

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Pengaruh Kapasitor Bank dalam mengoptimalkan energi**

Penyaluran energi listrik dari sumber daya sampai ke beban diperlukan penghantar ataupun dengan kabel yang tidak terlepas dari pengaruh beban reaktif penghantar sendiri dan juga pengaruh beban yang akan dipasok energi listrik.

Peningkatan terhadap kebutuhan dan konsumsi energi listrik yang baik dari segi kualitas dan kuantitas menjadi salah satu alasan mengapa perusahaan utilitas penyedia listrik perlu memberi perhatian terhadap isu kualitas daya listrik. Terlebih pada segmen pelanggan industri yang membutuhkan supply listrik yang baik yaitu dari segi kontinuitas dan juga kualitas tegangan yang disupply (karena mesin-mesin industri sensitif terhadap lonjakan/ ketidakstabilan tegangan) perlu diusahakan suatu sistem pendistribusian tenaga listrik yang dapat memberikan pelayanan yang memenuhi kriteria yang diinginkan pelanggan.

Energi listrik yang dipakai ditentukan oleh adanya reaktansi, induktansi dan kapasitansi. Beraneka ragam beban atau peralatan listrik yang digunakan kebanyakan bersifat induktif dan kapasitif. Dimana beban induktif selalu menimbulkan daya reaktif induktif seperti motor, trafo, lampu neon dan peralatan lain yang menggunakan kumparan dan inti besi, sedangkan beban kapasitif seperti kapasitor membangkitkan daya reaktif kapasitif.

Daya reaktif tidak dapat diubah menjadi tenaga, akan tetapi mutlak diperlukan untuk proses transmisi energi listrik pada beban.

Semakin banyaknya peralatan pelanggan PLN yang bersifat induktif berakibat membesarnya beban reaktif dan sebagai salah satu sumber terjadinya pemborosan energi (rugi-rugi) listrik, sehingga penyedia tenaga listrik/PLN memberikan pinalti kepada pelanggan industri yang banyak memiliki beban reaktif induktif apabila beban reaktifnya melebihi dari daya reaktif yang disyaratkan.

Kondisi riil pelanggan memerlukan peralatan sarana kerja sebagai sumber tenaga gerak yaitu dengan motor listrik dan penerangan ruang kerja dengan menggunakan lampu neon. Selain itu diperlukan juga motor-motor listrik untuk pengaturan udara di dalam ruang kerja agar tercipta ruangan dengan sirkulasi udara yang baik, temperatur cukup dan bebas dari polusi udara. Semua peralatan tersebut

diatas syarat terhadap daya reaktif yang tinggi. Sehingga masyarakat selalu berusaha untuk mengurangi banyaknya konsumsi daya reaktif.

Daya reaktif yang ditimbulkan oleh peralatan / sarana kerja seperti tersebut diatas bersifat induktif. Daya reaktif induktif dapat dikurangi atau bahkan dapat dihilangkan dengan memasang alat pembangkit daya reaktif yang bersifat kapasitif yaitu Kapasitor Bank.

Pemasangan Kapasitor Bank akan mengkompensasi daya reaktif induktif, sehingga berakibat daya reaktif (KVAR) dan daya semu (KVA) akan turun akibat dari turunnya arus listrik pada jaringan yang memasok daya tersebut. Arus yang menurun pada saluran yang memasok beban tersebut juga berakibat menurunnya rugi-rugi penghantar pada jaringan.

Pemasangan Kapasitor Bank juga berakibat naiknya tegangan kerja pada jaringan disekitar Kapasitor Bank tersebut.

Investasi pengadaan Kapasitor Bank perlu diadakan evaluasi terlebih dahulu untuk menentukan apakah usaha yang memerlukan investasi tersebut layak dijalankan.

Banyak metode untuk menentukan kelayakan investasi, namun perlu dipilih metode yang tepat untuk usaha tersebut.

Beban pada jaringan distribusi tenaga listrik pada awalnya hanya diutamakan untuk lampu penerangan yang hanya memiliki hambatan sehingga faktor dayanya sangat tinggi. Seiring dengan meningkatnya era industrialisasi di zaman modern maka semakin banyak peralatan di lokasi pabrik yang menggunakan beban motor listrik mengandung daya reaktif induktif. Beban reaktif dengan faktor daya yang rendah dapat menyebabkan turunnya tegangan dan rugi-rugi besar yang tidak diharapkan (**Burke J.J, 1994**).

Tegangan yang turun akan mempengaruhi beban tidak dapat beroperasi dengan optimal. Rugi-rugi jaringan yang memasok bebanpun akan semakin besar akibat meningkatnya arus yang mengalir. **Gupta B.R, (1985)** menyebutkan bahwa untuk mengurangi biaya kVA dan kVAR pada pelanggan PT PLN (Persero) yang masuk kategori industri besar akan memasang alat perbaikan faktor daya. Faktor daya dapat ditingkatkan apabila kVAR tertinggal dari beban diseimbangkan dengan kVAR yang mendahului. Hal ini dapat dilakukan baik dengan menggunakan Kapasitor Bank statis atau Kondensator Sinkron.

