,99
2	P(kW)	97,040	97,040
3	S(kVA)	122,835	98,020
4	Q(kVAR)	75,303	13,780



Gambar 4.2. Kompensasi Daya



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari semua pembahasan yang telah penulis lakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Ternyata kebutuhan kapasitor yang diperlukan pada rumah sakit ini adalah bila sebelum dilakukan kompensasi nilainya sebesar 75.303 KVAR dan setelah perbaikan/kompensasi nilainya menjadi sebesar 13.780 KVAR dalam hal ini terlihat perbaikan/perbandingan yang sangat besar yakni hampir lebih Kurang 50 %

2. Perbaikan factor daya juga cukup bagus, nilai factor daya ketika sebelum perbaikan adalah sebesar 0,79 dan setelah dilakukan perbaikan nilainya naik menjadi 0,90 hal ini sudah mendekati nilai factor daya yang dianjurkan karena factor daya yang terbaik itu nilainya adalah  $\cos \phi = 1$ , sehingga daya reaktif yang dihasilkan sebelum perbaikan adalah 75,303 kVAR dan setelah perbaikan daya reaktif yang dihasilkan adalah 13,780 kVAR. Jadi besar daya reaktif yang di kompensasikan atau diberikan kapasitor adalah 61,523kVAR dan penghematan biaya rekening listrik perbulannya yaitu Rp.2.214.828.

## DAFTAR PUSTAKA

- Edminister, J.A.1997. *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Mukhlis Baso. 2011. *Evaluasi Penggunaan Listrik Pada Gedung di Lingkungan Universitas Tadulako*, Tugas Akhir, UNTAD. PALU.
- Pabla AS & Abdul Hadi. 1994. *Sistem Distribusi Rangkaian Listrik*. Jakarta : Erlangga
- Parton & Watkins. 1998. *Penghitungan Instalasi Listrik Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Parton & Watkins. 1998. *Penghitungan Instalasi Listrik Jilid 2* . Jakarta: Erlangga.
- Parton & Watkins. 1999. *Penghitungan Instalasi Listrik Jilid 3*. Jakarta: Erlangga.
- Puput Hendro Prasetio.2006. *Evaluasi Pemakaian Energi Listrik Pada Gedung A Universitas Muhammadiyah Surakarta*,Tugas Akhir, UMS. Surakarta.
- Rahmadani, Mohamad. 2008. *Rangkaian Listrik*,Jakarta : Erlangga.
- Salpanio Ricky. 2007. *Audit Energi Listrik Pada Gedung Kampus UNDIP Pleburan Semarang*, Tugas Akhir, UNDIP. Semarang.
- Theraja BL. *A text Book Electrical Technology*, New Delhi : Nirja Construksion & Development Co.(P) Ltd.
- William H. Hayt Jr, Jack E Kemmerly. 1990. *Rangkaian Listrik*.Jakarta : Erlangga
- Zuhal. 2000. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

## LAMPIRAN

LAMPIRAN I  
PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL  
REPUBLIK INDONESIA  
NOMOR 31 TAHUN 2014  
TENTANG  
TARIF TENAGA LISTRIK YANG DISEDIAKAN OLEH  
PERUSAHAAN PERSEROAN (PERSERO) PT PERUSAHAAN  
LISTRIK NEGARA

TARIF TENAGA LISTRIK UNTUK KEPERLUAN PELAYANAN SOSIAL

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	S-1/TR	220 VA	-	Abonemen per bulan (Rp) : 14.800	-
2.	S-2/TR	450 VA	10.000	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 123 Blok II : di atas 30 kWh s.d. 60 kWh : 265 Blok III : di atas 60 kWh : 360	325
3.	S-2/TR	900 VA	15.000	Blok I : 0 s.d. 20 kWh : 200 Blok II : di atas 20 kWh s.d. 60 kWh : 295 Blok III : di atas 60 kWh : 360	455
4.	S-2/TR	1.300 VA	*)	708	708
5.	S-2/TR	2.200 VA	*)	760	760
6.	S-2/TR	3.500 VA s.d. 200 kVA	*)	900	900
7.	S-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times P \times 735$ Blok LWBP = $P \times 735$ kVArh = 925 ***)	-

Catatan :

\*) Diterapkan Rekening Minimum (RM) :  
RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.

\*\*) Diterapkan Rekening Minimum (RM) :  
RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian Blok LWBP.  
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

\*\*\*) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).  
K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ( $1,4 \leq K \leq 2$ ), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.  
P : Faktor pengali untuk pembeda antara S-3 bersifat sosial murni dengan S-3 bersifat sosial komersial.  
Untuk pelanggan S-3 yang bersifat sosial murni P = 1.  
Untuk pelanggan S-3 yang bersifat sosial komersial P = 1,3.  
Kategori S-3 bersifat sosial murni dan S-3 bersifat sosial komersial ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara dengan mempertimbangkan kemampuan bayar dan sifat usahanya.  
WBP : Waktu Beban Puncak.  
LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

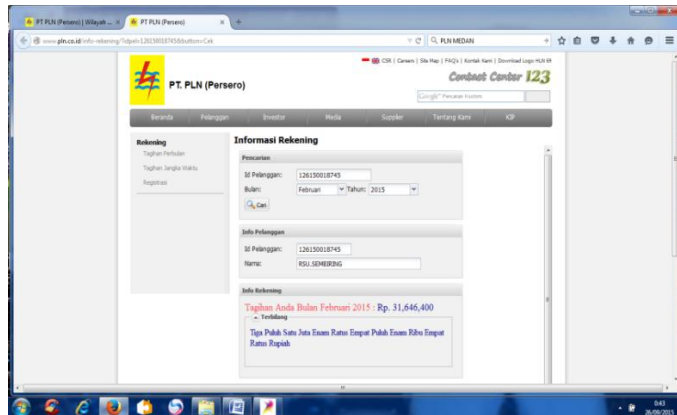
MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL  
REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

SUDIRMAN SAID

Salinan sesuai dengan aslinya  
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL  
Kepala Biro Hukum,

