

TUGAS AKHIR

ANALISA PERBAIKAN FAKTOR DAYA DENGAN MENGUNAKAN KAPASITOR BANK

Diajukan untuk memenuhi tugas-tugas dan syarat-syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh :

MUHAMMAD ILHAM

NPM : 1307220067



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

ABSTRAK

Energi listrik setiap tahunnya mengalami peningkatan kebutuhan yang sangat signifikan dan menurut penyedia tegangan listrik untuk memberikan suplai tenaga listrik yang cukup berkualitas. Peningkatan kebutuhan energi juga di ikuti dengan permintaan daya reaktif akibat beban yang bersifat induktif juga meningkat. PT. Pacific Medan Industri 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 PT. Pacific Medan Industri. Dari data dan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat di simpulkan bahwa, nilai daya reaktif sebelum kompensasi adalah 570,06 kVAR dan setelah kompensasi adalah 97,765 kVAR. Adapun besar daya reaktif yang di kompensasi atau di berikan kapasitor adalah 472,295 kVAR. kapasitas kapasitor di PT. Pacific Medan Industri dengan pemasangan kapasitor hubung bintang adalah 26,58 μF / fasa. Adapun perhitungan rekening listrik pada bulan juni 2017 yaitu Rp 510.688.560,-.

Kata kunci : Daya reaktif, kapasitor bank

ABSTRACT

Electrical energy every year has increased a very significant requirement and according to the providers of electrical voltage to provide sufficient quality power supply. Increased energy requirements are also followed by demand for reactive power due to inductive loads also increased. PT. Pacific Medan Industry is one of the main users of inductive loads, because almost every room there are inductive loads installed including AC, electric motors and energy saving lamps (SL & TL). In this paper, the author tries to briefly describe the utilization of Bank Capacitors used in PT. Pacific Medan Industry. From the data and research results that have been done then it can be concluded that, the value of reactive power before compensation is 570,06 kVAR and after compensation is 97,765 kVAR. The large reactive power in the compensation or the given capacitor is 472,295 kVAR. capacitor capacity at PT. Pacific Medan Industry with installation of star-connected capacitors is 26.58 μF / phase. The calculation of electricity bills in June 2017 is Rp 510.688.560, -.

Keywords: *Reactive power, Bank capacitor*

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum wr.wb

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “ ***Analisa Perbaikan Faktor Daya Dengan Menggunakan Kapasitor Bank*** ”.

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

1. Ayahanda dan Ibunda serta Abangda dan Kakanda tersayang, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. Bapak Rahmatullah, ST, MSc. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST, S.Pd, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Bapak Partaonan Harahap, ST. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro.

5. Bapak Ir. Eddy Warman, MT. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir.
6. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST, S.Pd, MT. Selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Ibu Noorly Evalina, ST, MT. Selaku Dosen Pembimbing I.
8. Bapak Indra Roza, ST, MT. Selaku Dosen Pembimbing II.
9. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Teman-teman sejawat dan seperjuangan Fakultas Teknik, khususnya Program Studi Teknik Elektro angkatan 2013 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

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

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

Wassalamu'alakum wr.wb

Medan, Oktober 2017
Penulis

Muhammad Ilham
1307220067

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGHANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penulisan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penulisan	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Kajian Pustaka Relevan	6
2.2. Umum	7
2.2.1. Daya	8
2.2.2. Faktor Daya	11
2.3. Beban Listrik	19
2.3.1. Beban Resistif.....	20
2.3.2. Beban Induktif	21
2.3.3. Beban Kapasitif	22

2.4. Kapasitor Bank	24
2.4.1. Prinsip Kerja Kapasitor	24
2.4.2. Jenis – jenis Kapasitor	25
2.4.2.1. Kapasitor Seri	26
2.4.2.2. Kapasitor Shunt	28
2.4.3. Metode Kompensasi Daya.....	31
2.4.3.1 Kompensasi Tetap	31
2.4.3.2. Kompensasi Otomatis.....	31
2.4.4. Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank.....	31
2.5. Perhitungan Daya Reaktif.....	34
2.5.1 Metode Perhitungan Biasa.....	34
2.5.2. Metode Tabel Kompensasi	35
2.5.3. Metode Diagram	35
2.5.4. Metode Kwitansi PLN.....	36
2.5.5. Metode Segitiga Daya	36
2.6. ETAP	36
2.6.1. Elemen AC Proteksi Sistem Tenaga Listrik	39
2.6.1.1. Elemen-elemen AC Di ETAP.....	40
2.6.2. Elemen-elemen Di ETAP	42
2.6.3. Elemen Aliran Daya	42
2.6.4. Elemen Hubung Singkat.....	43
2.6.4.1. Memberi Gangguan Pada Bus	43

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	47
3.1. Lokasi Penelitian	47
3.2. Peralatan Penelitian	47
3.3. Data Penelitian.....	48
3.3.1. Beban Penerangan	48
3.3.2. Beban Motor	48
3.3.3. Beban Elektronika	48
3.4. Proses Jalannya Penelitian.....	49
BAB IV. ANALISA DAN HASIL	51
4.1. Perhitungan Daya Terpasang	51
4.2 Perhitungan Nilai Ekonomis Penggunaan Kapasitor Bank	52
4.2.1. Perhitungan Sebelum Pemasangan Kapasitor Bank	53
4.2.2. Perhitungan Sesudah Penggunaan Kapasitor Bank	54
4.3. Perhitungan Kapasitas Kapasitor Bank	55
4.4. Perhitungan Rekening Listrik Pada PT. Pacific Medan Industri...	56
4.5. Analisa Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Penggunaan kapasitor	57
BAB V. PENUTUP.....	58
5.1. Kesimpulan.....	58
5.2. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Perbandingan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor Bank ... 57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Vektor Segitiga Daya	10
Gambar 2.2. Rangkaian Dan Diagram Faktor	15
Gambar 2.3. Faktor Daya Leading.....	18
Gambar 2.4. Segitiga Daya Untuk Beban Kapasitif	18
Gambar 2.5. Faktor Daya Lagging.....	19
Gambar 2.6. Segitiga Daya Untuk Beban Induktif	19
Gambar 2.7. Rangkaian Dan Vektor Resistif.....	20
Gambar 2.8. Grafik Sinusoidal Resistif	21
Gambar 2.9. Rangkaian Dan Vektor Induktif.....	21
Gambar 2.10. Arus, Tegangan Dan GGL Induksi Pada Beban Induktif .	22
Gambar 2.11. Rangkaian Dan Vektor Kapasitif	23
Gambar 2.12. Arus, Tegangan Dan GGL Induksi Pada Beban Kapasitif	23
Gambar 2.13. Kontruksi Kapasitor	24
Gambar 2.14. Prinsip Kerja Kapasitor	25
Gambar 2.15. Rangkaian Kapasitor Hubungan Seri	26
Gambar 2.16. Rangkaian Dan Vektor Pemasangan Kapasitor Seri	27
Gambar 2.17. Rangkaian Dan Vektor Pemasangan Kapasitor Shunt	29
Gambar 2.18. Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank	32
Gambar 2.19. Diagram Daya Untuk Menentukan Daya Kapasitor	35
Gambar 2.20. Tampilan Layar Pada ETAP	38
Gambar 2.21. Komponen Elemen AC Pada ETAP	40
Gambar 2.22. Simbol Transformator 2 Kawat Di ETAP.....	40
Gambar 2.23. Simbol Generator Di ETAP	40

Gambar 2.24. Simbol Beban Statis Dan Dinamis Di ETAP.....	41
Gambar 2.25. Simbol Pemutus Rangkaian Di ETAP	41
Gambar 2.26. Simbol Bus Di ETAP.....	42
Gambar 2.27. Toolbar <i>Load Flow</i> Di ETAP.....	42
Gambar 2.28. Toolbar <i>Short Circuit</i> Di ETAP	44
Gambar 2.29. Toolbar <i>Short Circuit</i> ANSI Standart Di ETAP	44
Gambar 2.30. Toolbar <i>Short Circuit</i> IEC Standart Di ETAP	45
Gambar 3.1. Diagram Air Penyusunan Tugas Akhir	50
Gambar 4.1. Tegangan Dan Arus Pada Indikator	51
Gambar 4.2. Kapasitor Hubungan Bintang	55
Gambar 4.3. Kompensasi Daya	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 suatu 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.

PT. Pacific Medan Industri merupakan salah satu pengguna beban induktif yang cukup besar, karena hampir disetiap ruangan terdapat beban-beban induktif yang terpasang seperti Mesin-mesin Industri, AC, lampu hemat energi (SL dan TL), penggunaan komputer serta mesin foto copy. Dengan daya terpasang dari PLN sebesar 250 kVA dan kapasitas *transformator* 3 phasa 100 KVA 20 kV / 400 V yang mensuplay di dalam gedung yang terdapat di PT. Pacific Medan Industri.

Dalam penyaluran energi listrik ada beberapa masalah yang dihadapi antara lain jatuh tegangan, faktor daya yang rendah dan rugi-rugi daya, seperti penelitian sebelumnya, Yudi Indrawan 2015. Penggunaan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor 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.

Maka penulis akan menganalisa faktor daya dengan menggunakan kapasitor bank dan akan di simulasikan di *Software* ETAP.

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Berapa besar faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan di PT. Pacific Medan Industri ?
2. Bagaimana cara menghitung besar ukuran kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya di PT. Pacific Medan Industri ?
3. Bagaimana cara kerja *Software* ETAP sebagai simulasi pemakaian kapasitor bank untuk memperbaiki faktor daya.

1.3. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan di PT. Pacific Medan Industri.
2. Mengetahui nilai Kapasitor (kVAR) yang dibutuhkan pada jaringan listrik di PT. Pacific Medan Industri.
3. Mengetahui cara kerja simulasi perbaikan kapasitor bank pada *software* ETAP

1.4. Batasan Masalah

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

1. Perhitungan faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan di PT. Pacific Medan Industri.
2. Perhitungan kebutuhan kapasitor bank untuk memperbaiki faktor daya di PT. Pacific Medan Industri.
3. Penggunaan *SoftWare* ETAP untuk simulasi hasil kapasitor bank.

1.5. Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dari penulisan tugas tugas akhir ini adalah :

1. Untuk Ilmu Pengetahuan, menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang 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 jaringan listrik yang digunakan oleh PT. Pacific Medan Industri.

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 II 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 III METODE PENELITIAN

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

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

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

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan 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 teerdahulu telah dilakukan.

1. Penelitian tentang perbaikan profil tegangan menggunakan kapasitor shunt, dalam penelitian tersebut menyimpulkan bahwa pada pemasangan kapasitor bank pada sebesar 2700 KVAR pada jarak 34022 Km dari sumber menyebabkan kenaikan tegangan $\pm 15\%$ pada bus yang memiliki tegangan paling rendah (Bus 97 A) 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. Eastren 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. 119.917.989,57-/bulan. (tunggulungan, 2010)

2.2. Umum

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt. Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Piranti mengkonversikan kerja ini ke dalam berbagai bentuk yang berguna, seperti panas (seperti pada pemanas listrik), cahaya (seperti pada bola lampu), energi kinetik (motor listrik), dan suara (*loudspeaker*). Listrik dapat diperoleh dari pembangkit listrik atau penyimpan energi seperti baterai.

Listrik Arus bolak-balik (AC) adalah arus listrik dimana besarnya dan arahnya arus berubah-ubah secara bolak-balik. Berbeda dengan listrik arus searah dimana arah arus yang mengalir tidak berubah-ubah dengan waktu. Bentuk gelombang dari listrik arus bolak-balik biasanya berbentuk gelombang sinusoidal, karena ini yang memungkinkan pengaliran energi yang paling efisien. Namun dalam aplikasi-aplikasi spesifik yang lain, bentuk gelombang lain pun dapat digunakan, misalnya bentuk gelombang segitiga (*triangular wave*) atau bentuk gelombang segi empat (*square wave*).

Secara umum, listrik bolak-balik berarti penyaluran listrik dari sumbernya (misalnya PLN) ke kantor-kantor atau rumah-rumah penduduk. Namun ada pula contoh lain seperti sinyal-sinyal radio atau audio yang disalurkan melalui kabel, yang juga merupakan listrik arus bolak-balik. Di man aplikasi ini, tujuan utama

yang paling penting adalah pengambilan informasi yang termodulasi atau terkode di dalam sinyal arus bolak-balik tersebut.

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 746 Watt atau 1 bft/second. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik aktif dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt, sehingga besarnya daya dinyatakan :

$$P_{\text{aktif}} = V \times I \times \text{Cos}\phi \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Terdapat tiga macam daya listrik yang digunakan untuk menggambarkan penggunaan energi listrik, yaitu daya nyata atau daya aktif, daya reaktif serta daya semu atau daya kompleks (Sharma, 2007).