Faktor daya yang rendah juga mengakibatkan pelanggan PT PLN (Persero) tidak dapat memanfaatkan daya kontrak (kVA) sesuai dengan beban peralatan yang

pelanggan tersebut miliki, sehingga mereka akan berupaya untuk memperbaiki faktor daya tersebut.

Pemerintah dalam hal ini Kementrian ESDM telah mengatur penggunaan daya reaktif yang tertera dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Pasal 3 poin D yang berbunyi :

Tarif Tenaga Listrik untuk keperluan industri, terdiri atas:

1. Golongan tarif untuk keperluan industri kecil/industri rumah tangga pada tegangan rendah, dengan daya 450 VA sampai dengan 14 kva (1-1/TR);
2. Golongan tarif untuk keperluan industri sedang pada tegangan rendah, dengan daya di atas 14 kva sampai dengan 200 kva (1-2/TR);
3. Golongan tarif untuk keperluan industri menengah pada tegangan menengah, dengan daya di atas 200 kva (1-3/TM); dan
4. Golongan tarif untuk keperluan industri besar pada tegangan tinggi, dengan daya 30.000 kva ke atas (1-4/TT),

sebagaimana tercantum dalam Lampiran IV yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Peraturan Menteri ini;

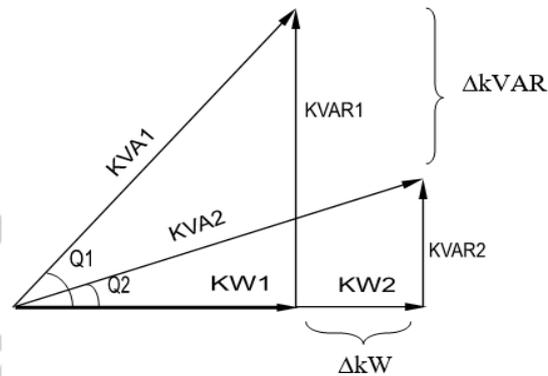
Di samping aspek lain dalam suatu Kajian kelayakan proyek. Kajian kelayakan proyek dari sisi finansial dapat bertujuan melakukan serangkaian analisis dengan perhitungan-perhitungan secara tepat dan akurat dari suatu investasi modal dengan membandingkan aliran biaya (*cost*) dengan kemanfaatan (*benefit*) dengan menggunakan berbagai kriteria penilaian investasi (**J.Arifin dan A.Fauzi, 2001**).

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengukuran energi listrik pada Pelanggan Industri besar PT Ronny Aquario Perkasa (Pemecah Batu) untuk mengetahui seberapa pengaruh Kapasitor Bank dalam mengoptimalkan energi pada sisi konsumen dan untuk mengetahui seberapa pengaruh Kapasitor Bank terhadap penghematan biaya kelebihan kVARh pada PT Ronny Aquario Perkasa tersebut, serta untuk mengetahui kelayakan investasi kapasitor sebagai upaya penghematan biaya tersebut.

## **II.2 Kompensasi Daya Reaktif dengan daya semu (kVA) dan Aktiv (KW)**

PLN sebagai pemasok energi listrik memberikan kontrak daya kepada seluruh pelanggannya dengan satuan daya semu kilo Volt Amper, sehingga sebagian pelanggan mempertahankan bagaimana daya kontrak Volt Amper yang ada agar dapat menggunakan daya aktif secara maksimum.

Upaya yang dilakukan adalah meningkatkan faktor kerja sehingga daya reaktif induktif ditekan seminimal mungkin. Penekanan daya reaktif induktif tersebut dapat dilakukan dengan memasang beban yang membangkitkan daya reaktif kapasitif sehingga dapat mengkompensasi daya reaktif induktif yang ada.



Gambar 1 Diagram Daya Reaktif dengan KVA sebagai referensi

$$KVA1 = KVA2 \quad (1)$$

$$\Delta KVAR = KVAR1 - KVAR2 \quad (2)$$

$$= KVA \sin Q1 - KVA \sin Q2$$

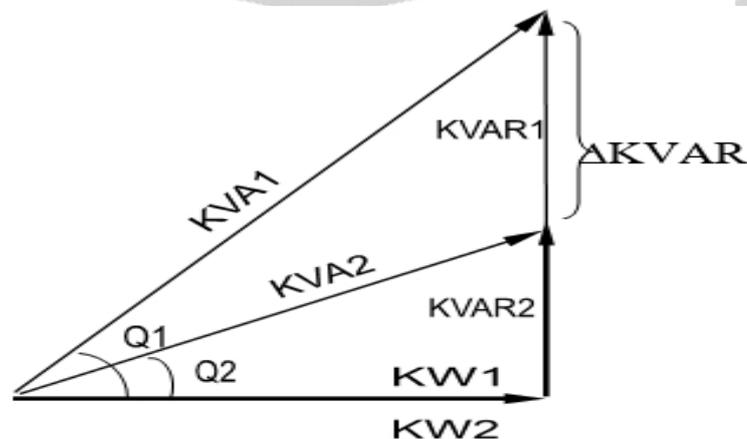
$$= KVA (\sin Q1 - \sin Q2)$$

$$\Delta KW = KW1 - KW2 \quad (3)$$

$$= KVA \cos Q2 - KVA \cos Q1$$

$$= KVA (\cos Q2 - \cos Q1)$$

Sementara itu kapasitas beban suatu peralatan yang memiliki faktor daya yang rendah dapat berakibat tingginya konsumsi daya semu. Dengan penyerapan daya semu yang tinggi mengakibatkan konsumen harus meminta daya tersambung kepada penyedia energi listrik / PLN yang lebih besar.