  
Susyanto



Gambar Rekening Listrik



GambarKapasitor Bank



GambarPanel Box Kapasitor Bank

**Tabel Cos  $\theta$  Untuk Kompensasi**

Kompensasi																
Sebelum	Sesudah															
COS $\phi$	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.5	1.11	1.14	1.17	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.37	1.4	1.44	1.48	1.53	1.59	1.73
0.51	1.07	1.09	1.12	1.15	1.17	1.2	1.23	1.26	1.29	1.32	1.36	1.39	1.44	1.48	1.54	1.69
0.52	1.02	1.05	1.05	1.1	1.13	1.16	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.35	1.39	1.44	1.15	1.64
0.53	0.98	1.01	1.08	1.06	1.09	1.12	1.14	1.17	1.2	1.24	1.27	1.31	1.35	1.4	1.46	1.6
0.54	0.94	0.97	1	1.02	1.05	1.07	1.1	1.3	1.16	1.2	1.23	1.27	1.31	1.36	1.42	1.56
0.55	0.9	0.93	0.99	0.98	1.01	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.23	1.27	1.32	1.38	1.52
0.56	0.86	0.89	0.95	0.94	0.97	1	1.02	1.05	1.08	1.12	1.15	1.19	1.23	1.28	1.34	1.48
0.57	0.82	0.85	0.91	0.9	0.93	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.11	1.15	1.19	1.24	1.3	1.44
0.58	0.78	0.81	0.87	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	1.01	1.04	1.08	1.11	1.15	1.2	1.26	1.4
0.59	0.75	0.78	0.84	0.83	0.86	0.88	0.91	0.94	0.97	1.01	1.04	1.08	1.12	1.17	1.23	1.37
0.6	0.71	0.74	0.8	0.79	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97	1	1.04	1.08	1.13	1.19	1.33
0.61	0.68	0.71	0.77	0.76	0.79	0.81	0.84	0.87	0.9	0.94	0.97	1.01	1.05	1.11	1.16	1.3
0.62	0.65	0.67	0.73	0.73	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.9	0.94	0.97	1.1	1.06	1.12	1.27
0.63	0.61	0.64	0.7	0.69	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.9	0.94	0.98	1.03	1.09	1.23
0.64	0.58	0.61	0.67	0.66	0.69	0.72	0.74	0.77	0.81	0.84	0.87	0.91	0.95	1	1.06	1.2
0.65	0.55	0.58	0.63	0.63	0.66	0.68	0.71	0.74	0.77	0.81	0.84	0.88	0.92	0.97	1.03	1.17
0.66	0.52	0.54	0.6	0.6	0.63	0.65	0.68	0.71	0.74	0.78	0.81	0.83	0.89	0.94	1	1.14
0.67	0.49	0.51	0.57	0.57	0.6	0.62	0.65	0.68	0.71	0.75	0.78	0.82	0.86	0.9	0.97	1.11
0.68	0.46	0.48	0.54	0.54	0.57	0.59	0.62	0.65	0.68	0.72	0.75	0.79	0.83	0.88	0.94	1.08
0.69	0.43	0.46	0.51	0.51	0.54	0.56	0.59	0.62	0.65	0.69	0.72	0.76	0.8	0.85	0.91	1.05
0.7	0.4	0.43	0.48	0.48	0.51	0.54	0.56	0.59	0.62	0.66	0.69	0.73	0.77	0.82	0.88	1.02
0.71	0.37	0.4	0.45	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.6	0.63	0.66	0.7	0.74	0.79	0.85	0.99
0.72	0.34	0.37	0.4	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.6	0.64	0.67	0.71	0.76	0.82	0.96
0.73	0.32	0.34	0.37	0.4	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.61	0.64	0.69	0.73	0.79	0.94
0.74	0.29	0.32	0.34	0.37	0.4	0.42	0.45	0.48	0.51	0.55	0.58	0.62	0.66	0.71	0.77	0.91
0.75	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.59	0.63	0.68	0.74	0.88
0.76	0.24	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.56	0.6	0.65	0.71	0.86
0.77	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.4	0.43	0.47	0.5	0.54	0.58	0.63	0.69	0.83
0.78	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	0.51	0.55	0.6	0.66	0.8
0.79	0.16	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.45	0.48	0.53	0.57	0.63	0.78
0.8	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.5	0.55	0.61	0.75
0.81	0.1	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.27	0.3	0.33	0.36	0.4	0.43	0.47	0.52	0.58	0.72
0.82	0.08	0.1	0.3	0.16	0.19	0.21	0.24	0.27	0.3	0.34	0.37	0.41	0.45	0.49	0.56	0.7
0.83	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.38	0.42	0.47	0.53	0.67
0.84	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.32	0.35	0.4	0.44	0.5	0.65
0.85	0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.26	0.29	0.33	0.37	0.42	0.48	0.62
0.86		0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.17	0.2	0.23	0.26	0.3	0.34	0.39	0.45	0.59
0.87			0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.17	0.2	0.24	0.28	0.32	0.36	0.42	0.57
0.88				0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.18	0.21	0.25	0.29	0.34	0.4	0.54
0.89					0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.22	0.26	0.31	0.37	0.51
0.9						0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.16	0.19	0.23	0.28	0.34	0.48

**LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Nama : Maswar Mujahidy Ritonga

NPM : 1607220101P

Judul : PENGGUNAAN KAPASITOR BANK SEBAGAI MEDIA UNTUK PERBAIKAN FAKTOR DAYA PADA GEDUNG PELAYANAN KESEHATAN.

NO	HARI / TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	Senin/11-2-19	Perbaiki penulisan Abstrak dan buat kata kunci	2
2	Kamis/28-2-19	ke bab I dan boleh dilanjutkan ke penulisan BAB II	2
3	sabtu/9-3-19	kejian pustaka buat yg relevan yang berhubungan dengan TA.	2
4	Senin 18/3-19	faktor daya penulisan nya buat lebih rinci. dan buat control/grafik	2
5	Rabu/18/3/19	ke BAB II lanjut ke BAB berikutnya dan penulisan nomor/halaman bab	2
6	sabtu/20/3/19	buat perhitungan daya nya dg beberapa metode yg telah di analisis	2
7	Kamis/27/6/19	Perbaiki Analisa data nya dan tabel untuk keterangannya buat di atas.	2
8	Kamis/25/7/19	ke BAB IV dan kesimpulan sesuai ke- di typo penulisan.	2
9	Senin/29/7/19	ke untuk di lanjut ke ke penulisan II & untuk di lanjut ke ke penulisan dan kesimpulan	2

Pembimbing I









(Dr. Zulfikar., ST., MT.)

## LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI/TUGAS AKHIR


Nama : Maswar Mujahidy Ritonga

NPM : 1607220101P

Judul : PENGGUNAAN KAPASITOR BANK SEBAGAI MEDIA UNTUK  
PERBAIKAN FAKTOR DAYA PADA GEDUNG PELAYANAN KESEHATAN.

NO	HARI / TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	Selasa 12-2-2019	Sesuai ke letter belakang dengan Penelitian sebelumnya.	
2	Rabu 27-2-2019	Sesuai Batasan Masalah dengan Pempusan Masalah	
3	Jumat 8-3-2019	Lanjutan Bab II	
4	Kamis 28-3-2019	Perbaiki gambar dan tulisan di bab II	
5	Senin 6-5-2019	Lanjutan bab III	
6	Rabu 29-5-2019	Perbaiki Flow chart Lanjutan bab IV	
7	Senin 5-8-2019	Kesimpulan dan abstract	
8	Rabu 7-8-2019	ACE untuk di reamarku	
9			

Pembimbing II

  
(Faisal Yrsan Pasaribu, ST., MT.)



# PENGGUNAAN KAPASITOR BANK SEBAGAI MEDIA UNTUK PERBAIKAN FAKTOR DAYA PADA GEDUNG PELAYANAN KESEHATAN

Ir. Zulfikar, M.T, Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T, Maswar Mujahidy Ritonga  
Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Jl. Kapt Mukhtar Basri No.3 Medan  
[Maswar.rtg@gmail.com](mailto:Maswar.rtg@gmail.com)

## ABSTRAK

*Abstrak* Dalam system tenaga seperti generator, saluran transmisi, distribusi serta pralatan proteksi dan beban beban induktif yang umumnya menyerap dua komponen daya yaitu daya yang terpakai (daya aktif), daya tidak terpakai (daya reaktif). Untuk mengurangi daya reaktif yang tidak terpakai ini maka dilakukan pemasangan pemasangan kapasitor yang merupakan salah satu cara untuk mengurangi daya reaktif yang mudah dan paling murah. Di rumah rumah mewah, pertokoan dan industry umumnya merupakan salah satu pengguna beban induktif yang cukup besar, karena hampir disetiap ruangan terdapat beban induktif yang terpasang diantaranya AC, Motor Listrik dan Lampu hemat energi (SL & TL). Dalam penulisan ini, penulis mencoba menguraikan secara ringkas pemanfaatan Kapasitor Bank yang digunakan di gedung rumah sakit umum Labuhan Batu Utara. Dari data dan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa, nilai daya reaktif sebelum kompensasi adalah 75,303 kVAR dan setelah kompensasi adalah 13,780 kVAR. Besar daya reaktif yang dikompensasikan atau diberikan kapasitor adalah 61,523 kVAR. Kapasitas kapasitor yang digunakan pada gedung perkantoran yang penulis data adalah 4523  $\mu\text{F}$  / fasa. Adapun perhitungan rekening listrik pada bulan Februari 2019 yaitu Rp. 31.646.400,- dan penghematan biaya rekening listrik perbulannya sekitar Rp. 2.214.828,-

**Kata kunci** : Daya reaktif, kapasitor bank

## 1. PENDAHULUAN

### 2.1. Latar Belakang

Dalam system tenaga seperti generator, saluran transmisi dan distribusi tenaga daya, dan peralatan proteksi lainnya yang menggunakan beban-beban induktif dan kapasitif lainnya menyerap dua komponen daya yakni daya aktif dan daya reaktif. Setiap tahun terjadi peningkatan kebutuhan energi yang sangat signifikan dan menuntut penyedia tegangan listrik untuk memberikan *supply* tenaga listrik yang cukup dan berkualitas.

Rumah Sakit Umum Labuhan Batu merupakan salah satu pengguna beban induktif yang cukup besar, karena hampir disetiap ruangan terdapat beban – beban

induktif yang terpasang seperti AC, lampu hemat energi ( SL dan TL), alat-alat medis rumah sakit, lift, penggunaan komputer serta mesin foto copy. Dengan daya terpasang dari PLN sebesar 105 kVA dan kapasitas *transformator* 3 fasa. 100 kVA 20 kV / 400 V yang *mensupply* seluruh gedung yang terdapat di Rumah Sakit Umum Labuhan Batu. Dalam penyaluran energi listrik ada beberapa masalah yang dihadapi antara lain jatuh tegangan, faktor daya yang rendah dan rugi - rugi daya. Beban pada jaringan distribusi bisa berupa beban kapasitif dan induktif. Apabila beban induktif semakin tinggi maka akan berakibat memperbesar rugi-rugi daya, menurunkan faktor daya dan menurunkan



an kapasit as penyaluran daya. Sumber daya kapasitif tersebut dapat berupa kapasitor bank

### 3. TINJAUAN PUSTAKA

#### 3.1. Kajian Pustaka Relevan

Beberapa penelitian mengenai penempatan kapasitor bank pada jaringan distribusi dengan kapasitas dan lokasi yang tepat dapat mengurangi rugi daya dan drop tegangan pada sistem tenaga listrik. Berkaitan dengan hal tersebut beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan yaitu:

1. Penelitian tentang perbaikan profil tegangan menggunakan kapasitor Shunt dalam penelitian tersebut menyimpulkan bahwa pada pemasangan kapasitor bank dengan daya sebesar 2700 KVAR pada jarak 34022 Km dari sumber menyebabkan kenaikan tegangan  $\pm 15\%$  pada bus yang memiliki tegangan paling rendah ( Bus 97A ) dari tegangan awal 17,946 KV menjadi 19,070 KV. (Utama, 2008)