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 dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban resistif dan dinyatakan dalam satuan Watt (Sharma,2007).

$$P_{\text{aktif}} = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (2.2)$$

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 biasanya 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*).

$$Q = I^2 \cdot X \dots\dots\dots (2.3)$$

$$X = X_L - X_C \dots\dots\dots (2.4)$$

Diman : Q = 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, dimana :

$$S = P + jQ \dots\dots\dots (2.5)$$

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

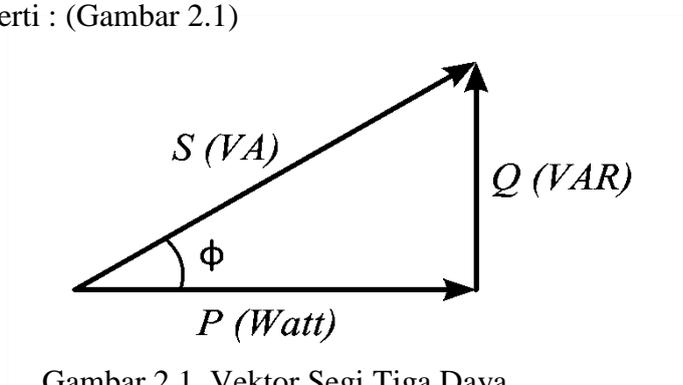
$$S = V \cdot I \dots\dots\dots (2.6)$$

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 2.1)



Gambar 2.1. Vektor Segi Tiga Daya

Dari Gambar 2.1 di atas, hubungan antara segi tiga daya dapat dinyatakan sebagai berikut :

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

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

$$P = V \cdot I \cos \phi \dots\dots\dots (2.9)$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

$$Q = V \cdot I \sin \varphi \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\cos \varphi = pf = \frac{P}{S} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

φ adalah sudut antara daya aktif dan daya kompleks S , sehingga $\cos \varphi$ didefinisikan sebagai faktor daya (*power factor*, *pf*). Untuk beban yang bersifat induktif, *pf* lagging di mana 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. 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 ?

Faktor daya ($\cos \varphi$) 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 $\cos \varphi$.

$$\text{Cos } \phi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana : Cos ϕ = 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.

$$\begin{aligned} \text{Tan } \phi &= Q / P \\ &= \text{kVAR} / \text{kW} \end{aligned}$$

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

$$Q = P \times \text{Tan } \phi$$

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

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

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

Sehingga rating kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah:

$$Q = P \times (\text{Tan } \phi_1 - \text{Tan } \phi_2)$$

Beberapa keuntungan meningkatkan faktor daya :

1. Tagihan listrik akan menjadi kecil (PLN akan memberikan denda jika *pf* lebih kecil dari 0,85).
2. Kapasitas distribusi sistem 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 karen jatuh tegangan (*voltage drops*)

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 :

$$\text{Kelebihan pemakaian kVARH} = [B - 0,62 (A_1 + A_2)] Hk \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

B = Pemakaian kVARH

A₁ = Pemakaian kWH WPB

A₂ = Pemakaian kWH LWBP

Hk = Harga kelebihan pemakaian kVARH

a. Penyebab rendahnya faktor daya

Pada umumnya faktor daya rendah disebabkan oleh :

1. Banyak pemakaian 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 faktor daya rendah.

b. Kerugian akibat faktor daya rendah

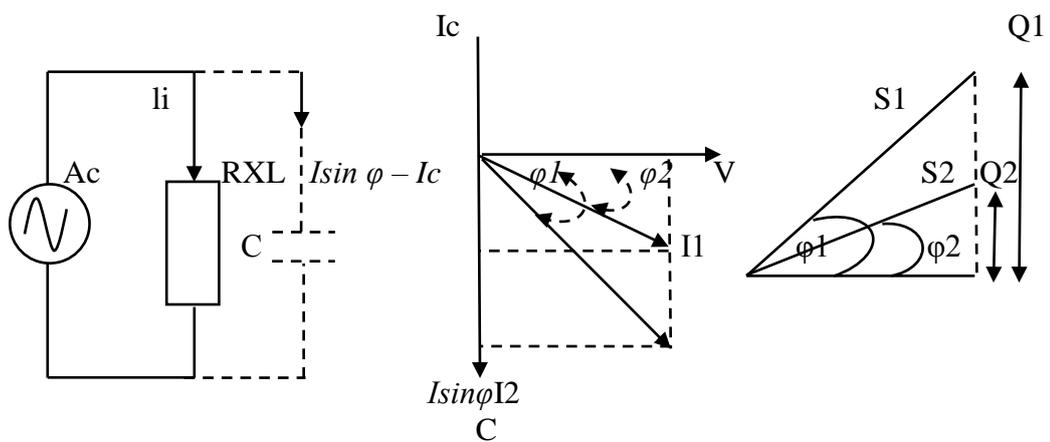
Faktor daya yang rendah akan menimbulkan kerugian antara lain :

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 dari pada 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 2.2 Rangkaian Dan Diagram Faktor

Keterangan gambar :

ϕ_1 dan ϕ_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

Q_1 dan Q_2 = Daya reaktif 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)

$$Q_1 = P \tan \phi_1 \dots\dots\dots (2.15)$$

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

$$Q_2 = P \tan \phi_2 \dots\dots\dots (2.16)$$

Besar daya reaktif yang dikompensasikan atau diberikan kapasitor adalah :

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \dots\dots\dots (2.17)$$

$$Q_c = P (\tan\phi_1 \text{ dan } \tan \phi_2) \dots\dots\dots (2.18)$$

Besar kapasitansi kapasitor adalah :

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$Q = \frac{V^2}{2\pi f C} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$C = \frac{V^2}{2\pi f Q} \dots\dots\dots (2.21)$$

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 (*primer 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 efisiensi motor. Meskipun dengan energi efisiensi motor, bagaimanapun faktor daya dipengaruhi oleh beban yang variatif. 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 :

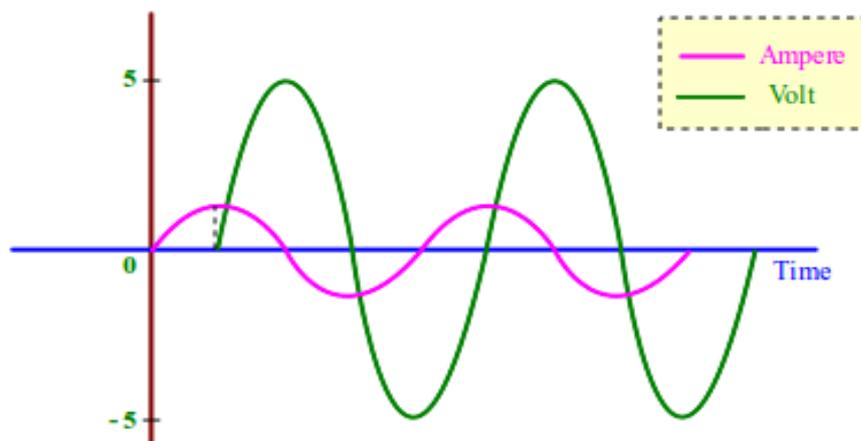
1. Kapasitor, dengan jenis yang cocok dengan kondisi jaringan.
2. Regulator, dengan pengaturan daya tumpuk kapasitor (*Capasitor Bank*).
3. Kontaktor, untuk *switching* kapasitor.
4. Pemutus tenaga, untuk proteksi tumpuk kapasitor.

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.

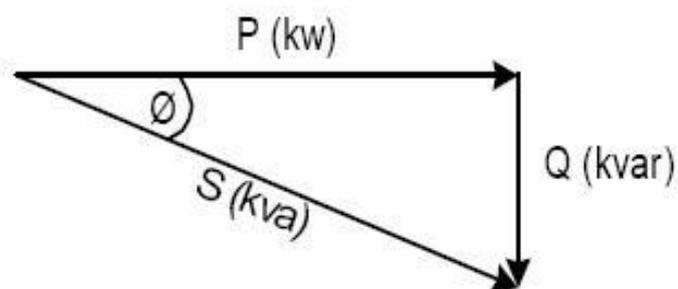
faktor daya terdiri dari dua sifat yaitu faktor daya “ *leading* ” dan faktor daya “ *lagging* “. Faktor daya ini memiliki karakteristik seperti berikut :

1. Faktor Daya “leading”

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



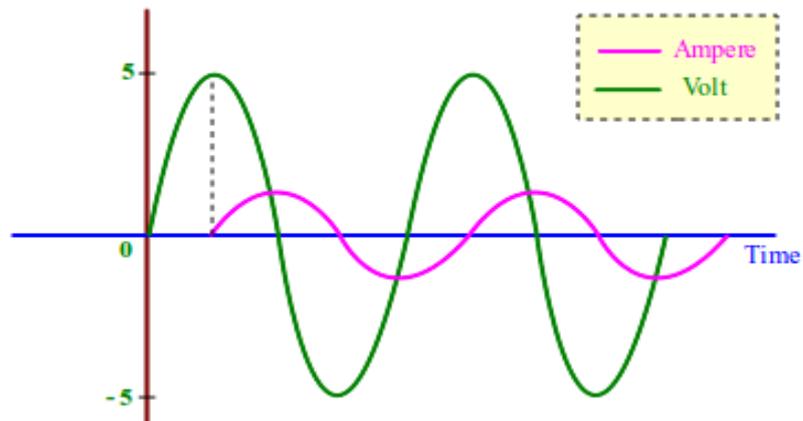
Gambar 2.3. Faktor Daya “Leading”



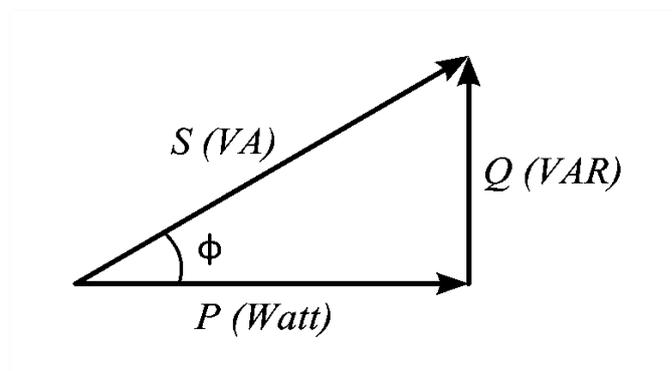
Gambar 2.4. Segi Tiga Daya Untuk Beban Kapasitif

2. Faktor Daya “lagging”

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



Gambar 2.5. Faktor Daya “Lagging”



Gambar 2.6. Segi Tiga Daya Untuk Beban Induktif

2.3. Beban Listrik

Dalam suatu rangkaian listrik selalui 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 induktor tersebut akan *short circuit*. Reaktansi kapasitif (X_C) akan menjadi tak terhingga

yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan *open circuit*. 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 resistor murni, contoh : lampu pijar, pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif (W) dan tidak menyerap daya reaktif (VAR) sama sekali. Tegangan dan arus se-fasa. Secara matematis dinyatakan :

$$V = V_m \cdot \cos \omega.t$$

$$V = I \cdot R$$

Maka arus yang mengalir dalam rangkaian tersebut adalah :

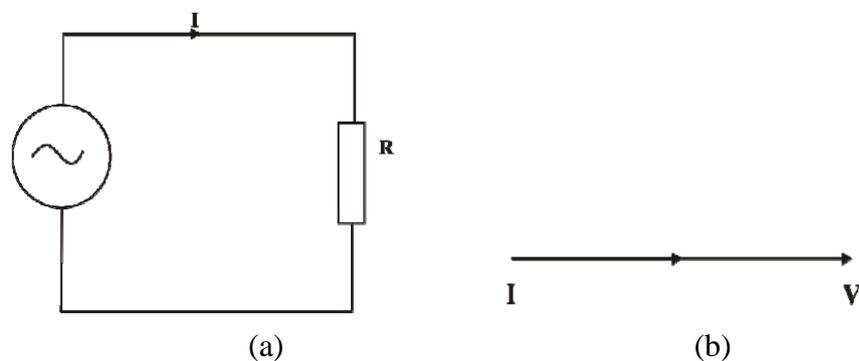
$$I = I_m \cdot \cos \omega.t$$

Dimana :