Gambar 2 Diagram daya Reaktif dengan kW sebagai referensi

$$KW1 = KW2 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta KVAR &= KVAR1 - KVAR2 \quad (5) \\ &= KW \tan Q1 - KW \tan Q2 \\ &= KW (\tan Q1 - \tan Q2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta KVA &= KVA1 - KVA2 \quad (6) \\ &= KW / \cos Q1 - KW / \cos Q2 \end{aligned}$$

Untuk menjaga nilai CosQ agar tidak kurang dari 0,85 maka :

$$Q \leq \cos^{-1} 0,85$$

$$Q \leq 31,788^\circ$$

Dengan demikian :

$$\tan Q = \tan 31,788^\circ$$

$$\tan Q = 0,62$$

Dengan kata lain nilai CosQ dijaga agar nilai kVAR tidak lebih dari 62% kW, agar konsumen tidak dikenakan biaya kelebihan kVAR.

### II.3 Kapasitor Bank

Dalam perbaikan faktor daya dan pengaturan tegangan jaringan, para engineer menggunakan kapasitor bank dengan sistem kompensasi daya reaktif yang ditawarkannya. Dan pada saluran transmisi, beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif, yang kemudian akan dapat menimbulkan jatuh tegangan di sisi penerima. Disinilah kapasitor bank berfungsi dalam mengkompensasi daya reaktif dan memastikan tegangan terjaga pada levelnya pada saat beban penuh.

Pemasangan kapasitor bank adalah usaha yang dilakukan untuk memberikan supply daya reaktif. Sehingga penggunaan kapasitor bank akan mengurangi penyerapan daya reaktif sistem oleh beban. Hal ini dilakukan agar jatuh tegangan dan rugi-rugi jaringan yang terjadi dapat dikurangi.

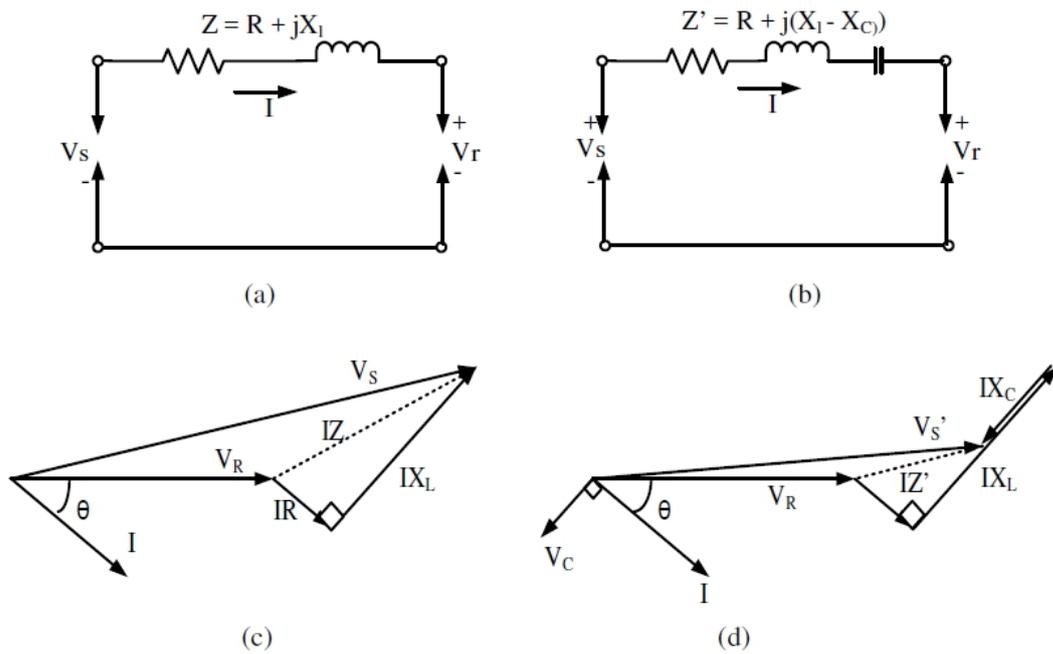
Selain dapat memperbaiki nilai tegangan, pengaturan tegangan dengan menggunakan kapasitor bank juga dapat meningkatkan nilai faktor daya. Sebab dengan memasang kapasitor bank, akan dapat mengurangi penyerapan daya reaktif oleh beban. Pengurangan penyerapan daya reaktif oleh beban pada sistem, akan dapat meningkatkan nilai faktor daya.