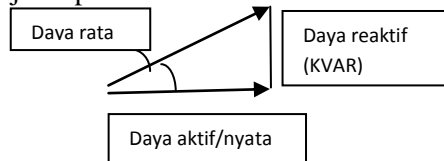
2. Penelitian tentang pengaruh pemasangan mini Kapasitor Bank terhadap kualitas Listrik serta perencanaan filter aktif menggunakan Kontroler PI sebagai pelindung kapasitor dari harmonisa dirumah tangga. Dimana dalam penelitian tersebut terjadi peningkatan power faktor ( dari 0,95 menjadi 0,99 lagging ) kebutuhan daya total menjadi turun dari 900 VA menjadi 850 VA turun 5,6 % dan THD arus jala - jala sebelum terpasang filter aktif adalah sebesar 23 % dan setelah terpasang filter aktif turun menjadi 0,76 %. (Hartawi, 2010)

3. Penelitian tentang perbaikan faktor daya untuk penghematan biaya pemakaian energi listrik pada PT. Eastern Pearl Flour Mills Makasar. Dimana dalam penelitian tersebut untuk menaikkan faktor daya menjadi 0,970 maka daya reaktif induktif yang harus disuplai oleh kapasitor bank adalah sebesar 570,2 kVAR berdasarkan perhitungan metode kVAR. Dengan meniadakan biaya penggunaan energi kVARh perusahaan

dapat menghemat biaya listrik sebesar Rp.119.927.989,57/-/bulan. (Tunggulgan, 2010).

#### 3.2. Dasar Pertimbangan Perbaikan Faktor Daya.

Konsumsi listrik kian bertambah pada beban residential dan beban industri, dimana pada industri akan lebih banyak peralatan listrik yang menghasilkan beban-beban induktif, dimana beban-beban induktif tersebut umumnya dihasilkan dari motor listrik, transformator, alat pengelas, tungku pembakaran perapian/pembakaran, lampu tabung, dan berbagai jenis peralatan elektronik.



Gambar 2.1. Komponen daya dalam beban reaktif

Arus reaktif yang menyebabkan komponen lagging  $90^\circ$  akan menyebabkan an pf menjadi rendah dalam system. Pada gambar diatas besarnya daya dapat dirumuskan :

$$kVA^2 = kW^2 + kVAR^2 \quad (2.1)$$

Besarnya factor daya adalah :

$$Pf = kW/kVA = \cos\phi \quad (2.2)$$

#### 2.2.2 Daya

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

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

(2.3)

Dimana : P = Daya (Watt)

V = tegangan (Volt)

$I = \text{Arus (Ampere)}$

Daya nyata atau daya aktif adalah daya listrik yang digunakan secara nyata, misalnya untuk menghasilkan panas, cahaya atau putaran pada motor listrik. Daya nyata dihasilkan oleh beban-beban listrik yang bersifat resistif murni. Besarnya daya nyata sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban resistif dan dinyatakan dalam satuan Watt.

$$P = I^2 \cdot R \quad (2.4)$$

Dimana :

$P =$  Daya (Watt)

$I =$  Arus (Ampere)

$R =$  Tahanan (Ohm)

Daya reaktif dinyatakan dengan satuan VAR (*Volt Ampere Reaktif*) adalah daya listrik yang dihasilkan oleh beban-beban yang bersifat reaktif. Terdapat dua jenis beban reaktif, yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Beban – beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan magnet. Contoh beban listrik yang bersifat induktif antara lain transformator, motor induksi satu fasa maupun tiga fasa yang biasa digunakan untuk menggerakkan kipas angin, pompa air, lift, eskalator, kompresor, konveyor dan lain-lain. Beban–beban yang bersifat kapasitif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan listrik. Contoh beban yang bersifat kapasitif adalah kapasitor (*Heinz Reiger, 1987*). Besarnya daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban reaktif (*Sanjeev Sharma, 2007*).

$$Q = I^2 X$$

$$X = X_L - X_C \quad (2.6)$$

Dimana :

$Q = \text{Daya Reaktif (VAR)}$

$I =$  arus (Ampere)

$X =$  reaktansi total (Ohm)

$X_L =$  Reaktansi Induktif (Ohm)

$X_C =$  reaktansi kapasitif (Ohm)

Daya kompleks atau lebih sering dikenal sebagai daya semu adalah

penjumlahan secara vektor antara daya aktif dan daya reaktif, di mana :

$$S = P + jQ \quad (2.7)$$

Daya kompleks dinyatakan dengan satuan VA (Volt Ampere) adalah hasil kali antara besarnya tegangan dan arus listrik yang mengalir pada beban (*Sanjeev Sharma, 2007*), di mana :

$$S = V \cdot I \quad (2.8)$$

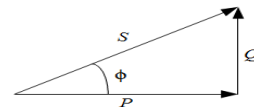
Dimana :

$S =$  Daya Semu (Volt - Ampere)

$V =$  Tegangan (Volt)

$I =$  Arus (Ampere)

Hubungan ketiga buah daya listrik yaitu daya aktif  $P$ , daya reaktif  $Q$  serta daya kompleks  $S$ , dinyatakan dengan sebuah segitiga, yang disebut segitiga daya (*Theraja, 1984*) seperti : (Gambar 2.2)



Gambar 2.2. Vektor Segi Tiga Daya

### 3.2.2 Faktor Daya

Istilah faktor daya atau *power factor* (PF) atau *cos phi* merupakan istilah yang sering sekali dipakai di bidang-bidang yang berkaitan dengan pembangkitan dan penyaluran energi listrik. Faktor daya merupakan istilah penting, tidak hanya bagi penyedia layanan listrik, namun juga bagi konsumen listrik terutama konsumen level industri. Perbaikan factor daya dapat dilakukan dengan cara melakukan pengaturan komponen reaktif-induktif yang ada pada saluran.