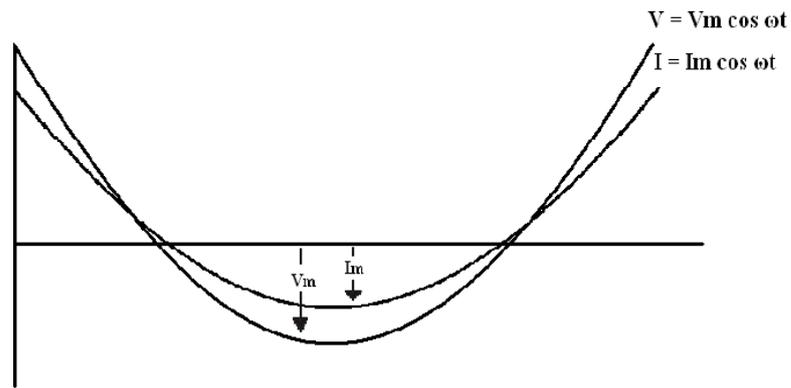
$$I_m = \frac{V_m}{R}$$

Dikatakan arus dan tegangan sefasa (mempunyai fasa yang sama)

$$R = V / I \quad \dots\dots\dots (2.22)$$



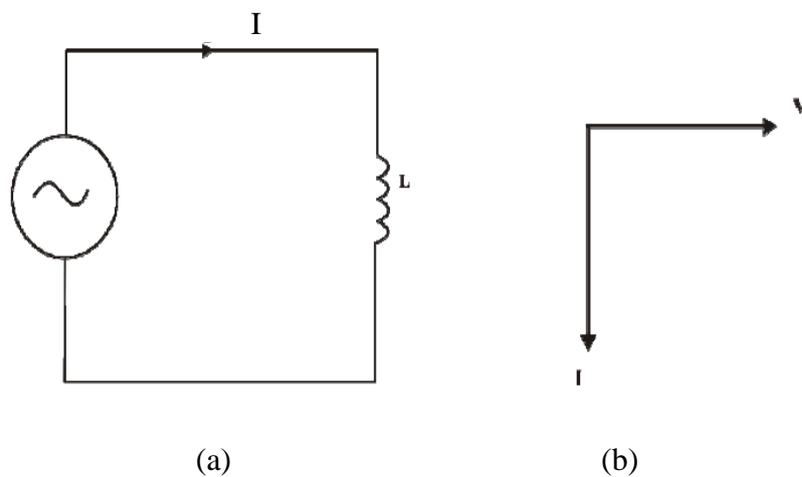
Gambar 2.7 Rangkaian Dan Vektor Resistif
a. Rangkaian resistif
b. Vektor resistif



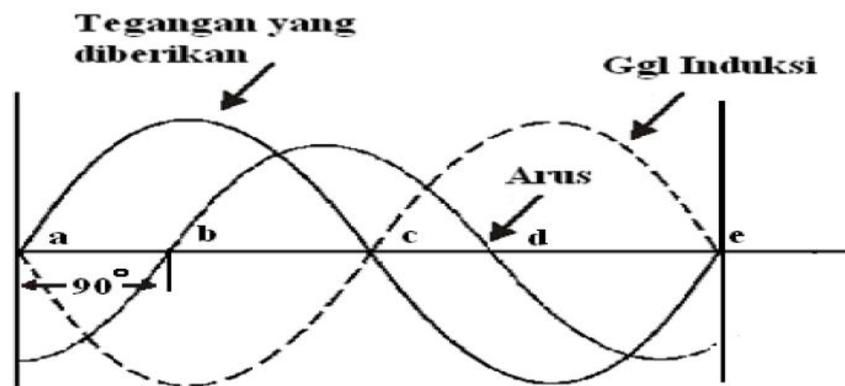
Gambar 2.8 Grafik Sinusoidal Resistif

2.3.2. 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. 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 (W) dan daya reaktif (VAR). Tegangan mendahului arus sebesar ϕ^0 .



Gambar 2.9. Rangkaian Dan Vektor Induktif
 a. Rangkaian induktif
 b. Vektor induktif



Gambar 2.10. Arus, Tegangan Dan GGL Induksi Pada Beban Induktif

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

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

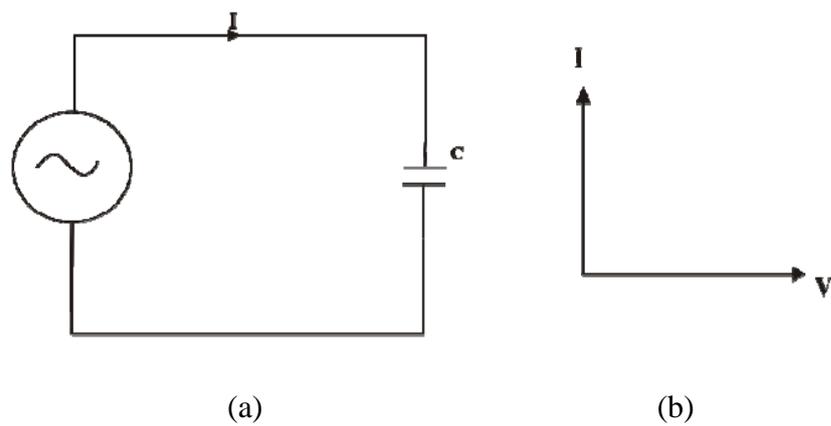
X_L = Reaktansi Induktif

F = Frekuensi (Hz)

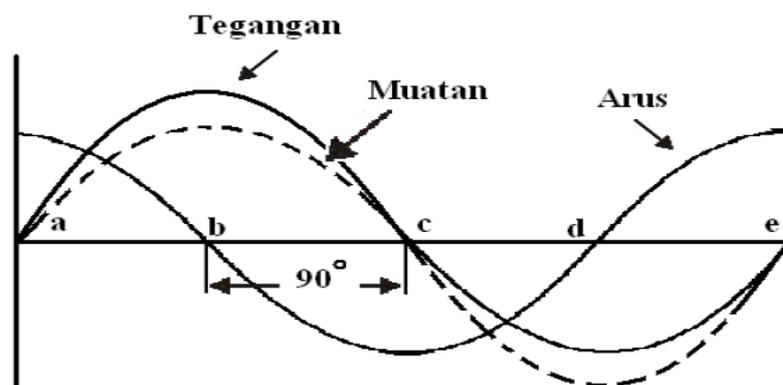
L = Induktansi (Henry)

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 sebesar ϕ^0 . Beban jenis ini menyerap daya aktif (W) dan mengeluarkan daya reaktif (VAR).



Gambar 2.11. Rangkaian Dan Vektor Kapasitif
 a. Rangkaian kapasitif
 b. Vektor kapasitif



Gambar 2.12. Arus, Tegangan Dan GGL Induksi Pada Beban Kapasitif

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

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

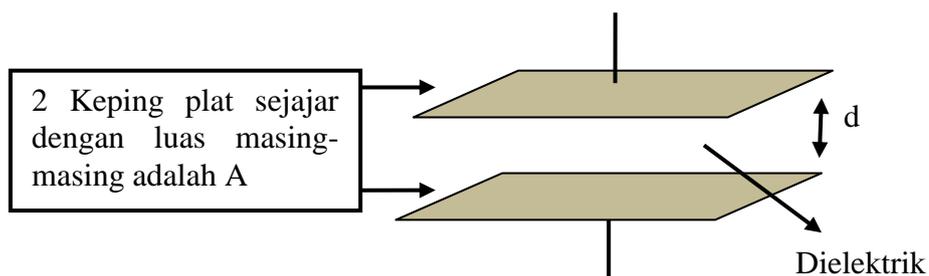
X_C = Reaktansi kapasitif

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 2.13. Kontruksi 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 *transfomer testing*, *generator impuls*, *voltage divider kapasitor*

2.4.1. Prinsip Kerja Kapasitor

Bila dua buah benda bermuatan dan berlainan tanda yang dipisahkan oleh suatu beban 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.

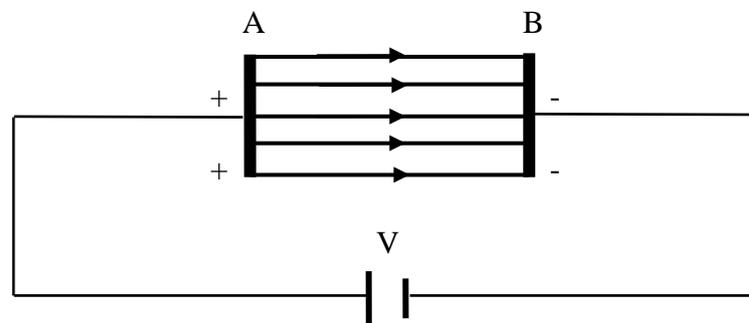
$$C = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

C = Kapasitansi (Farad)

Q = Muatan listrik (Coloumb)

V = Beda potensial (Volt)



Gambar 2.14. Prinsip Kerja Sebuah Kapasitor

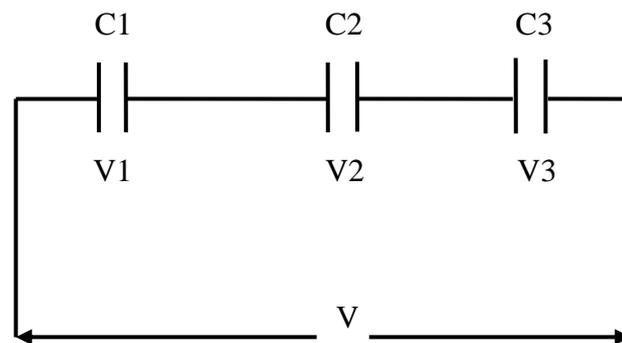
Bila plat A dan B diberi beda potensial V maka akan mengalir arus melalui beban dielektrik pada waktu yang relatif singkat. Bahan dielektrik secara perlahan-lahan akan terpolarisasi. Setelah muatan negatif mengalir dari plat A akan bermuatan positif dan elektron-elektron akan terkumpul pada plat B. sehingga 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 pemasanganya terdiri dari :

2.4.2.1 Kapasitor Seri

Yang dimaksud dengan kapasitor seri adalah kapasitor yang terhubung secara seri dengan jala-jala listrik. Bentuk fisik kapasitor seri ini tidak berbeda dengan kapasitor Shunt (yaitu kapasitor yang terhubung paralel dengan jala-jala listrik). Walaupun perbedaan kapasitor seri dengan shunt hanya pada masalah hubungan pada jala-jala listrik, akan tetapi keduanya mempunyai fungsi yang berbeda.



Gambar 2.15 Rangkaian Kapasitor Hubungan Seri

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

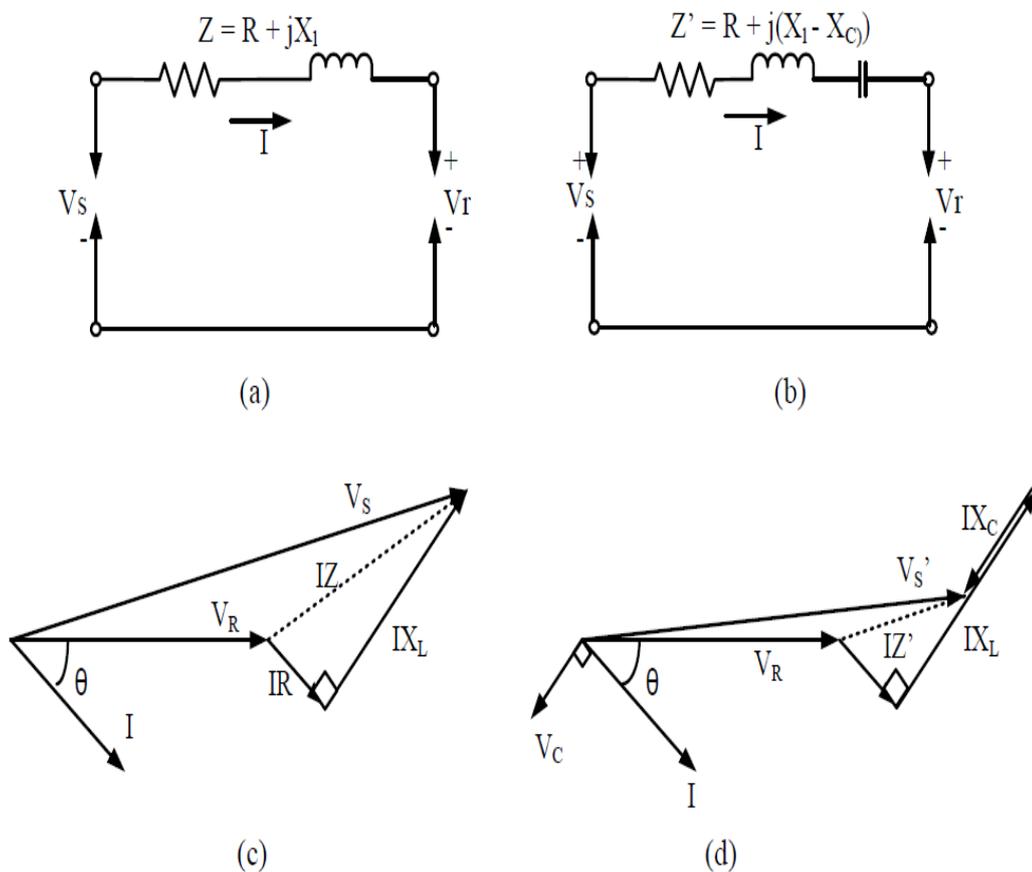
$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \dots\dots\dots (2.26)$$

Suatu kapasitor 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 sesuai dengan perubahan arus. Dengan demikian kapasitor seri dapat juga dianggap sebagai suatu pengatur 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.