Kapasitor bank memberikan manfaat yang besar untuk kinerja sistem distribusi, karena kapasitor bank dapat mengurangi losses, memperbesar kapasitas layanan dan mengurangi drop tegangan :

- a. Rugi-rugi jaringan – dengan memberi kompensasi daya reaktif pada motor dan beban lainnya dengan power faktor yang rendah, kapasitor akan menurunkan arus jaringan. Penurunan arus ini akan mengurangi rugi-rugi  $I^2R$  jaringan secara signifikan.
- b. Kapasitas – penurunan arus di jaringan ini lebih lanjut akan memperbesar kapasitas pelayanan dimana, jaringan yang sama akan dapat melayani beban yang lebih besar.
- c. Drop tegangan – kapasitor bank dapat mengurangi voltage drop dimana dengan kompensasi daya reaktif akan meningkatkan /menaikkan level tegangan jaringan.

Adapun fungsi utama dari pemakaian kapasitor seri dan *shunt* adalah untuk mengatur tegangan dan aliran daya reaktif pada titik dimana kapasitor tersebut dipasang. Kapasitor *shunt* melakukannya dengan mengubah power faktor dari beban, sedangkan kapasitor seri melakukannya dengan secara langsung mengurangi reaktansi induktif.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa biaya untuk pemasangan kapasitor seri lebih mahal daripada biaya pemasangan kapasitor paralel. Biasanya juga, kapasitor seri didesain untuk daya yang lebih besar daripada kapasitor paralel, guna mengatasi perkembangan beban kelak.



Gambar 3 Gambar diagram pemasangan kapasitor seri

Gambar 3 (a) adalah bagan satu garis dari suatu penyulang, sedangkan Gambar 3 (c) adalah diagram fasornya. Bila pada penyulang tersebut diujung penerima dipasang kapasitor bank (seri), maka bagan satu garisnya akan terlihat seperti pada Gambar 3 (b) dan fasor diagramnya seperti pada Gambar 3 (d).

Pada Gambar 3 a dan 3 c, jatuh tegangan pada penyulang tersebut dapat dinyatakan secara pendekatan sebagai berikut :

$$VD = IR \cos \theta + IX_L \sin \theta \tag{7}$$

Dari Gambar 3 b dan 3 d, hasil jatuh tegangan akibat dipasangnya kapasitor seri dapat dihitung sebagai berikut :

$$VD = IR \cos \theta + I(XL - XC) \sin \theta \tag{8}$$

Dimana :

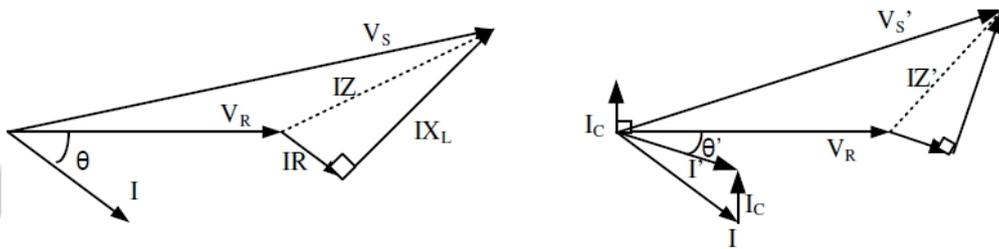
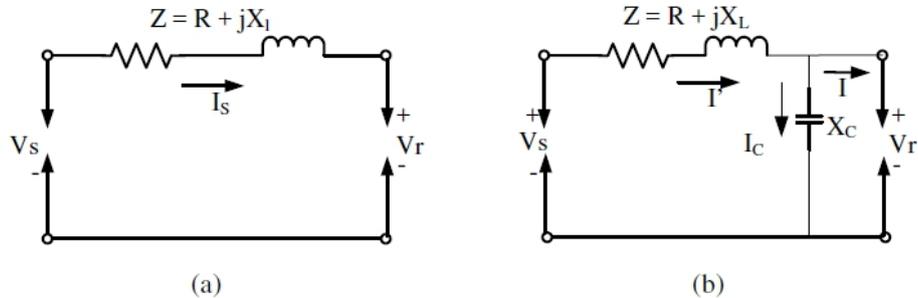
R = tahanan dari penyulang ( $\Omega$ )

XL = reaktansi induktif penyulang ( $\Omega$ )

XC = reaktansi kapasitif dari kapasitor seri ( $\Omega$ )

Adapun untuk 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 4 (a) merupakan bagan satu garis suatu penyulang tanpa

kapasitor shunt, dan fasor diagramnya dilihat pada Gambar 4 (b). Gambar 4 (c) dan 4(d) masing-masing menggambarkan bagan satu garis dan fasor diagram bila saluran tersebut dipasang kapasitor shunt di ujung saluran.