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

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad (2.15)$$

Dimana :

$\cos \phi =$  Faktor daya

$P =$  Daya aktif (kW)

$S =$  Daya nyata (kVA)

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

$$\text{Tan}\phi = Q/P (\text{kVAR/kW}) \quad (2.16)$$

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

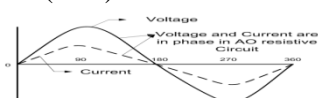
$$Q = P \times \text{Tan}\phi \quad (2.17)$$

## 2.3 Beban Listrik

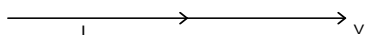
### 3.3.1. Beban Resistif

Beban resistif yang merupakan suatu resistor murni, contoh : lampu pijar, pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus se-fasa. Secara matematis dinyatakan :

$$R = V/I \quad (2.27)$$



Gambar 2.9. Rangkaian resistif gelombang AC



Gambar 2.10. Vektor arus dan tegangan pada beban resistif

### 3.3.2. Beban Induktif

Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi, contoh : motor – motor listrik, induktor dan transformator. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat lagging

Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “lagging”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar  $\phi^\circ$ . Secara matematis dinyatakan :

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi \quad (2.28)$$

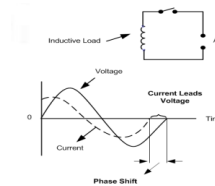
Dimana :

P = Daya aktif yang diserap beban (watt)

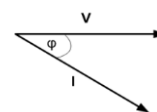
V = Tegangan yang mencatu beban (volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (A)

$\phi$  = Sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2.11. Rangkaian Induktif Gelombang AC



Gambar 2.12. Vektor Arus dan Tegangan Pada Beban Induktif

Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif ( $X_L$ ), dapat digunakan rumus :

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad (2.29)$$

Dimana :

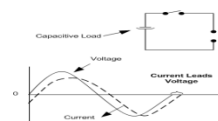
$X_L$  = reaktansi induktif

f = frekuensi (Hz)

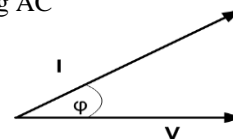
L = induktansi (Henry)

### 3.3.3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif (C) yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus *leading* terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif.



Gambar 2.13. Rangkaian Kapasitif Gelombang AC



Gambar 2.14. Vektor Arus dan Tegangan Pada Beban Kapasitif

Untuk menghitung besarnya reaktansi kapasitif ( $X_C$ ), dapat digunakan rumus :

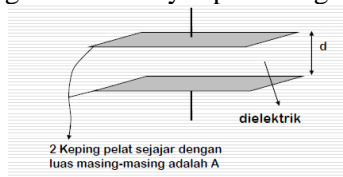
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2.30)$$

Dimana :

$X_c$  = reaktansi kapasitif  
 $f$  = frekuensi  
 $C$  = kapasitansi (Farad)

### 2.4 Kapasitor Bank

Kapasitor merupakan komponen yang hanya dapat menyimpan dan memberikan energi yang terbatas sesuai dengan kapasitansinya. Pada dasarnya kapasitor tersusun oleh dua keping sejajar yang disebut *electrodes* yang dipisahkan oleh suatu ruangan yang disebut *dielectric* yang pada saat diberi tegangan akan menyimpan energi.



Gambar 2.15. konstruksi Kapasitor

#### 3.4.1 Prinsip Kerja Kapasitor

Bila dua buah benda bermuatan dan berlainan tanda yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik maka akan terdapat kapasitansi diantara kedua benda tersebut. Pemberian beda potensial diantara benda konduktor tersebut akan menghasilkan muatan positif pada suatu konduktor dan muatan negatif pada konduktor lainnya. Perbandingan harga listrik dengan harga mutlak beda potensial didefinisikan sebagai suatu kapasitansi.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.31)$$

Dimana :

$C$  = Kapasitansi ( Farad )  
 $Q$  = Muatan Listrik ( Coloumb )  
 $V$  = Beda Potensial ( Volt )



Gambar 2.16. Prinsip kerja sebuah kapasitor.

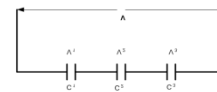
#### 3.4.2 Jenis – Jenis Kapasitor

Kapasitor Bank berdasarkan cara pemasangannya terdiri dari:

##### 3.4.2.1 Kapasitor Seri

Kapasitor seri adalah kapasitor yang dipasang secara seri dengan jaringan listrik yang saeperti halnya pada

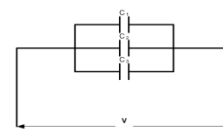
kondensor dan kapasitansi sunt. Kapasitansi seri juga merupakan sumber daya reaktif untuk memperbaiki factor daya, dengan timbulnya komponen tenaga pada kapasitor. Selain itu juga merupakan reaktif negative yang dapat menetralsir reaktansi induktif dari jaringan. Kapasitor yang dipasangkan secara seri dengan saluran mempunyai efek yang utama untuk mengurangi susut tegangan yang disebabkan oleh reaktansi induktif



Gambar 2 .17. rangkaian kapasitor hubungan seri.

##### 3.4.2.2 Kapasitor Shunt (Paralel)

Yang dimaksud dengan kapasitor shunt adalah suatu kapasitor yang terhubung paralel dengan jala – jala listrik. Fungsi dari kapasitor shunt ini adalah untuk memberikan daya reaktif yang diperlukan oleh beban – beban induktif seperti motor induksi dan lain – lain. Dengan pemberian daya reaktif oleh kapasitor shunt maka faktor daya dari beban induktif tersebut akan meningkat. Umumnya beban listrik itu bersifat induktif, sehingga arus yang ditariknya terbelakang terhadap tegangan, maka faktor dayanya akan mengecil.



Gambar 2.21. hubungan kapasitor Shunt ( paralel ).

#### 3.4.3 Metode Kompensasi Daya

Metode perbaikan factor daya dengan kapasitor bank disebut juga metode kompensasi yaitu menambah daya reaktif ke jaringan. Ada dua metode kompensasi yang digunakan yaitu metode kompensasi tetap dan metode kompensasi otomatis.

### 3.4.3.1 Kompensasi Tetap

Kompensasi jenis ini biasanya digunakan pada beban yang relatif konstan. Kapasitor dipasangkan langsung pada pangkal motor atau transformator yang selalu bekerja tanpa memerlukan panel. Untuk kontrol pada pemasangan kapasitor seperti ini dapat menggunakan :

- Sistem manual : dengan pemutus daya atau *load break switch*.
- Sistem semi-otomatis : dengan kontaktor
- Koneksi langsung pada pangkal beban

Keadaan lain penggunaan kompensasi tetap ini adalah jika perbandingan daya reaktif yang diperlukan ( $Q_c$ ) dengan daya trafo ( $S_n$ ) lebih kecil dari 15%.