Jadi secara umum dapat dikatakan bahwa biaya untuk pemasangan kapasitor seri lebih mahal dari pada biaya pemasangan kapasitor paralel.



Gambar 2.16. Rangkaian Dan Vektor Pemasangan Kapasitor Seri
 a. Rangkaian dari suatu penyulang
 b. Rangkaian yang di pasang kapasitor seri
 c. Diagram fasor dari suatu penyulang
 d. Diagram fasor hasil pemasangan kapasitor seri

Gambar 2.16 (a) adalah rangkaian satu garis dari suatu penyulang, sedangkan gambar 2.16 (c) adalah diagram fasornya. Bila pada penyulang tersebut

diujung penerimanya dipasang kapasitor bank (seri), maka bagan satu garisnya akan terlihat seperti pada gambar 2.16 (b) dan fasor diagramnya seperti pada gambar 2.16 (d).

Pada gambar 2.16 (a) dan 2.16 (c), jatuh tegangan pada penyulang tersebut dapat dinyatakan secara pendekatan sebagai berikut :

$$VD = IR \cos \theta + IX_L \sin \theta \dots\dots\dots (2.27)$$

Dari gambar 2.16 (b) dan 2.16 (d), hasil jatuh tegangan akibat dipasangnya kapasitor seri dapat dihitung sebagai berikut :

$$VD = IR \cos \theta + I(X_L - X_C) \sin \theta \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana :

R = Tahanan dari penyulang (Ω)

X_L = Reaktansi induktif penyulang (Ω)

X_C = Reaktansi kapasitif dari kapasitor seri (Ω)

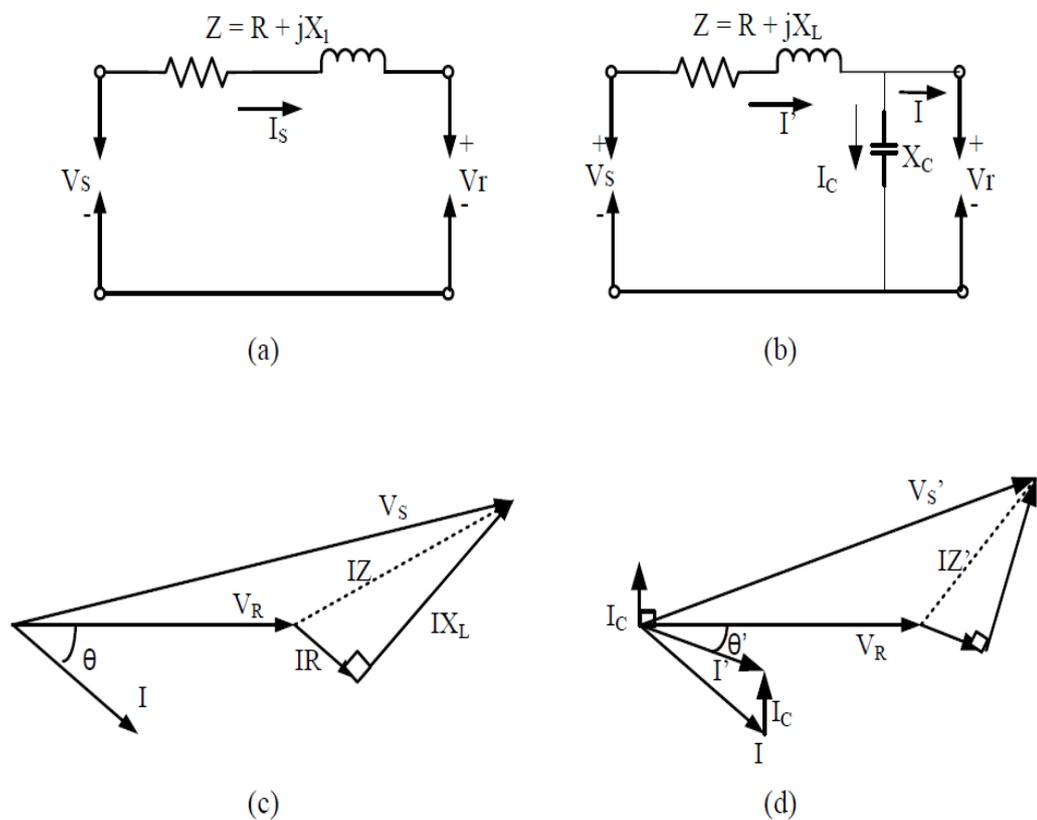
2.4.2.2 Kapasitor Shunt

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

Kapasitor shunt adalah kapasitor yang pemasangannya dihubungkan paralel dengan saluran dan secara luas digunakan pada sistem distribusi. Kapasitor shunt mencatu daya reaktif atau arus yang menentang komponen arus beban induktif. Gambar 2.17 (a) merupakan rangkaian suatu penyulang tanpa kapasitor shunt, dan fasor diagramnya dilihat pada gambar 2.17 (c). Gambar 2.17 (b) dan 2.17 (d) masing-masing menggambarkan rangkaian satu garis dan fasor diagram bila saluran tersebut dipasang kapasitor shunt di ujung saluran.



Gambar 2.17 Rangkaian Dan Vektor Pemasangan Kapasitor Shunt
 a. Rangkaian suatu penyulang
 b. Rangkaian yang dipasang kapasitor shunt
 c. Diagram fasor dari suatu penyulang
 d. Diagram fasor hasil pemasangan kapasitor shunt

Sebelum kapasitor shunt dipasang pada ujung saluran, jatuh tegangan pada penyulang tersebut dapat dihitung :

$$VD = IR \cos \theta + IX_L \sin \theta \dots\dots\dots (2.29)$$

Atau

$$VD = (I \cos \theta)R + (I \sin \theta) X_L \dots\dots\dots (2.30)$$

Atau

$$VD = I_R R + I_X X_L \dots\dots\dots (2.31)$$

Bila kapasitor dipasang pada ujung penerima dari saluran, seperti yang terlihat pada gambar 2.17 (b) dan (d), secara pendekatan jatuh tegangan sekarang menjadi :

$$VD = I_R R + I_X X_L - I_C X_L \dots\dots\dots (2.32)$$

Perubahan jatuh tegangan sebelum dan sesudah dipasangnya kapasitor shunt dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$VD = I_C X_L \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana :

R = Tahanan total dari sirkuit penyulang

X_L = Reaktansi induktif total dari penyulang

I_R = Komponen arus aktif

I_X = Komponen arus reaktif lagging

I_C = Komponen arus reaktif leading

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

$$C \text{ sebenarnya} = C \text{ rating} \left\{ \frac{\text{Tegangan Operasi}}{\text{Tegangan Rating}} \right\}^2 \dots\dots\dots (2.34)$$

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

$$C \text{ sebenarnya} = C \text{ ranting} \left[\frac{\text{Frekuensi Operasi}}{\text{Frekuensi rating}} \right] \dots\dots\dots (2.35)$$

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_{in}) lebih kecil dari 15 %

2.4.3.2 Kompensasi Otomatis

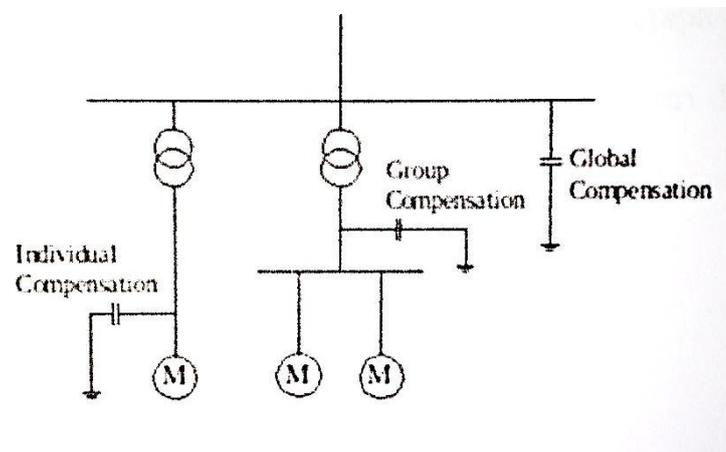
Jika perbandingan daya reaktif yang diperlukan (Q_C) dengan daya trafo (S_{in}) melebihi 15% sebaiknya dipasang kompensasi otomatis. Juga jika perubahan beban agak besar, padahal faktor daya diinginkan selalu berada pada nilai tertentu, hal ini dapat dilakukan dengan pemasangan regulator.

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. *Individual compensation*

3. Group compensation



Gambar 2.18. 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 memeberikan 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 dibandingkan 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 :

$$S = P / \text{Cos } \theta_1 \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana :

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

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

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

$$Q_L = P \text{ Tan } \theta_1 \dots\dots\dots (2.37)$$

$$Q_B = P \text{ Tan } \theta_2 \dots\dots\dots (2.38)$$

Dimana :

Q_L = Daya reaktif *pf* lama (kVAR)

Q_B = Daya reaktif *pf* baru (kVAR)

Daya reaktif yang dikompensasi oleh *capasitor bank* adalah :

$$Q_C = Q_L - Q_B \dots\dots\dots (2.39)$$

Dimana :

Q_C = Daya yang dikompensasi kapasitor (kVAR)

Q_L = Daya reaktif *pf* lama (kVAR)

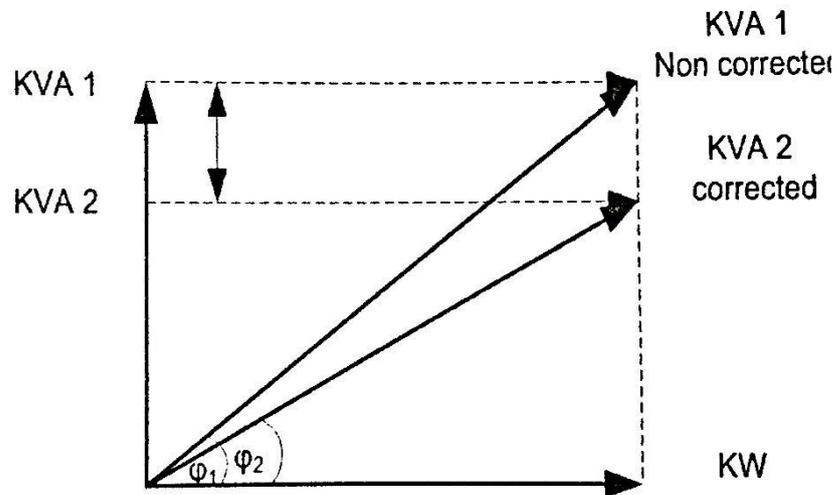
Q_B = Daya reaktif *pf* baru (kVAR)

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 $\cos \theta_1$ 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 2.19)



Gambar 2.19. Diagram Daya Untuk Menentukan Daya Kapasitor

Sebelum ada perbaikan power Gambar 2.19 Diagram daya untuk menentukan daya kapasitor faktor, dengan θ_1 dan setelah dilakukan perbaikan sesuai yang diinginkan ditunjukkan dengan θ_2 . Maka besar daya kapasitor yang diperlukan adalah :

$$Q_C = kW [\text{Tan}\theta_1 - \text{Tan}\theta_2] \dots\dots\dots (2.40)$$

2.5.4 Metode Kwitansi PLN

Metode 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.

$$Q_C = \frac{kVarh}{waktu}$$

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.

2.6. ETAP

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen

energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik, (Awaluddin, 2007).

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, *transient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

Etap Power Station memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar single line diagram/diagram satu garis. Program ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utama:

1. Virtual Reality Operasi

Sistem operational yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi real nya. Misalnya, ketika Anda membuka atau menutup sebuah sirkuit breaker, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan untuk kondisi *de-energized* pada suatu elemen dan sub-elemen sistem ditunjukkan pada gambar single line diagram dengan warna abu-abu.

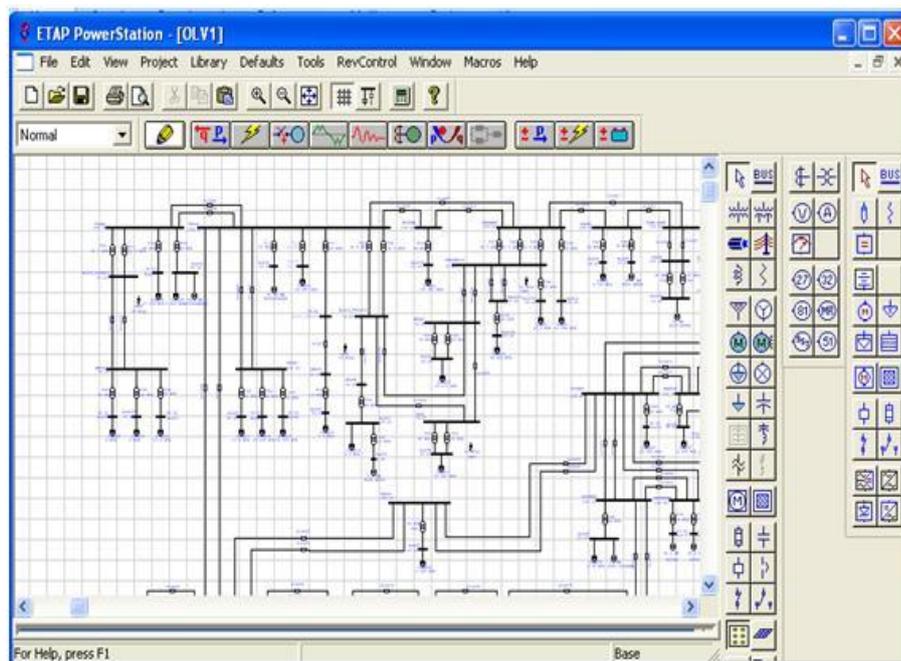
2. Total Integration Data

Etap Power Station menggabungkan informasi sistem elektrikal, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem database yang sama. Misalnya, untuk elemen sebuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisiknya, tapi juga memberikan

informasi melalui *raceways* yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (*load flow analysis*) dan analisa hubung singkat (*short-circuit analysis*) yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi serta perhitungan *ampacity derating* suatu kabel yang memerlukan data fisik routing.