Gambar 4 Gambar diagram pemasangan kapasitor shunt

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

$$VD = IR \cos \theta + IXL \sin \theta \quad (9)$$

atau

$$VD = (I \cos \theta)R + (I \sin \theta) XL \quad (10)$$

atau

$$VD = IRR + IXXL \quad (11)$$

Bila kapasitor dipasang pada ujung penerima dari saluran, seperti yang terlihat pada Gambar 4 (b) dan 4 (d), secara pendekatan jatuh tegangan sekarang menjadi :

$$VD = IRR + IXXL - ICXL \quad (12)$$

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

$$VD = ICXL \quad (13)$$

Dimana :

R = tahanan total dari sirkuit penyulang

XL = reaktansi induktif total dari penyulang

IR = komponen arus aktif

IX = komponen arus reaktif lagging

IC = komponen arus reaktif leading

Adapun pemasangan yang akan diterapkan dalam tugas thesis ini adalah dengan kompensasi *seri* (pemasangan kapasitor secara seri terhadap instalasi pelanggan PLN), dimana alasan utama pemilihannya adalah masalah karakteristik beban di pelanggan PLN itu sendiri.

#### II.4 Metode Aliran Daya Reaktif dan Penentuan Rating Kapasitor

Cara untuk menentukan besaran rating kapasitor yang akan digunakan, hal yang perlu diketahui adalah keadaan instalasi dan jaringan sebelum pemasangan kapasitor dan harapan setelah pemasangan kapasitor.

Hal utama yang perlu diketahui faktor adalah daya dari daerah tersebut, kemudian untuk menentukan ukuran kapasitor bank yang digunakan, maka perlu ditentukan juga nilai faktor daya yang ingin dicapai. Untuk menentukan nilai kapasitor bank yang di pakai, maka dapat menggunakan perhitungan-perhitungan sebagai berikut:

PF awal

$$\cos\theta_1 = X$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} X \quad (14)$$

$$Q_1 = P \times \tan \theta_1 \quad (15)$$

PF yang diinginkan

$$\cos\theta_2 = Y$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} Y \quad (16)$$

$$Q_2 = P \times \tan \theta_2 \quad (17)$$

Nilai kapasitor yang harus dipasang :

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (18)$$

Rating unit kapasitor dari 50 kVAR sampai lebih 500 kVAR tersedia pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan rating kapasitor yang umum. Kapasitor bank pada

penyulang biasanya memiliki satu atau dua atau ( jarang ) tiga unit per fasa. Umumnya kapasitor bank hanya punya satu unit kapasitor per fasa.

Standar IEEE menjelaskan petunjuk standar untuk penggunaan kapasitor. Kapasitor tidak boleh digunakan jika nilai berikut melewati batasan yang telah ditunjukkan (IEEE Standar. 18-2002) :

1. 135% dari Kvar pada nameplate
2. 110% dari rating tegangan (rms), dan tegangan puncak tidak melebihi  $1.2\sqrt{2}$  dari rating tegangan (rms)
3. 135% dari arus nominal (rms) berdasarkan rating Kvar dan rating tegangan

Tabel 2 Rating Kapasitor yang umum

Volts, rms (Terminal-to-Terminal)	kvar	Number of Phases	BIL, kV
216	5, 7 1/2, 13 1/3, 20, and 25	1 and 3	30
240	2.5, 5, 7 1/2, 10, 15, 20, 25, and 50	1 and 3	30
480, 600	5, 10, 15, 20, 25, 35, 50, 60, and 100	1 and 3	30
2400	50, 100, 150, 200, 300, and 400	1 and 3	75, 95, 125, 150, and 200
2770	50, 100, 150, 200, 300, 400, and 500	1 and 3	75, 95, 125, 150, and 200
4160, 4800	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, and 800	1 and 3	75, 95, 125, 150, and 200
6640, 7200, 7620, 7960, 8320, 9540, 9960, 11,400, 12,470, 13,280, 13,800, 14,400	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, and 800	1	95, 125, 150, and 200
15,125	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, and 800	1	125, 150, and 200
19,920	100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, and 800	1	125, 150, and 200
20,800, 21,600, 22,800, 23,800, 24,940	100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, and 800	1	150 and 200

## II.5 Analisis Keekonomian

Dalam Tarif Dasar Listrik PLN telah ditetapkan bahwa pelanggan industri dengan faktor daya (pf) beban listriknya lebih rendah dari 0,85 akan dikenakan biaya pemakaian daya reaktif (kVARh), disamping biaya pemakaian daya aktif (kWh). Dengan demikian pelanggan listrik diwajibkan membayar biaya kelebihan kVARh yang dipakai selama satu bulan. berikut perhitungan kelebihan pemakaian kVARh dalam rupiah yang ditagihkan oleh PLN :

$$Q = P \times \tan(\arccos \phi) \quad (19)$$

$$Q_f = Q - (0,62 \times P); \quad (20)$$

$$Denda = Q_f \times Rp \ 1.115, - \quad (21)$$

Keterangan :

0,62 =  $\tan(\arccos 0,85)$  untuk  $pf = 0,85$

$Q_f$  = Daya reaktif yang dikenakan biaya per bulan (kVARh)

$P$  = Daya aktif listrik yang dikonsumsi perbulan (kWh)