### 3.4.3.2 Kompensasi Otomatis

Jika perbandingan daya reaktif yang diperlukan ( $Q_c$ ) dengan daya trafo ( $S_n$ ) melebihi 15%, sebaiknya dipasang kompensasi otomatis. Juga jika perubahan beban agak besar, padahal faktor daya diinginkan selalu berada pada nilai tertentu, hal ini dapat dilakukan dengan pemasangan regulator.

### 3.4.4 Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank

Metode pemasangan kapasitor tergantung dari fungsi yang diinginkan.

## 2.5 Perhitungan Daya Reaktif

Terdapat beberapa cara untuk melakukan koreksi / perhitungan daya reaktif, cara - cara yang biasa digunakan adalah dengan metode perhitungan biasa, metode tabel kompensasi, metode diagram, metode kwitansi PLN, & metode Segi tiga daya

### 3.5.1. Perhitungan Biasa

Data yang diperlukan antara lain adalah daya aktif (kW). *Power factor* lama ( $\cos \theta_1$ ) dan *Power factor* baru ( $\cos \theta_2$ ). Daya yang diperoleh dari persamaan :

$$S = P / \cos \theta_1 \quad (2.42)$$

Dimana :

$S$  = Daya nyata (kVA)

$P$  = Daya aktif (kW)

Daya reaktif dari *pf* lama dan *pf* baru diperoleh dari persamaan :

$$Q_L = P \tan \theta_1 \quad (2.43)$$

$$Q_B = P \tan \theta_2 \quad (2.44)$$

Dimana :

$Q_L$  = Daya reaktif *pf* lama (kVAR)

$Q_B$  = Daya reaktif *pf* baru (kVAR)

Daya reaktif yang dikompensasi oleh *capacitor bank* adalah :

$$Q_C = Q_L - Q_B \quad (2.45)$$

Dimana :  $Q_C$  = Daya yang dikompensasi kapasitor (kVAR)

$Q_L$  = Daya reaktif *pf* lama (kVAR)

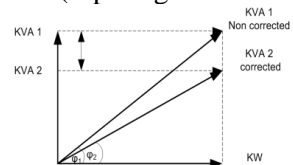
$Q_B$  = Daya reaktif *pf* baru (kVAR)

### 3.5.2. Metode Tabel Kompensasi

Untuk menghitung besarnya daya reaktif dapat dilakukan melalui tabel kompensasi, tabel ini menyajikan suatu data dengan input faktor daya mula-mula sebesar  $\cos \theta_1$  dan faktor daya yang diinginkan  $\cos \theta_2$  maka besarnya faktor pengali dapat dilihat melalui tabel kompensasi.

### 2.5.3. Metode Diagram

Dalam menentukan besarnya kapasitor yang dibutuhkan diperlukan diagram sebelum kompensasi dan sesudah kompensasi. (seperti gambar 2.23)



Gambar 2.23. Diagram daya untuk menentukan daya kapasitor

Sebelum ada perbaikan power Gambar 2.23 Diagram daya untuk menentukan daya kapasitor faktor, dengan  $\theta_1$  dan setelah dilakukan perbaikan sesuai yang diinginkan ditunjukkan dengan  $\theta_2$ . Maka besar daya daya kapasitor yang diperlukan adalah :

$$Q_C = k [\tan \theta_1 - \tan \theta_2] \quad (2.46)$$

### 3.5.4 Metode Kwitansi PLN

Metoda ini memerlukan data dari kwitansi PLN selama satu periode (misalnya 1 tahun). Kemudian data perhitungan diambil dari pembayaran

denda kVARH yang tertinggi. Data lain yang diperlukan adalah jumlah pemakaian.

$$Q_c = \frac{kVarh_{\text{tertinggi}}}{\text{waktu}_{\text{pemakaian}}} (kVAR) \quad (2.47)$$

$$P = \frac{kWh_{\text{tertinggi}}}{\text{waktu}_{\text{pemakaian}}} (kW) \quad (2.48)$$

### 3.5.5 Metode Segitiga Daya

Metoda ini dipakai jika data yang diketahui adalah Daya aktif (P) dan Daya nyata (S). Perhitungan metoda ini dilakukan dengan segitiga daya.

## 4. METEODOLOGI PENELITIAN

### 4.1. Lokasi Penelitian

Adapun lokasi penelitian dilaksanakan di RumahSakit Umum Labuhanbatu Rantau parapat, Sumatera Utara

### 4.2. Peralatan Penelitian

Adapun peralatan penelitian yang digunakan oleh penulis dalam melaksanakan penelitian di Rumah Sakit Umum Rantau Parapat ini adalah sebagai berikut :

#### c. Laptop

Peralatan utama untuk melaksanakan penelitian ini adalah seperangkat laptop Acer Intel @ core i3-4005U (1.7 GHz, 3MB L3 Cache, intel HD graphics 4400, up to 256 MB dynamic video memory, 2GB DDR3L memory, 500 GB HDD, Alat ini digunakan untuk mengerjakan laporan Tugas Akhir, seperti mengetik, melakukan pengolahan dan penyimpanan data, searching internet dirumah maupun dikampus.

#### d. Flasdisk

Merk : V-GeN I

Memory : 16 GB

Digunakan untuk menyimpan , memindahkan file/data untuk keperluan penulisan laporan Tugas Akhir.