3. Simplicity in Data Entry

ETAP Power Station memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses *entri* data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.



Gambar 2.20. Tampilan Layar Pada ETAP

ETAP PowerStation dapat melakukan penggambaran *single line* diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), *Motor starting*, *Harmonisa*, *Transient stability*, *Protective device coordination*, dan *Cable derating*.

ETAP PowerStation juga menyediakan fasilitas *Library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP PowerStation adalah :

- **One Line Diagram**, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- **Library**, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- **Standar yang dipakai**, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
- **Study Case**, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

2.6.1. Elemen AC Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Komponen elemen AC pada *software power station* ETAP dalam bentuk diagram satu garis ditunjukkan pada Gambar 2.21, kecuali elemen-elemen IDs, penghubung bus dan status. Semua data elemen AC dimasukkan dalam editor yang telah dipertimbangkan oleh para ahli teknik. Daftar seluruh elemen AC pada *software power station* ETAP ada pada *AC toolbar*.



Gambar 2.21 Komponen Elemen AC Pada ETAP

2.6.1.1 Elemen-elemen AC di ETAP

1. Transformator

Transformator 2 kawat sistem distribusi dimasukkan dalam *editor power station software* transformator 2 kawat pada *power station software* ETAP ditunjukkan Gambar 2.22.



Gambar 2.22. Simbol Transformator 2 Kawat Di ETAP

2. Generator

Generator sinkron sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam *editor power station* ETAP berupa rating KV, rating MW, dan mode kerja yang ditampilkan pada bagian atas informasi editor generator. Simbol generator sinkron pada *power station software* ETAP ditunjukkan pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23. Simbol Generator Di ETAP

3. Load

Beban listrik sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam *editor power station* ETAP berupa rated kV dan MVA yang ditampilkan pada bagian atas informasi editor load. Di ETAP terdapat dua macam beban, yaitu beban statis dan beban dinamis. Simbol generator sinkron pada *power station software* ETAP ditunjukkan pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24. Simbol Beban Statis Dan Dinamis Di ETAP

4. Pemutus Rangkaian

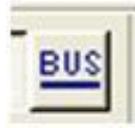
Merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek. Simbol pemutus rangkaian di ETAP ditunjukkan pada gambar 2.25.



Gambar 2.25. Simbol Pemutus Rangkaian Di ETAP

5. Bus

Bus AC atau *node* sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam *editor power station software* ETAP. Editor bus sangat membantu untuk pemodelan berbagai tipe bus dalam sistem tenaga listrik. Generator, motor dan beban statik adalah elemen yang dapat dihubungkan dengan beberapa bus yang diinginkan. Simbol bus pada *power station software* ETAP ditunjukkan Gambar 2.26.



Gambar 2.26. Simbol Bus Di ETAP

2.6.2 Elemen-elemen di ETAP

Suatu sistem tenaga terdiri atas sub-sub bagian, salah satunya adalah aliran daya dan hubung singkat. Untuk membuat simulasi aliran daya dan hubung singkat, maka data-data yang dibutuhkan untuk menjalankan program simulasi antara lain:

- Data Generator
- Data Transformator
- Data Kawat Penghantar
- Data Beban
- Data Bus

2.6.3 Elemen Aliran Daya

Program analisis aliran daya pada *software* ETAP dapat menghitung tegangan pada tiap-tiap cabang, aliran arus pada sistem tenaga listrik, dan aliran daya yang mengalir pada sistem tenaga listrik. Metode perhitungan aliran daya dapat dipilih untuk efisiensi perhitungan yang lebih baik. Metode perhitungan aliran daya pada *software* ETAP ada tiga, yaitu: Newton Raphson, Fast-Decouple dan Gauss Seidel.



Gambar 2.27. Toolbar *Load Flow* Di ETAP

Gambar dari kiri ke kanan menunjukkan *tool* dan *toolbar* aliran daya, yaitu:

- *Run Load Flow* adalah *icon toolbar* aliran daya yang menghasilkan atau menampilkan hasil perhitungan aliran daya sistem distribusi tenaga listrik dalam diagram satu garis.
- *Update Cable Load Current* adalah *icon toolbar* untuk merubah kapasitas arus pada kabel sebelum load flow di running
- *Display Option* adalah bagian tombol untuk menampilkan hasil aliran daya.
- *Alert* adalah *icon* untuk menampilkan batas kritis dan marginal dari hasil keluaran aliran daya sistem distribusi tenaga listrik.
- *Report Manager* adalah *icon* untuk menampilkan hasil aliran daya dalam bentuk report yang dapat dicetak.

2.6.4 Elemen Hubung Singkat

Short-Circuit Analysis pada Etap *Power Station* menganalisa gangguan hubung singkat tiga phasa, satu phasa ke tanah, antar phasa dan dua phasa ke tanah pada sistem tenaga listrik. Program *Short-Circuit Analysis* ETAP *Power Station* menghitung arus total hubung singkat yang terjadi. Etap *Power Station* menggunakan standar ANSI/IEEE (seri C37) dan IEC (IEC 909 dan lainnya) dalam menganalisa gangguan hubung singkat yang bisa dipilih sesuai dengan keperluan. Untuk memulai *Short-Circuit Analysis* maka *single line* diagram (SLD) sistem tenaga listrik digambarkan terlebih dahulu dengan memperhatikan komponen serta peralatan yang digunakan.

2.6.4.1 Memberi Gangguan Pada Bus

Untuk dapat melakukan analisa hubung singkat ini maka pada bus yang akan dianalisa harus diberi gangguan dengan cara pada bus yang diinginkan ada

gangguan di klik kanan setelah itu pilih *option fault*, jika ingin mengembalikan seperti semula pilih *option don't fault* (lihat gambar).



Gambar 2.28. *Toolbar Short Circuit* Di ETAP

Adapun *toolbar short circuit analysis* ada dua macam standar yang dipilih

1. **Toolbar ANSI Standard**



Gambar 2.29. *Toolbar Short Circuit ANSI Standar* Di ETAP

- 3-Phase *Fault Device Duty* : untuk menganalisa gangguan 3 phasa.
- 3-Phase *Faults- 30Cycle Network* : untuk menganalisa gangguan 3 phasa pada system dengan waktu 30 *cycle*.
- LG, LL, LLG, & 3-Phase *Faults - 1/2 Cycle*: untuk menganalisa gangguan satu phasa ke tanah , antar phasa, dua phasa ke tanah dan 3 phasa selama 1/2 *cycle*.
- LG, LL, LLG, & 3-Phase *Faults - 1.5 to 4 Cycle*: untuk menganalisa gangguan satu phasa ke tanah , antar phasa, dua phasa ke tanah dan 3 phasa antara 1,5 sampai 4 *cycle*.

- *LG, LL, LLG, & 3-Phase Faults - 30 Cycle*: untuk menganalisa gangguan satu phasa ke tanah , antar phasa, dua phasa ke tanah dan 3 phasa selama 30 *cycle*
- *Save Fault kA for PowerPlot*: untuk studi lebih lanjut dengan program *powerplot* yang berhubungan dengan koordinasi.
- *Short circuit Display Options*: untuk mengatur hasil *short circuit* yang ditampilkan sesuai dengan peralatan yang operasi.
- *Short circuit Report Manager*: untuk menampilkan hasil *short circuit*.
- *Halt Current Calculation*: untuk menghentikan proses *running short circuit*.
- *Get Online Data*: untuk menyalin data *online* jika computer *interkoneksi* dengan menggunakan PSM (*online feature*).
- *Get Archived Data*: untuk menyalin data *online* jika computer terinterkoneksi.

2. Toolbar IEC Standard



Gambar 2.30. *Toolbar Short Circuit IEC Standar Di ETAP*

- *3-Phase Faults - Device Duty (IEC909)*: untuk menganalisa gangguan 3 phasa sesuai standar IEC 909.
- *LG, LL, LLG, & 3-Phase Faults (IEC 909)* : untuk menganalisa gangguan satu phasa ke tanah , antar phasa, dua phasa ke tanah dan 3 phasa dengan standar IEC 909.
- *3-Phase Faults - Transient Study (IEC 363)*: untuk menganalisa gangguan satu phasa ke tanah , antar phasa, dua phasa ke tanah dan 3 phasa dengan standar IEC 363.

- *Save Fault kA for PowerPlot*: untuk studi lebih lanjut dengan program *powerplot* yang berhubungan dengan koordinasi.
- *Short circuit Display Options*: untuk mengatur hasil *short circuit* yang ditampilkan sesuai dengan peralatan yang operasi.
- *Short circuit Report Manager*: untuk menampilkan hasil *short circuit*.
- *Halt Current Calculation*: untuk menghentikan proses *running short circuit*.
- *Get Online Data*: untuk menyalin data *online* jika computer interkoneksi dengan menggunakan PSMS (*online feature*)
- *Get Archived Data*: untuk menyalin data online jika computer terinterkoneksi

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasidan Waktu Penelitian

Adapun lokasi penelitian dilaksanakan di PT. Pacific Medan Industri Jalan Pulau Nias Selatan KIM II, Desa sampali, kecamatan percut sei tuan, kabupaten Deli serdang, Provinsi Sumatera Utara, Kode Pos 20242.

3.2 Peralatan Penelitian

Adapun Peralatan penelitian yang digunakan oleh penulis dalam melaksanakan penelitian di Kantor Sumatera Megah Sentosa adalah sebagai berikut :

1. Laptop

Peralatan utama untuk melaksanakan penelitian ini adalah seperangkat laptop *Asus Intel Inside*, CPU Dual Core, LCD 14", HDD 500 GB, dan 2 GB of RAM, Version 2015. Alat ini digunakan untuk mengerjakan laporan Tugas Akhir, selain itu juga laptop dapat juga digunakan untuk berbagai keperluan computer seperti mengetik, mengelola data, online internet, dan juga dapat digunakan untuk menyimpan data (file, gambar, video, dan lain lainnya).

2. Flasdisk

Merk : *Kingstone*

Memory : 16 GB

Alat ini digunakan untuk menyimpan data, memindahkan file/data untuk keperluan dari laporan Tugas Akhir.

3. Modem

Merk : *STC/ TCT Mobile Limited QGV*, Maksimum download up to 3.1 Mbps & Upload up to 1,8 Mbps. Alat ini digunakan mencari berbagai macam data keperluan dari situs internet guna untuk melengkapi data-data dari tugas akhir.