$Q$  = Daya reaktif yang dikonsumsi perbulan (kWh)

Denda = Biaya kelebihan pemakaian kVARh (Rp)

Untuk terhindar dari denda kVARh maka pemakaian listrik dalam sebuah industry harus memiliki nilai  $\cos \phi$  lebih besar dari 0,85 atau jumlah pemakaian daya reaktif per bulan tidak lebih dari 0,62 kali dari pemakaian daya aktif per bulan sesuai yang tertera pada Pasal 3 Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Berikut algoritma penetapan harga dari PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)

$$TB = TL \times (1 + \%TA) \quad (22)$$

$$\%TA = \%(\text{Kkurs} \times \text{Kurs}) + \%(\text{KICP} \times \text{ICP}) + \%(\text{Kinflasi} \times \text{Inflasi}) \quad (23)$$

Keterangan :

$TB$  = Tarif listrik baru setelah penyesuaian (tariff adjustment)

$TL$  = Tarif listrik lama

$\%TA$  = Persentase penyesuaian tarif listrik

$TA$  = Tariff adjustment

$Kkurs$  = Koefisien perubahan kurs

$Kurs$  = Selisih antara kurs baru dan acuan yang sesuai dengan APBN

$KICP$  = Koefisien perubahan ICP

$ICP$  = Selisih antara ICP baru dan acuan yang sesuai APBN

$Kinflasi$  = Koefisien perubahan inflasi

$Inflasi$  = Selisih inflasi baru dan acuan yang sesuai dengan APBN

Kapasitas power kapasitor  $Q_c$  yang diperlukan bisa dihitung dengan rumus:

$$Q_c = P_a (\tan \phi - \tan \phi') \quad (24)$$

Keterangan :

$P_a$  = daya aktif beban terpasang (kW)

$\varphi$  = sudut fasa sebelum dipasang power kapasitor

$\varphi'$  = sudut fasa sesudah dipasang power kapasitor

### **II.5.1. Aliran Kas (Cash Flow)**

Aliran kas merupakan aliran pemasukan dan pengeluaran kas suatu kegiatan/proyek atau perusahaan yang selalu berubah pada setiap periode pembukuan (bulan, triwulan, semester, atau tahun). Aliran kas dalam konteks perencanaan atau evaluasi kelayakan suatu pekerjaan merupakan suatu hal yang penting dilakukan karena menggambarkan perkiraan biaya investasi dan biaya operasional serta proyeksi pendapatan dari proyek yang direncanakan.

### **II.5.2. Pendapatan (Revenue)**

Perkiraan kelayakan dari suatu investasi yang akan dilakukan diukur berdasarkan selisih (margin) antara besarnya pendapatan/ revenue dengan besarnya biaya pada suatu periode waktu (bulan atau tahun) selama masa investasi, sehingga memperkirakan pendapatan yang akan diperoleh merupakan aspek yang sangat penting dalam analisis ekonomi teknik. Sumber perkiraan pendapatan (revenue) yang diperoleh bisa berasal dari penjualan produk atau layanan, pendapatan dari penjualan suatu aset pada saat penggantian atau pada akhir umur ekonomis aset tersebut, penghematan dari peralatan yang lebih efisien, dan pendapatan dari pinjaman.

### **II.5.3. Teknik Analisis Ekonomi Kelayakan Investasi**

Aplikasi prinsip-prinsip ekonomi teknik digunakan baik dalam analisis kelayakan ekonomi proyek-proyek teknik maupun membantu dalam pengambilan keputusan, dengan berdasarkan parameter ekonomi berikut

#### **1. Accounting Rate of Return (ARR)**

Accounting Rate of Return atau sering disingkat dengan ARR adalah suatu metode analisis yang mengukur besarnya tingkat keuntungan dari suatu investasi. Metode analisis yang dalam bahasa Indonesia disebut dengan Tingkat Pengembalian Akuntansi ini pada dasarnya adalah mengukur pendapatan atau laba tahunan yang diharapkan dari hasil suatu investasi. Dengan kata lain, ARR ini menghitung berapa banyak uang yang akan dikembalikan ke investor dari suatu investasi.

$$ARR = \frac{\text{Pendapatan Bersih dari Investasi}}{\text{Biaya Investasi}} \quad (25)$$

## 2. Net Present Value (NPV)

Net Present Value digunakan untuk menentukan nilai tunai penerimaan dan pencairan uang di masa depan, sehingga dengan metode ini kelayakan perencanaan investasi dan proyeksi cashflow di masa depan harus dinyatakan pada nilai yang sekarang atau didiskontokan dengan tingkat suku bunga yang sesuai. Setiap pemilihan alternatif harus dipertimbangkan untuk suatu periode waktu (B. A. A. Abdel-ghani, 2008). Untuk menghitung Net Present Value (NPV) dipergunakan persamaan sebagai berikut :

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (26)$$

Keterangan :

$I_0$  = nilai investasi awal  
 $t$  = bulan ke (jangka waktu)  
 $n$  = jumlah bulan  
 $r$  = tingkat suku bunga  
 $CF_t$  = kas masuk perbulan pada periode  $t$

Pengembalian modal dalam jangka waktu tertentu yang diharapkan, apabila memberikan harga  $NPV > 0$ , maka investasi dikategorikan layak dan  $NPV < 0$  investasi dikategorikan tidak layak.