## 4.3. Data Penelitian

Adapun data yang diperoleh dari hasil pelaksanaan penelitian ini adalah data bebandari keseluruhan gedung rumah sakit, secara garis besar energi listrik yang digunakan disupplay oleh PLN, untuk kebutuhan beban seperti :

### 3.4.1. Beban Penerangan

- e. Lampu TL untuk ruangan ruangan yang memerlukan fluks cahaya yang besar, seperti ruang operasi, ruang bangsal dan lain, lain.
- f. Lampu XL untuk ruangan ruangan kamar inap.
- g. Lampu Pijar untuk ruangan khusus.
- h. Lampu Merkuri untuk ruang operasi dan lampu jalan

### 3.4.2. Beban Motor

- d. Air Conditioner (AC)
- e. Kipas Angin
- f. Pompa Air

### 3.4.3. Beban Elektronika

- g. Komputer lengkap dengan printer dan mesin foto copy nya
- h. Proyektor
- i. Televisi
- j. Dispenser
- k. Mesin cuci
- l. Mesin ronzen

## 3.4 Proses Jalannya Penelitian

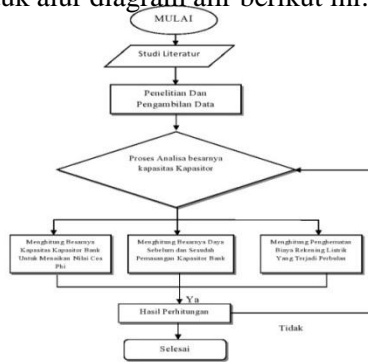
Sebelum melakukan penelitian terlebih dahulu penulis merumuskan masalah yang akan dikaji dalam penelitian, agar nantinya sewaktu melaksanakan penelitian tinggal melaksanakan langkah-langkah yang akan dilakukan, kemudian di dilanjutkan dengan studi kepustakaan untuk mendukung dan sebagai landasan pelaksanaan penelitian.

Jalannya penelitian dilakukan dengan rumusan sebagai berikut:

4. Menghitung berapakah besarnya kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk mencapai faktor daya atau Cos phi yang diinginkan.

5. Menghitung besarnya daya reaktif yang di kompensasikan dengan cara mengurangi besarnya daya reaktif sebelum pemasangan kapasitor dengan daya reaktif setelah pemasangan kapasitor.
6. Melakukan penghitungan seberapa besar penghematan pemakaian daya listrik terpasang sehingga dapat diketahui besarnya pembayaran biaya rekening listrik yang terjadi setiap bulannya.

Untuk lebih jelasnya proses penelitian yang berlangsung dijelaskan dalam bentuk alur diagram alir berikut ini:



Gambar 3.1. Diagram Alir Proses penelitian

## 7. ANALISA DAN PERHITUNGAN

### 4.1. Perhitungan Daya Terpasang

Dari pengamatan yang dilakukan di panel utama pada stasiun power di rumah sakit umum rantau prapat pada saat kapasitor dinyalakan dengan  $\cos \phi 0,99$  supply daya dari PLN 110.000 VA.



Gambar 4.1. Control panel daya terpasang untuk Arus, Tegangan dan Frekuensi pada Indikator

Keterangan :

$I_R$ ( Ampere )	=	93 A
$I_S$ ( Ampere )	=	85 A
$I_T$ ( Ampere )	=	82 A

Tegangan ( Volt ) = 377 V  
 Frekuensi ( Hertz ) = 50,2 Hz

- Daya aktif ( P ) :

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

Maka :

$$P_R = V \times I_R \times \cos \phi = 377 \times 93 \times 0,99 = 34.710 \text{ Watt}$$

$$P_S = V \times I_S \times \cos \phi = 377 \times 85 \times 0,99 = 31.725 \text{ Watt}$$

$$P_T = V \times I_T \times \cos \phi = 377 \times 82 \times 0,99 = 30.605 \text{ Watt}$$

$$\text{Daya Keseluruhan} = P_R + P_S + P_T = 34.710 + 31.725 + 30.605 = 97.040 \text{ Watt}$$

### 4.2. Perhitungan Nilai Ekonomis ketika menggunakan Kapasitor Bank

Data daya beban yang digunakan adalah :

Trafo = 110 kVA

Daya aktif = 97,04 kW

- Perhitungan pemakaian perbulan = Waktu pemakaian x Daya aktif = 24 x 30 x 97,04 = 69.868,8 kWh

- Batas kVAR yang dibebaskan PLN = 0,62 x Pemakaian perbulan = 0,62 x 69.868,8 = 43.318,656 kWh

#### 4.2.1. Perhitungan Sebelum Peggunaan Kapasitor Bank

Daya beban yang digunakan adalah :  
 Daya aktif = 97,04 kW  $\cos \phi_{awal} = 0,79$

Maka :

$$\cos \phi_1 = 0,79$$

$$\phi_1 = 37,814^\circ$$

$$\tan \phi_1 = 0,776$$

- Daya semu (  $S_1$  ) =  $\frac{P}{\cos \phi} = \frac{97,04}{0,79} = 122,835 \text{ kVA}$

- Daya reaktif yang terpakai (  $Q_1$  ) = Daya aktif x tan phi = 97,04 x 0,776 = 75,303 kVAR

- Pemakaian daya reaktif perbulan = Daya reaktif x Waktu pemakaian = 75,303 x 24 x 30 = 54.218,16 kVARh

- Kelebihan pemakaian daya reaktif = Pemakaian daya reaktif - Batas KVAR yang diizinkan PLN = 54.218,16 - 43.318,656

$$= 10.899,595 \text{ kVARh}$$

#### 4.2.2. Perhitungan Sesudah Pengunaan Kapasitor Bank

Daya beban yang digunakan adalah :

$$\text{Daya beban} = 97,04 \text{ kW}$$

$$\text{Cos } \phi_{\text{akhir}} = 0,99$$

Maka :

$$\text{Cos } \phi_2 = 0,99$$

$$\Phi_2 = 8,109^0$$

$$\tan \phi_2 = 0,142$$

- Daya semu ( $S_2$ )  $= \frac{P}{\text{Cos } \phi} = \frac{97,04}{0,99} = 98,020 \text{ kVA}$
- Daya reaktif yang terpakai ( $Q_2$ )  
 $= \text{Daya beban} \times \tan \phi$   
 $= 97,04 \times 0,142 = 13,780 \text{ kVAR}$
- Pemakaian daya reaktif perbulan=  
 $\text{Daya reaktif} \times \text{Waktu pemakaian}$   
 $= 13,780 \times 24 \times 30 = 9.921,6 \text{ kVARh}$
- Kelebihan pemakaian daya reaktif  
 $= 9.921,6 - 43.318,656$   
 $= -33.397,056 \text{ kVARh}$
- Selisih kelebihan daya reaktif  
 $= 10.899,595 - (33.397,056)$   
 $= 44.296,651 \text{ kVARh}$
- Persentase perbandingan=  
 $\frac{-33.397,056 - (-9.921,6)}{33.397,056} \times 100 \%$   
 $= -70,29 \%$