3.3. Data Penelitian

Adapun data yang diperoleh dari hasil pelaksanaan penelitian ini adalah data beban dari keseluruhan gedung PT. Pacific Medan Industri Secara garis besar energi listrik di PT. Pacific Medan Industri digunakan untuk *mensuplay* beban seperti ini :

3.3.1. Beban Penerangan

- a. Lampu TL
- b. Lampu XL
- c. Lampu Pijar
- d. Lampu Merkuri

3.3.2. Beban Motor

- a. Mesin blow molding
- b. Mesin filling bottle
- c. Pompa Air

3.3.3. Beban Elektronika

- a. Komputer
- b. Mesin Foto Copy

- c. Proyektor
- d. Printer

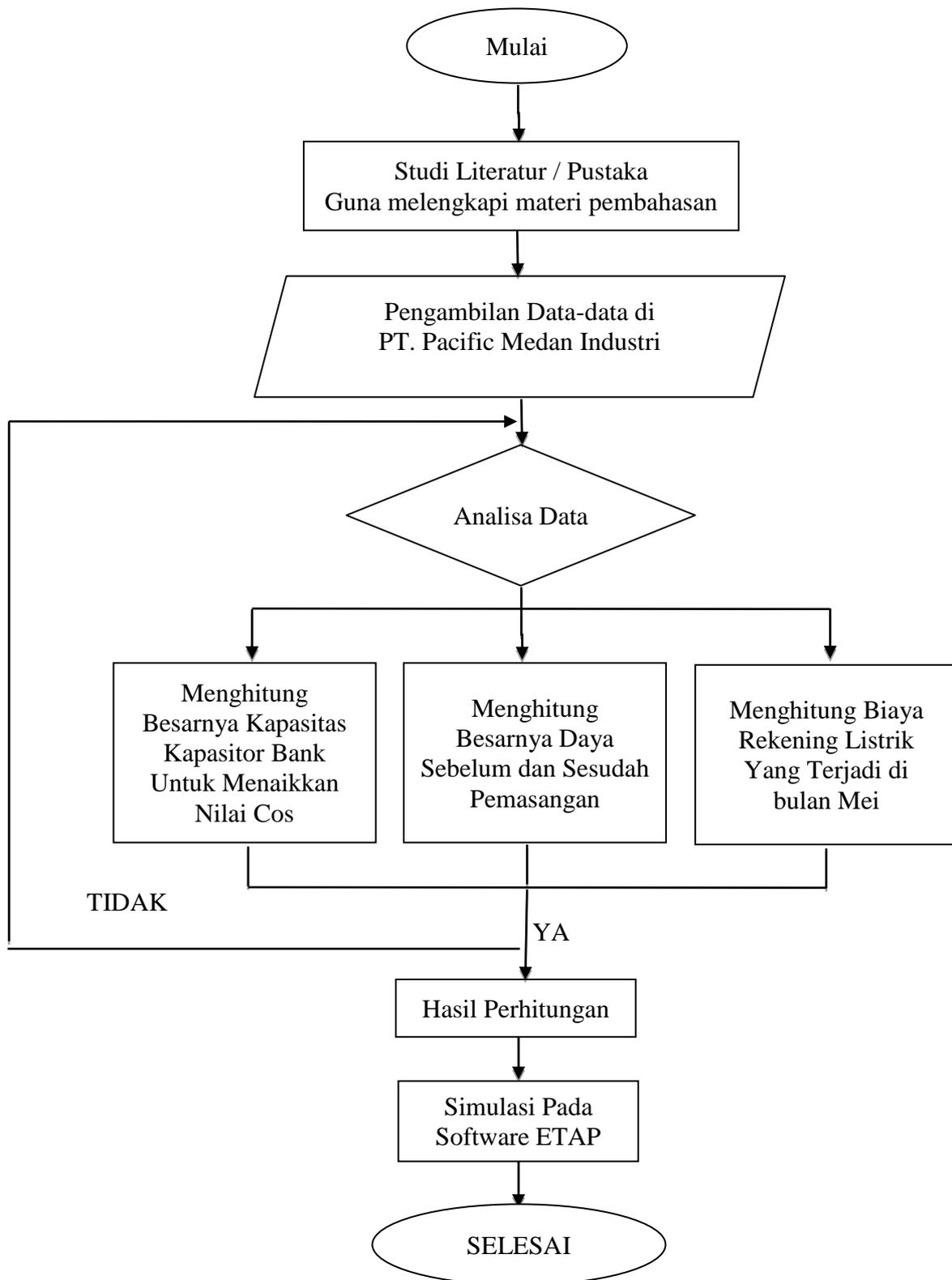
3.4 Proses Jalannya Penelitian

Penelitian dimulai pertama kali dengan merumuskan masalah yang akan dikaji dalam penelitian, dilanjutkan dengan studi kepustakaan untuk mendukung dan sebagai landasan pelaksanaan penelitian. Jalannya penelitian dilakukan dengan rumusan sebagai berikut :

1. Menghitung besarnya ukuran kapasitor yang dibutuhkan untuk mencapai faktor daya atau $\text{Cos } \phi$ yang diinginkan.
2. Menghitung besarnya daya reaktif di kompensasikan dengan cara mengurangi besarnya daya reaktif sebelum pemasangan kapasitor bank dengan daya reaktif setelah pemasangan kapasitor.
3. Menghitung biaya rekening listrik yang terjadi di bulan Mei di PT. Pacific Medan Industri.

Adapun proses berlangsungnya pelaksanaan penelitian ini dijelaskan dalam bentuk alur diagram alir berikut ini :

3.1 Flowchat Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Air Penyusunan Tugas Akhir

ANALISA DAN HASIL

4.1 Perhitungan Daya Terpasang

Dari pengamatan yang dilakukan pada PT. Pacific Medan Industri pada panel MDB (*Main Distribution Breaker*) pada saat kapasitor dinyalakan dengan $\text{Cos } \phi$ 0,99 dan daya dari PLN 250 kVA.



Gambar 4.1 Tegangan Dan Arus Pada Indikator

Keterangan :

$$I_R \text{ (Ampere)} = 526 \text{ A}$$

$$I_S \text{ (Ampere)} = 567 \text{ A}$$

$$I_T \text{ (Ampere)} = 595 \text{ A}$$

$$\text{Tegangan (Volt)} = 412 \text{ V}$$

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

- Daya aktif (P) :

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

Maka :

$$\begin{aligned} P_R &= V \times I_R \times \cos \varphi \\ &= 412 \times 526 \times 0,99 \\ &= 214544 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_S &= V \times I_S \times \cos \varphi \\ &= 412 \times 567 \times 0,99 \\ &= 231267 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_T &= V \times I_T \times \cos \varphi \\ &= 412 \times 595 \times 0,99 \\ &= 242688 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya keseluruhan} &= P_R + P_S + P_T \\ &= 214544 + 231267 + 242688 \\ &= 688499 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4.2 Perhitungan Nilai Ekonomis Penggunaan Kapasitor Bank

Data daya beban yang digunakan di PT. Pacific Medan Industri :

$$\text{Trafo} = 100 \text{ kVA}$$

$$\text{Daya aktif} = 688,499 \text{ kW.}$$

- Perhitungan pemakaian perbulan = Waktu pemakaian x Daya aktif

$$\begin{aligned} &= 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \times 688,499 \text{ kW} \\ &= 495719,28 \text{ kWh} \end{aligned}$$

- Perhitungan batas kVAR yang dibebaskan oleh PLN :

$$= 0,62 \times \text{Pemakaian perbulan}$$

$$= 0,62 \times 495719,28$$

$$= 307.345,96 \text{ kWh}$$

4.2.1 Perhitungan Sebelum Penggunaan Kapasitor Bank

Daya beban yang digunakan pada instalasi listrik pada PT. Pacific Medan Industri.

$$\text{Daya aktif} = 688,499 \text{ kW}$$

$$\text{Cos } \varphi \text{ awal} = 0,77$$

Maka :

$$\text{Cos } \varphi_1 = 0,77$$

$$\Phi_1 = 39,646^\circ$$

$$\tan \varphi = 0,828$$

- Daya semu (S_1)

$$= \frac{P}{\cos \varphi}$$

$$= \frac{688,49}{0,77}$$

$$= 899,142 \text{ kVA}$$
- Daya Reaktif yang terpakai (Q_1)

$$= \text{Daya aktif} \times \tan \varphi$$

$$= 688,49 \times 0,828$$

$$= 570,06 \text{ kVAR}$$
- Pemakaian daya reaktif per bulan

$$= \text{Daya aktif} \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari}$$

$$= 570,06 \times 24 \times 30$$

$$= 410.444 \text{ kVARh}$$

- Kelebihan Pemakaian Daya Reaktif = $410.444 - 307.345,96$
= 103.098,04 kVARh

4.2.2 Perhitungan Sesudah Penggunaan Kapasitor

Daya beban yang digunakan di PT. Pacific Medan Industri :

$$\text{Daya beban} = 688,49$$

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

Maka

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

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

$$\text{Tan } \varphi_2 = 0,142$$

- Daya semu (S_2) = $\frac{P}{\cos \varphi}$
= $\frac{688,49}{0,99}$
= 695,444 kVA
- Daya reaktif terpakai (Q_2) = Daya beban x tan phi
= $688,49 \times 0,142$
= 97,765 kVAR
- Pemakaian daya reaktif perbulan = Daya aktif x Waktu pemakaian
= $97,765 \times 24 \times 30$
= 70390,8 kVARh
- Kelebihan pemakaian daya reaktif = $70390,8 - 307.345,96$
= - 236.955,16 kVARh
- Selisih Kelebihan Daya Reaktif = $103.098,04 - (- 236.955,16)$
= 340.053,2 kVARh

- Persentase Perbandingan
$$= \frac{-236.955,16 - (-70390,8)}{236.955,16} \times 100 \%$$

$$= -70,29 \%$$

Besar daya reaktif yang dikompensasikan kapasitor adalah :

- $$Q_C = Q_1 - Q_2$$

$$= 570,06 - 97,765$$

$$= 472,295 \text{ kVAR}$$

4.3 Perhitungan Kapasitas Kapasitor Bank

- **Hubungan Bintang**

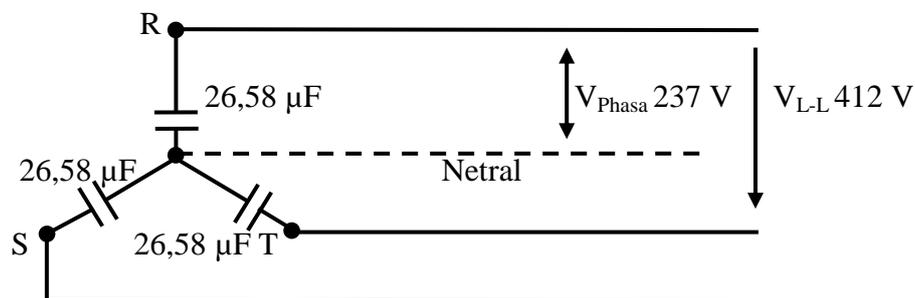
$$V_{\text{Fasa}} = \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} = \frac{412}{\sqrt{3}} = 237 \text{ V}$$

Kapasitas kapasitor adalah :

$$C_{\text{Bintang}} = \frac{Q_C}{(V_{L-L})^2 \times \omega} = \frac{Q_C}{(V_{L-L})^2 \times 2 \times 3,14 \times F}$$

$$= \frac{472,295 \times 1000}{(412)^2 \times 2 \times 3,14 \times 50} = 8,86 \text{ } \mu\text{F/ fasa}$$

$$\text{Kapasitor total} = 3 \times 8,86 = 26,58 \text{ } \mu\text{F}$$



Gambar 4.2. Kapasitor Hubung Bintang

- Pada saat $\cos \phi$ awal 0,77

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi 1}$$

$$I = \frac{688499}{\sqrt{3} \times 412 \times 0,77}$$

$$I = 1253,01 \text{ A}$$

- Pada saat $\cos \phi$ yang diinginkan 0,99

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi 2}$$

$$I = \frac{688499}{\sqrt{3} \times 412 \times 0,99}$$

$$I = 974,56 \text{ A}$$

Apabila semakin besar power faktor daya maka arus yang di serap pelanggan untuk pemakaian daya yang sama akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya bila power faktor semakin rendah arus yang di serap akan semakin besar

4.4 Perhitungan Rekening Listrik pada PT. Pacific Medan Industri

Pada pencatat stand kwh meter pada bulan Mei 2017 adalah seperti berikut :

Stand kWh LWBP :

- Awal 9350,38
- Akhir 9505,72

Faktor kali untuk kWh 1000

$$\text{Pemakaian kWh } (9505,72 - 9350,38) \times 1000 = 155340 \text{ kWh}$$

Stand kWh WBP :

- Awal 1068,24
- Akhir 1361,46

Faktor kali untuk kWh 1000

Pemakaian kWh $(1361,46 - 1068,24) \times 1000 = 293220$ kWh

1. Pemakaian kWh LWBP (155340×1.035)	= 160.776.900,-
2. Pemakaian kWh WBP (293220×1.035)	= 303.428.700,-
3. Total	= 464.259.600,-
4. Pajak penerangan = 10 % x 711.013.200	= 46.425.960,-
5. Biaya admin pos	= 3.000,-
	+ _____

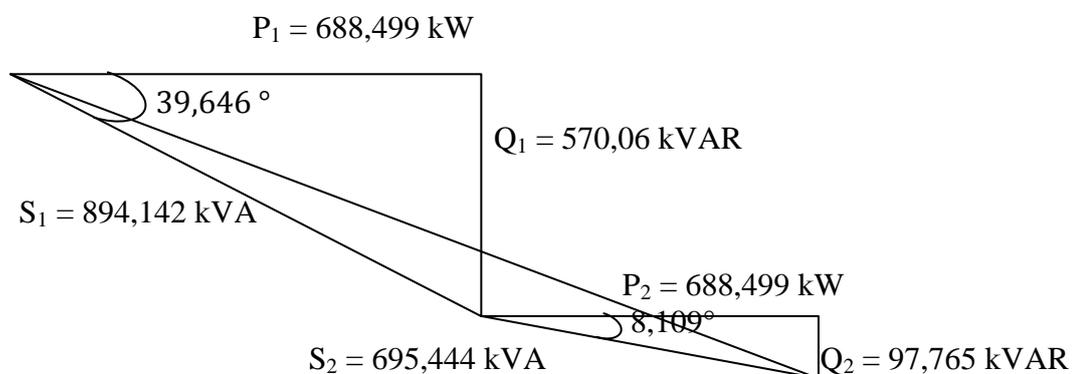
Total rekening yang harus dibayar = 510.688.560,-

4.5 Analisa Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Penggunaan Kapasitor

Dari perhitungan faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan kapasitor bank dapat dilihat seperti tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor Bank

No.	Simbol	Daya Sebenarnya	
		Sebelum Kompensasi	Sesudah Kompensasi
1.	Cos ϕ	0,77	0,99
2.	P (kW)	688,499	688,499
3.	S (kVA)	894,142	695,444
4.	Q (kVAR)	570,06	97,765



Gambar 4.3. Kompensasi Daya

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan pada panel daya MDB yang digunakan sebagai bahan uji pada penelitian didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya memiliki keistimewaan baik dari segi panel, pencarian faktor daya serta pengaturannya otomatis.
2. Faktor daya pada PT. Pacific Medan Industri sebelum perbaikan dengan $\cos \phi$ 0,77 menghasilkan daya reaktif sebesar 570,06 kVAR sedangkan dengan menggunakan $\cos \phi$ 0,99 daya reaktif yang dihasilkan sebesar 97,765 kVAR. Jadi besar daya reaktif yang di kompensasi atau di berikan kapasitor bank adalah 472,295 kVAR.
3. Dengan menggunakan software *ETAP* akan tampak jelas kenaikan arus pada beban yang dipakai, hal ini membuktikan dengan melakukan kompensasi daya akan menyelamatkan busbar pada jaringan yang terpasang kapasitor bank.