## 3. Payback Period (PP)

Payback period (PP) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi, Cara perhitungan PP adalah dengan menghitung waktu yang dibutuhkan (tahun) agar arus kas bersih kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal (J. P. L. D. G. Newnan, 2004). Bila periode waktu PP lebih pendek dari umur proyek maka investasi proyek akan dinilai layak dan bila periode waktu PP lebih panjang dari umur proyek maka investasi proyek dinilai belum layak.

$$\text{Payback Period} = n + \frac{(a-b)}{c} \times 1 \text{ tahun} \quad (27)$$

Keterangan

$n$  : Tahun terakhir saat jumlah arus kas belum bisa menutup investasi awal.

$a$  : Jumlah investasi mula-mula.

$b$  : Jumlah kumulatif arus kas pada tahun ke –  $n$

c : Jumlah arus kas pada tahun ke n + 1

#### 4. Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return disingkat IRR yang merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek/investasi dapat dilakukan apabila laju pengembaliannya (rate of return) lebih besar daripada laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain (bunga deposito bank, reksadana dan lain-lain)

Jika hasil IRR yang didapat lebih besar dari cost of capital maka menggambarkan bahwa investasi yang dilakukan akan menghasilkan return lebih besar dari yang diharapkan, sehingga perusahaan sebaiknya menerima proyek tersebut. IRR yang lebih kecil dari cost of capital menggambarkan investasi yang dilakukan akan menghasilkan return lebih kecil dari yang diharapkan, sehingga perusahaan sebaiknya menolak proyek investasi tersebut. Sedangkan untuk IRR yang sama dengan cost of capital maka investasi yang dilakukan diperkirakan akan menghasilkan return sebesar yang diharapkan (Peterson, 2002).

Berikut rumus yang dapat digunakan untuk menghitung nilai Internal Rate of Return (IRR)

$$IRR = rk + \frac{NPV_{rk}}{NPV_{rk} - NPV_{rb}} x (rb - rk) \quad (28)$$

Keterangan :

IRR : Internal Rate of Return

rk : Tingkat bunga yang kecil

rb : Tingkat bunga yang besar

NPV rk : Net Present Value pada tingkat bunga kecil

NPV rb : Net Present Value pada tingkat bunga besar

#### 5. Profitability Index (PI)

Profitability Index (PI) adalah teknik penganggaran modal untuk mengevaluasi proyek-proyek investasi untuk kelangsungan hidup atau profitabilitas mereka. Teknik arus kas diskonto yang digunakan dalam mencapai indeks profitabilitas. Ia juga dikenal sebagai rasio manfaat-biaya. Perhitungan indeks profitabilitas mungkin dengan rumus sederhana dengan input sebagai – tingkat diskonto, arus kas masuk dan

arus keluar. PI lebih besar dari atau sama dengan 1 ditafsirkan sebagai kriteria baik dan dapat diterima.

Berikut rumus yang dapat digunakan untuk mencari nilai dari Profitability Index (PI):

$$PI = \frac{NPV + \text{Investasi}}{\text{Investasi}} \quad (29)$$

Keterangan :

PI : Profitability Indeks

NPV : Net Present Value

I0 : Total Biaya Investasi

## II.6 Studi Aliran Daya Listrik

Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang (**John J. Grainger, William D. Stevenson, 1994**).

Adapun tujuan dari studi analisis aliran daya antara lain (**Ir. Sulasno, 1993**):

1. Untuk mengetahui tegangan- tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem, baik *magnitude* maupun sudut fasa tegangan.
2. Untuk mengetahui daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran yang ada dalam sistem.
3. Untuk mengetahui kondisi dari semua peralatan, apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya listrik yang diinginkan.
4. Untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru.
5. Untuk memperoleh kondisi awal untuk studi-studi selanjutnya seperti studi hubung singkat, stabilitas, dan pembebanan ekonomis.

### II.6.1 Konsep Perhitungan Aliran Daya

Dalam penyelesaian (perhitungan) sebuah aliran daya, sistem dioperasikan dalam kondisi/keadaan tunak dan keadaan seimbang. Setiap bus pada suatu sistem tenaga listrik terdapat daya aktif P, daya reaktif Q, besar tegangan |V|, dan sudut fasa tegangan  $\delta$ . Jadi ada setiap bus terdapat empat besaran yaitu P, Q, |V|, dan  $\delta$ . Di dalam studi aliran daya, dua dari keempat besaran itu diketahui dan dua yang lainnya

perlu dicari. Berdasarkan hal tersebut di atas, bus-bus dibedakan menjadi tiga jenis yaitu bus beban, bus generator, dan bus berayun/bus referensi (slack bus).