Besar daya reaktif yang dikompensasikan kapasitor adalah :

- $Q_C = Q_1 - Q_2$   
 $= 75,303 - 13,780$   
 $= 61,523 \text{ kVAR}$

#### 4.3. Perhitungan Kapasitas Kapasitor Bank

Besar kapasitas kapasitor yang digunakan dengan nilai cos phi 0,99 adalah :

- Arus (I) :

$$\begin{aligned} I &= \frac{Q_C}{\sqrt{3} \times V} \\ &= \frac{61,523 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380} \\ &= 93,475 \text{ A} \end{aligned}$$

- Reaktansi kapasitif ( $X_C$ ) :

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{\sqrt{3} \times V}{I} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 380}{93,475} \end{aligned}$$

$$= 7,041 \Omega$$

- Kapasitas kapasitor (C) :

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{2\pi f X_C} \\ &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 7,041} \\ &= 4523 \mu\text{F} / \text{phasa} \end{aligned}$$

#### 4.4. Perhitungan Rekening Listrik terpakai:

Data pencatatan stand kWh - Meter pada bulan maret 2019 seperti berikut:

Faktor kali kWh LWBP :

$$\circ \text{ Stand awal} = 84046$$

$$\circ \text{ Stand akhir} = 84875$$

Faktor kali untuk kWh adalah 40 kWh.

Berapa rekening listrik yang harus dibayar untuk periode tersebut?

Jawab :

$$\text{Pemakaian kWh} = (84875 - 84046) \times 40 \text{ kWh} = 33160 \text{ kWh}$$

1. Biaya Pemakaian kWh LWBP =  
 $33160 \times \text{Rp.}1,200/\text{Kva} = \text{Rp.}39.792.000,-$
2. Pajak Penerangan Jalan = 10 % x Rp.  
 $39792.000,- = \text{Rp.} 3.979200,-$
3. Biaya admin Pos = Rp .8.000,  
 Total rekening yang dibayar adalah= Rp.43779200,-

#### a. Perhitungan Biaya Penghematan Rekening Listrik

- Penghematan biaya rekening listrik perbulan adalah :

Pemakaian

$$\text{kWh} = 61,523 \times 40 \text{ kWh} = 2.460,92 \text{ kWh}$$

Biaya Pemakaian

$$\text{kWh LWBP} = 2.460,92 \times \text{Rp.}900,- /\text{kVA} = \text{Rp.}2.214.828,-$$

- Waktu pengembalian harga kapasitor =  
 $\frac{\text{Harga kapasitor bank}}{\text{Penghematan biaya rekening}}$   
 $= \frac{\text{Rp.}24.000.000,-}{\text{Rp.}2.214,828,-}$   
 $= 11 \text{ bulan}$

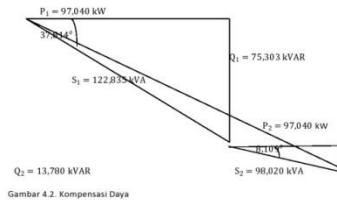


#### 4.6. Analisa Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Penggunaan Kapasitor

Dari perhitungan faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan kapasitor bank dapat dilihat seperti :

Tabel 4.1. Perbandingan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank

No	Symbol	Daya Sebenarnya	
		Sebelum Kompensasi	Sesudah Kompensasi
1	Cos $\phi$	0,79	0,99
2	P(kW)	97,040	97,040
3	S(kVA)	122,835	98,020
4	Q(kVAR)	75,303	13,780



## 6. PENUTUP

### 6.1. Kesimpulan

Dari semua pembahasan yang telah penulis lakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Ternyata kebutuhan kapasitor yang diperlukan pada rumah sakit ini adalah bila sebelum dilakukan kompensasi nilainya sebesar 75.303 KVAR dan setelah perbaikan/kompensasi nilainya menjadi sebesar 13.780 KVAR dalam hal ini terlihat perbaikan/perbandingan yang sangat besar yakni hampir lebih Kurang 50 %
2. Perbaikan factor daya juga cukup bagus, nilai factor daya ketum sebelum perbaikan adalah sebesar 0,79 dan setelah dilakukan perbaikan nilainya naik menjadi 0,90 hal ini sudah mendekati nilai factor daya yang dianjurkan karena factor daya yang terbaik itu nilainya adalah  $\cos \phi = 1$ , sehingga daya reaktif yang dihasilkan sebelum perbaikan adalah 75,303 kVAR dan setelah perbaikan

daya reaktif yang dihasilkan adalah 13,780 kVAR. Jadi besardaya reaktif yang di kompensasikan atau diberikan kapasitor adalah 61,523kVAR dan penghematan biaya rekening listrik perbulannya yaitu Rp.2.214.828,

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Edminister, J.A.1997. *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Mukhlis Baso. 2011. *Evaluasi Penggunaan Listrik Pada Gedung di Lingkungan Universitas Tadulako*, Tugas Akhir, UNTAD. PALU.
- [3] Pabla AS & Abdul Hadi. 1994. *Sistem Distribusi Rangkaian Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- [4] Parton & Watkins. 1998. *Pehitungan Instalasi Listrik Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- [5] Parton & Watkins. 1998. *Pehitungan Instalasi Listrik Jilid 2* . Jakarta: Erlangga
- [6] Parton & Watkins. 1999. *Pehitungan Instalasi Listrik Jilid 3*. Jakarta: Erlangga.
- [7] Puput Hendro Prasetyo.2006. *Evaluasi Pemakaian Energi Listrik Pada Gedung A Universitas Muhammadiyah Surakarta*,Tugas Akhir, UMS. Surakarta.
- [8] Rahmadani, Mohamad. 2008. *Rangkaian Listrik*,Jakarta : Erlangga.
- [9] Salpanio Ricky. 2007. *Audit Energi Listrik Pada Gedung Kampus UNDIP Pleburan Semarang*, Tugas Akhir, UNDIP. Semarang.
- [10] Theraja BL. *A text Book Elektrical Teknology*, New Delhi : Nirja Construksion & Development Co.(P) Ltd.
- [11] William H. Hayt Jr, Jack E Kemmerly. 1990. *Rangkaian Listrik*. Jakarta : Erlangga
- [12] Zuhail. 2000. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.