5.2 Saran

Dari kesimpulan diatas dapat diambil beberapa sebagai berikut :

1. Diharapkan di masa yang akan datang dapat digunakan sebagai salah satu sumber data untuk penelitian selanjutnya dan dilakukan penelitian lebih lanjut berdasarkan faktor lainnya, variabel yang berbeda, jumlah data yang lebih banyak, tempat yang berbeda yang memiliki keterkaitan dengan dengan faktor daya.

2. Penelitian tentang penggunaan listrik dapat dikembangkan atau dapat digunakan sebagai acuan dalam penelitian lebih lanjut.
3. Untuk mengurangi biaya penggunaan energi listrik perlu dilakukan sebagai berikut :
 - a. Mematikan beban listrik yang tidak digunakan.
 - b. Mengganti atau memasang peralatan listrik dengan peralatan yang lebih hemat energi.
 - c. Mematikan AC pada saat ruangan kosong dan mengatur suhu AC sesuai dengan jumlah orang pada ruangan karena jika semakin dingin, kerja motor pada AC akan semakin berat sehingga membutuhkan energi listrik yang besar pula.

DAFTAR PUSTAKA

- Edminister, J.A, 1997. *Rangkaian Listrik*, Jakarta: Erlangga.
- Mukhlis Baso.2011. *Evaluasi Penggunaan Listrik Pada Gedung di Lingkungan Universitas Tadulako* ,TugasAkhir, UNTAD.PALU.
- Pabla AS & Abdul Hadi. 1994. *Sistem Distribusi Rangkaian Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- Parton & watkins 1998. *Perhitungan Instalasi Listrik Jilid 1*.Jakarta : Erlangga.
- Parton & watkins 1998. *Perhitungan Instalasi Listrik Jilid 2*.Jakarta : Erlangga.
- Parton & watkins 1999. *Perhitungan Instalasi Listrik Jilid 3*.Jakarta : Erlangga.
- Puput Hendro Prasetyo. 2006. *Evaluasi Pemakaian Energi Listrik pada Gedung A Universitas Muhammadiyah Surakarta*,TugasAkhir, UMS. Surakarta.
- Rahardjo, Yadi Yunus. 2010. “Perbaikan Faktor Daya Motor Induksi 3 Fase”. Seminar Nasional VI, ISSN 1978-0176, SDM Teknologi Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir Yogyakarta.
- Ramadani, Mohammad. 2008. *Rangkaian Listrik*, Jakarta : Erlangga.
- Salpanio Ricky. 2007. *Audit Energi Listrik pada Gedung Kampus UNDIP Pleburan Semarang*,TugasAkhir, UNDIP. Semarang.
- Theraja BL. *A text Book Electrical Technology*, New Delhi : Nirja Construksi & 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

Gambar Dan Hasil Simulasi Pada ETAP

LAMPIRAN



PT PLN (Persero)

Jalan Trunojoyo Blok M I/135 Kebayoran Baru – Jakarta 12160

Telepon : (021) 7261875, 7261122, 7262234

Facsimile : (021) 7221330

Website : www.pln.co.id

(021) 7251234, 7250550

PENETAPAN PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)

BULAN JULI - SEPTEMBER 2017

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.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
7.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
11.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
12.	P-3/TR		*)	1.467,28	1.467,28
13.	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

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 LWBP.

Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan 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.

WBP : Waktu Beban Puncak.

LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

Tabel Kompensasi Faktor Daya

SEBELUM KOMPENSASI		SESUDAH KOMPENSASI (Faktor Daya yang diinginkan)															
Cos φ		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
	tg φ	0.62	0.59	0.57	0.54	0.51	0.48	0.46	0.43	0.4	0.36	0.33	0.29	0.25	0.2	0.14	0
0.4	2.29	1.67	1.7	1.72	1.75	1.78	1.81	1.83	1.86	1.89	1.93	1.96	2	2.04	2.09	2.15	2.29
0.41	2.22	1.6	1.63	1.65	1.68	1.71	1.74	1.76	1.79	1.82	1.86	1.89	1.93	1.97	2.02	2.08	2.22
0.42	2.16	1.54	1.57	1.59	1.62	1.65	1.68	1.7	1.73	1.76	1.8	1.83	1.87	1.91	1.96	2.02	2.16
0.43	2.1	1.48	1.51	1.53	1.56	1.59	1.62	1.64	1.67	1.7	1.74	1.77	1.81	1.85	1.9	1.96	2.1
0.44	2.04	1.42	1.45	1.47	1.5	1.53	1.56	1.58	1.61	1.64	1.68	1.71	1.75	1.79	1.84	1.9	2.04
0.45	1.98	1.36	1.39	1.41	1.44	1.47	1.5	1.52	1.55	1.58	1.62	1.65	1.69	1.73	1.78	1.84	1.98
0.46	1.93	1.31	1.34	1.36	1.39	1.42	1.45	1.47	1.5	1.53	1.57	1.6	1.64	1.68	1.73	1.79	1.93
0.47	1.88	1.26	1.29	1.31	1.34	1.37	1.4	1.42	1.45	1.48	1.52	1.55	1.59	1.63	1.68	1.74	1.88
0.48	1.83	1.21	1.24	1.26	1.29	1.32	1.35	1.37	1.4	1.43	1.47	1.5	1.54	1.58	1.63	1.69	1.83
0.49	1.78	1.16	1.19	1.21	1.24	1.27	1.3	1.32	1.35	1.38	1.42	1.45	1.49	1.53	1.58	1.64	1.78
0.5	1.73	1.11	1.14	1.16	1.19	1.22	1.25	1.27	1.3	1.33	1.37	1.4	1.44	1.48	1.53	1.59	1.73
0.51	1.69	1.07	1.1	1.12	1.15	1.18	1.21	1.23	1.26	1.29	1.33	1.36	1.4	1.44	1.49	1.55	1.69
0.52	1.64	1.02	1.05	1.07	1.1	1.13	1.16	1.18	1.21	1.24	1.28	1.31	1.35	1.39	1.44	1.5	1.64
0.53	1.6	0.98	1.01	1.03	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	1.56	0.94	0.97	0.99	1.02	1.05	1.08	1.1	1.13	1.16	1.2	1.23	1.27	1.31	1.36	1.42	1.56
0.55	1.52	0.9	0.93	0.95	0.98	1.01	1.04	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.23	1.27	1.32	1.38	1.52
0.56	1.48	0.86	0.89	0.91	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	1.44	0.82	0.85	0.87	0.9	0.93	0.96	0.98	1.01	1.04	1.08	1.11	1.15	1.19	1.24	1.3	1.44
0.58	1.4	0.78	0.81	0.83	0.86	0.89	0.92	0.94	0.97	1	1.04	1.07	1.11	1.15	1.2	1.26	1.4
0.59	1.37	0.75	0.78	0.8	0.83	0.86	0.89	0.91	0.94	0.97	1.01	1.04	1.08	1.12	1.17	1.23	1.37
0.6	1.33	0.71	0.74	0.76	0.79	0.82	0.85	0.87	0.9	0.93	0.97	1	1.04	1.08	1.13	1.19	1.33
0.61	1.3	0.68	0.71	0.73	0.76	0.79	0.82	0.84	0.87	0.9	0.94	0.97	1.01	1.05	1.1	1.16	1.3
0.62	1.27	0.65	0.68	0.7	0.73	0.76	0.79	0.81	0.84	0.87	0.91	0.94	0.98	1.02	1.07	1.13	1.27
0.63	1.23	0.61	0.64	0.66	0.69	0.72	0.75	0.77	0.8	0.83	0.87	0.9	0.94	0.98	1.03	1.09	1.23
0.64	1.2	0.58	0.61	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74	0.77	0.8	0.84	0.87	0.91	0.95	1	1.06	1.2
0.65	1.17	0.55	0.58	0.6	0.63	0.66	0.69	0.71	0.74	0.77	0.81	0.84	0.88	0.92	0.97	1.03	1.17
0.66	1.14	0.52	0.55	0.57	0.6	0.63	0.66	0.68	0.71	0.74	0.78	0.81	0.85	0.89	0.94	1	1.14
0.67	1.11	0.49	0.52	0.54	0.57	0.6	0.63	0.65	0.68	0.71	0.75	0.78	0.82	0.86	0.91	0.97	1.11
0.68	1.08	0.46	0.49	0.51	0.54	0.57	0.6	0.62	0.65	0.68	0.72	0.75	0.79	0.83	0.88	0.94	1.08
0.69	1.05	0.43	0.46	0.48	0.51	0.54	0.57	0.59	0.62	0.65	0.69	0.72	0.76	0.8	0.85	0.91	1.05
0.7	1.02	0.4	0.43	0.45	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	0.99	0.37	0.4	0.42	0.45	0.48	0.51	0.53	0.56	0.59	0.63	0.66	0.7	0.74	0.79	0.85	0.99
0.72	0.96	0.34	0.37	0.39	0.42	0.45	0.48	0.5	0.53	0.56	0.6	0.63	0.67	0.71	0.76	0.82	0.96
0.73	0.94	0.32	0.35	0.37	0.4	0.43	0.46	0.48	0.51	0.54	0.58	0.61	0.65	0.69	0.74	0.8	0.94
0.74	0.91	0.29	0.32	0.34	0.37	0.4	0.43	0.45	0.48	0.51	0.55	0.58	0.62	0.66	0.71	0.77	0.91
0.75	0.88	0.26	0.29	0.31	0.34	0.37	0.4	0.42	0.45	0.48	0.52	0.55	0.59	0.63	0.68	0.74	0.88
0.76	0.86	0.24	0.27	0.29	0.32	0.35	0.38	0.4	0.43	0.46	0.5	0.53	0.57	0.61	0.66	0.72	0.86
0.77	0.83	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35	0.37	0.4	0.43	0.47	0.5	0.54	0.58	0.63	0.69	0.83
0.78	0.8	0.18	0.21	0.23	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.55	0.6	0.66	0.8
0.79	0.78	0.16	0.19	0.21	0.24	0.27	0.3	0.32	0.35	0.38	0.42	0.45	0.49	0.53	0.58	0.64	0.78
0.8	0.75	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	0.72	0.1	0.13	0.15	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.36	0.39	0.43	0.47	0.52	0.58	0.72
0.82	0.7	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.24	0.27	0.3	0.34	0.37	0.41	0.45	0.5	0.56	0.7
0.83	0.67	0.05	0.08	0.1	0.13	0.16	0.19	0.21	0.24	0.27	0.31	0.34	0.38	0.42	0.47	0.53	0.67
0.84	0.65	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.17	0.19	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.4	0.45	0.51	0.65
0.85	0.62	0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.26	0.29	0.33	0.37	0.42	0.48	0.62
0.86	0.59	-0	0	0.02	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.23	0.26	0.3	0.34	0.39	0.45	0.59
0.87	0.57	-0.1	-0.02	0	0.03	0.06	0.09	0.11	0.14	0.17	0.21	0.24	0.28	0.32	0.37	0.43	0.57
0.88	0.54	-0.1	-0.05	-0.03	0	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.18	0.21	0.25	0.29	0.34	0.4	0.54
0.89	0.51	-0.1	-0.08	-0.06	-0.03	0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.15	0.18	0.22	0.26	0.31	0.37	0.51
0.9	0.48	-0.1	-0.11	-0.09	-0.06	-0.03	0	0.02	0.05	0.08	0.12	0.15	0.19	0.23	0.28	0.34	0.48

Gambar Kapasitor Bank



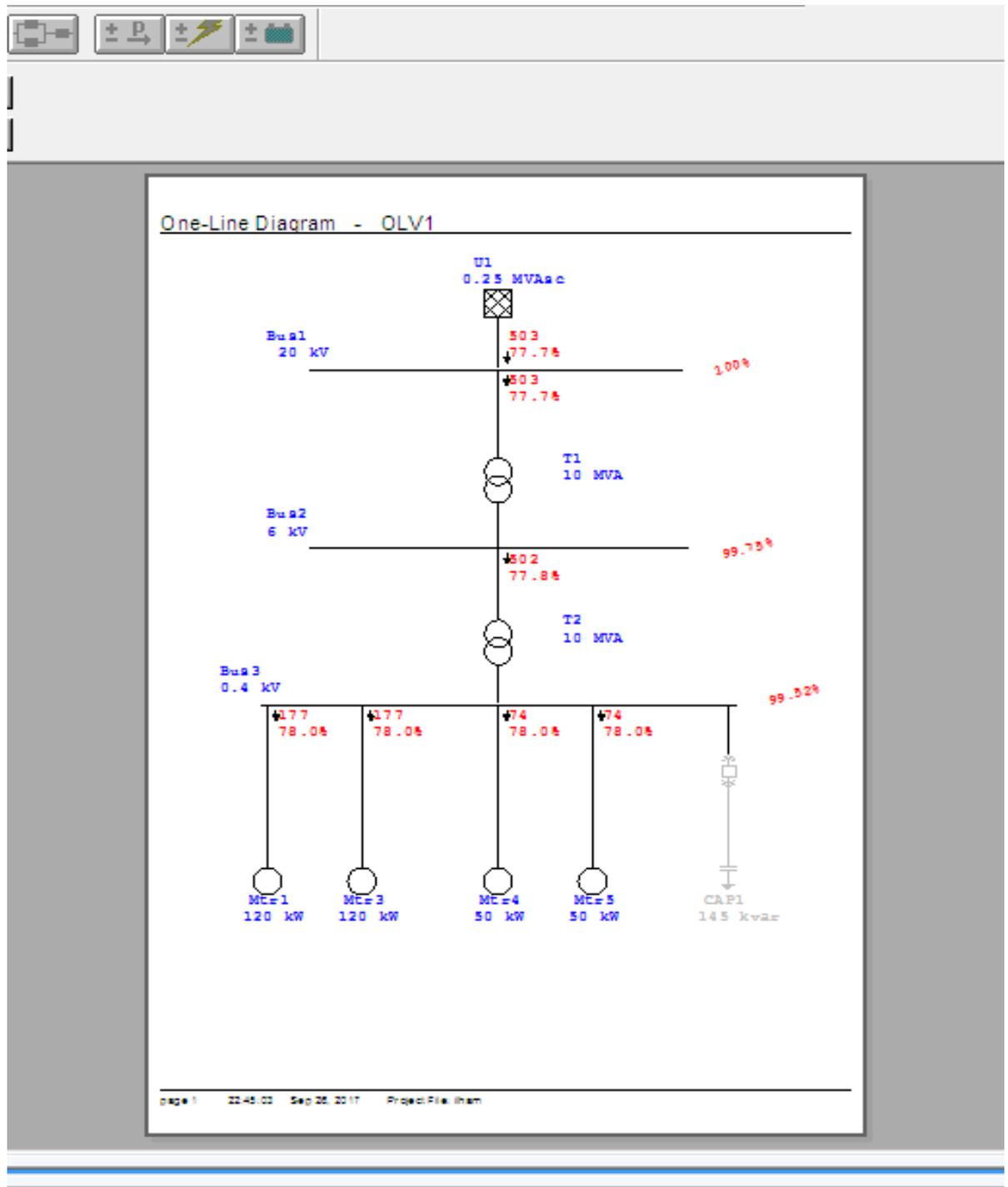
Gambar Panel Box Kapasitor Bank



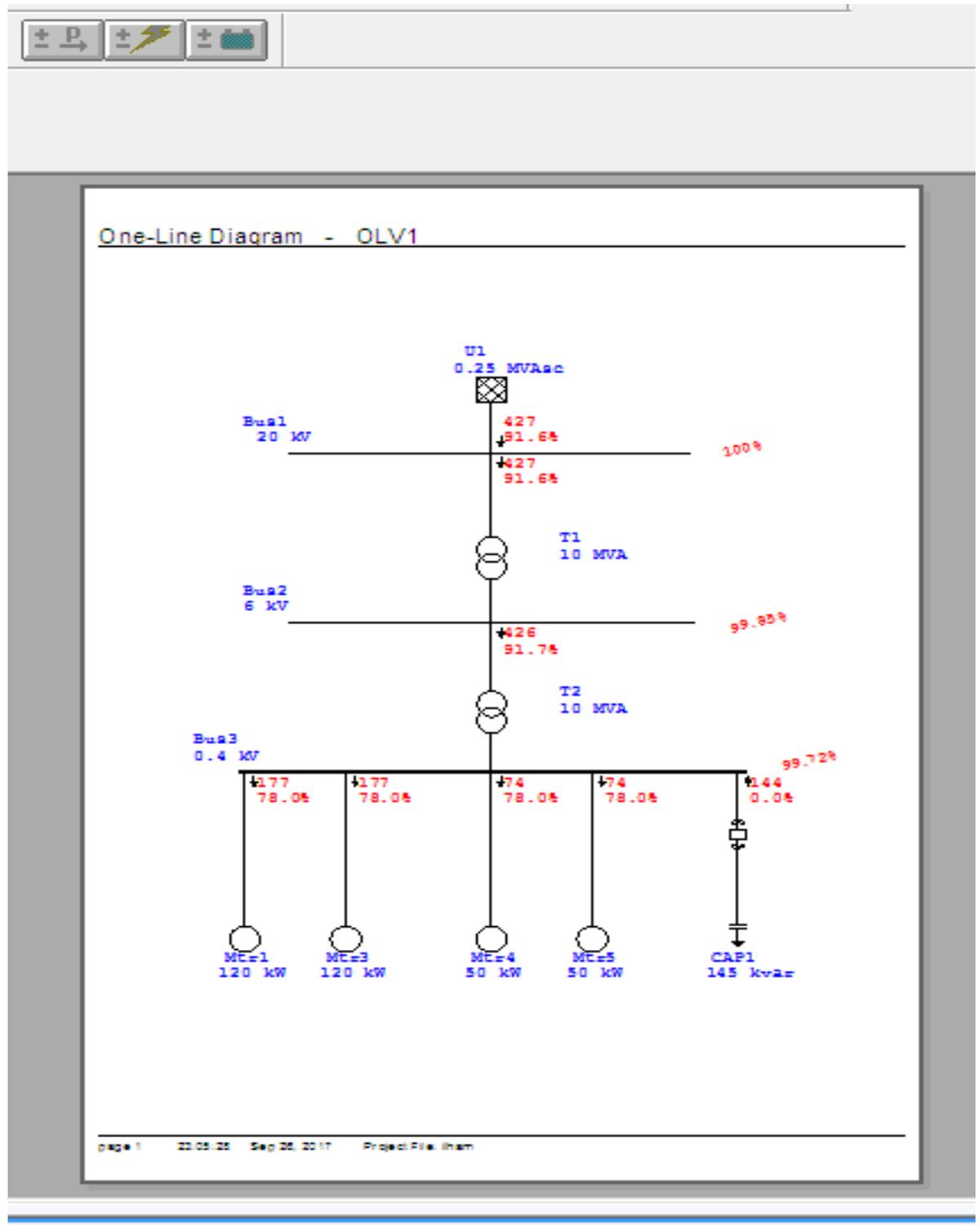
 INTERNET BANKING	
BUKTI TRANSAKSI PEMBAYARAN LISTRIK/PLN	
Tanggal	: 04-06-2017
Jam	: 12:46:58
Nomor Referensi	: F3A6D607-A731-7F24-3FC9-DBAEB CD42FB3
Nomor Urut	: 003705
Status	: TRANSAKSI BERHASIL
ID Pel	: 126100331979
Nama	: PT. PACIFIC MEDAN INDUSTRI
Tarif/Daya	: I3 / 250KVA
Jml Tagihan	: Rp. 510.655.810,00
MLPO Ref	: 9236016214413711491
BL/TH	: 0617
LWBP	: 0009350,38-0009505,72
WBP	: 0001068,24-0001361,46
KVARH	: 0004115,36-0004188,48
PLN MENYATAKAN STRUK INI SEBAGAI BUKTI PEMBAYARAN YANG SAH	
Admin Bank	: Rp. 3.000,00
Total	: Rp. 510.655.810,00
Copyright © 2000  All Rights Reserved	

Gambar Rekening Listrik

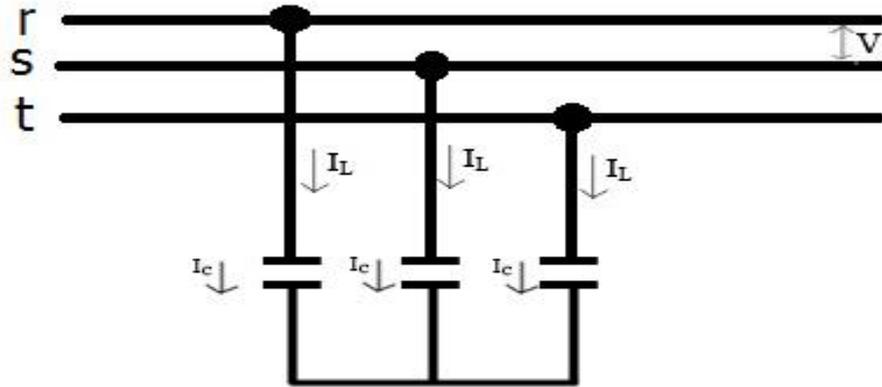
Gambar One Line Diagram Pada ETAP Pada Saat Sebelum Menggunakan Kapasitor Bank



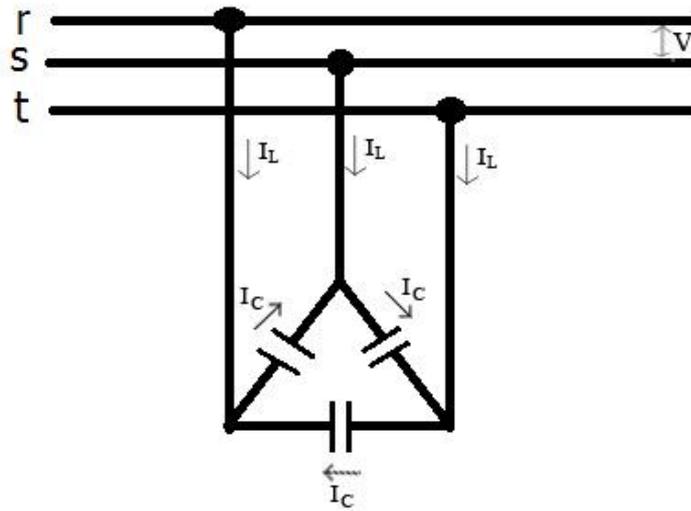
Gambar One Line Diagram Pada ETAP Pada Saat Sesudah Menggunakan Kapasitor Bank



Gambar Pemasangan Kapasitor Bank Hubungan Bintang



Gambar Pemasangan Kapasitor Bank Hubungan Delta





PT. PACIFIC MEDAN INDUSTRI

Jl. Pulau Nias Selatan, KIM II Mabar, Medan 20242, North Sumatra, Indonesia
Phone. (62-61) 6871414 / 6871415 Fax. (62-61) 6871126 / 6871453 E-mail: pamin@pacificmedan.com



SURAT KETERANGAN

674 / HR / PMI / XII / 2017

Hal : Balasan surat nomor
1264 / II.3-AU/UMSU-07/F/2017

Kepada Yth :
Dekan / wakil Dekan I Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T.
Ditempat

Dengan hormat,
Yang bertanda tangan dibawah ini :
Nama : Dinno Saptana
Jabatan : HR Asist Manager

Menerangkan bahwa,
Nama : Muhammad Ilham
NPM : 1307220067
Jurusan : Teknik Elektro

Telah kami setuju untuk melaksanakan penelitian pada perusahaan kami
Sebagai salah satu syarat penyusunan skripsi dengan judul :

**“ Analisa Perbaikan Faktor Daya Dengan Menggunakan Kapasitor
Bank ”**

Demikian surat ini kami sampaikan atas kerjasamanya kami
mengucapkan terima kasih.

Medan, 14 September 2017

Hormat kami


Dinno Saptana
HR Asist Manager

AVENA

Manufacturer of Quality Cooking Oil
ISO & HACCP Certified Company

MADINA