1. Bus beban (Bus P-Q)

Bus beban merupakan bus yang terhubung secara langsung dengan beban dan tidak memiliki pembangkitan listrik. Pada bus beban komponen yang dapat diatur adalah daya aktif dan daya reaktif (P dan Q). Besar nilai P pada bus ini merupakan daya aktif terpasang yang diukur dalam satuan Watt (W), sedangkan besar nilai Q merupakan daya reaktif terpasang yang diukur dalam Volt Ampere Reaktif (VAR). Pada bus ini, nilai P dan Q diketahui besarnya, sementara  $|V|$  dan  $\delta$  harus dicari (dihitung) berapa nilainya.

2. Bus generator (Bus P- $|V|$ )

Bus generator atau bus *voltage controlled* merupakan bus yang terhubung dengan generator yang dapat dikontrol daya aktif (P) dan tegangan ( $|V|$ ) yang biasanya dijaga konstan. Daya aktif (P) dapat diatur dengan mengatur penggerak mula dan tegangan ( $|V|$ ) dapat dikontrol dengan eksitasi, maka bus ini sering disebut sebagai bus P- $|V|$ . Pada bus ini, nilai P dan  $|V|$  diketahui besarnya, sementara Q dan  $\delta$  harus dicari (dihitung) berapa nilainya.

3. Bus referensi (*Slack bus*)

Bus referensi (*slack bus*) adalah sebuah bus generator yang dianggap sebagai bus utama karena merupakan bus yang memiliki kapasitas daya yang paling besar. Oleh karena daya yang dapat disalurkan oleh bus ini besar, maka pada bus ini hanya nilai tegangan  $|V|$  dan sudut fasa  $\delta$  yang bisa diatur, sedangkan daya aktif P dan daya reaktif Q akan dicari dalam perhitungan.

Dalam sistem pemrograman, tipe bus identik dengan kode angka, dimana kode untuk bus referensi adalah angka 1, kode untuk bus generator adalah angka 2, dan kode untuk bus beban adalah angka 3. Untuk lebih jelasnya, pembagian tipe dan kode bus dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini:

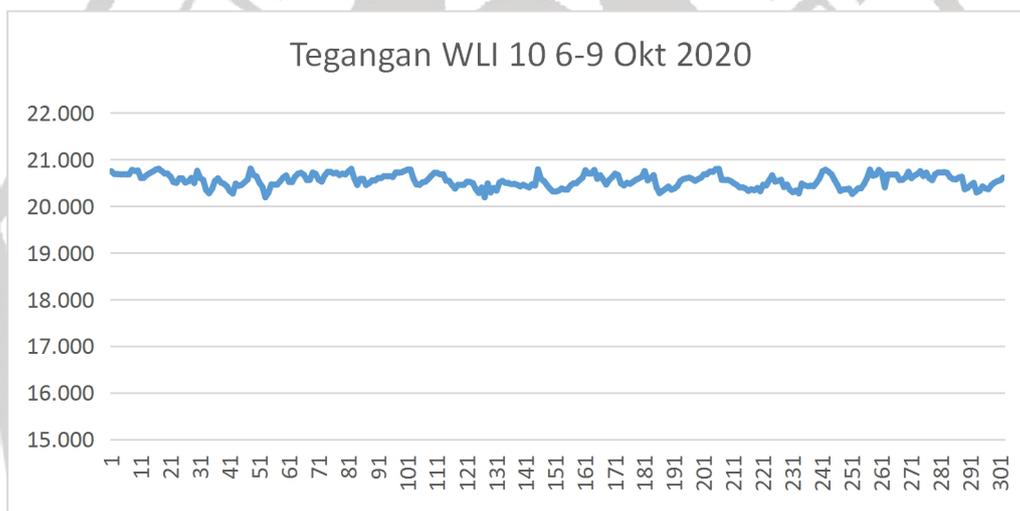
Tabel 3 Tipe bus dalam sistem tenaga listrik

<b>Tipe Bus</b>	<b>Kode Bus</b>	<b>Nilai yang diketahui</b>	<b>Nilai yang dihitung</b>
Bus beban	3	P, Q	$ V $ , $\delta$
Bus generator	2	P, $ V $	Q, $\delta$
Bus referensi	1	$ V $ , $\delta$	P, Q

## II.6.2 Kondisi Kelistrikan

Berdasarkan hasil observasi, diketahui bahwa sistem kelistrikan di PT Ronny Aquario menggunakan sambungan listrik dari PT PLN. Pabrik PT Ronny Aquario tersambung pada jaringan listrik Waleri 10, dimana energi listrik tersebut didistribusikan untuk aktivitas pabrik setiap hari seperti untuk menjalankan mesin-mesin produksi, penerangan pabrik, pendukung aktivitas kantor seperti penerangan kantor dan pendingin udara kantor

Energi listrik yang disuplay oleh PT PLN memiliki tegangan suplai (*incoming*) sebesar 20 kV dengan *line* kelistrikan menggunakan 3 phasa. Berikut grafik profil tegangan Feeder Waleri 10 yang diambil setiap 30 menit pada tanggal 6 s/d 9 Oktober 2020.

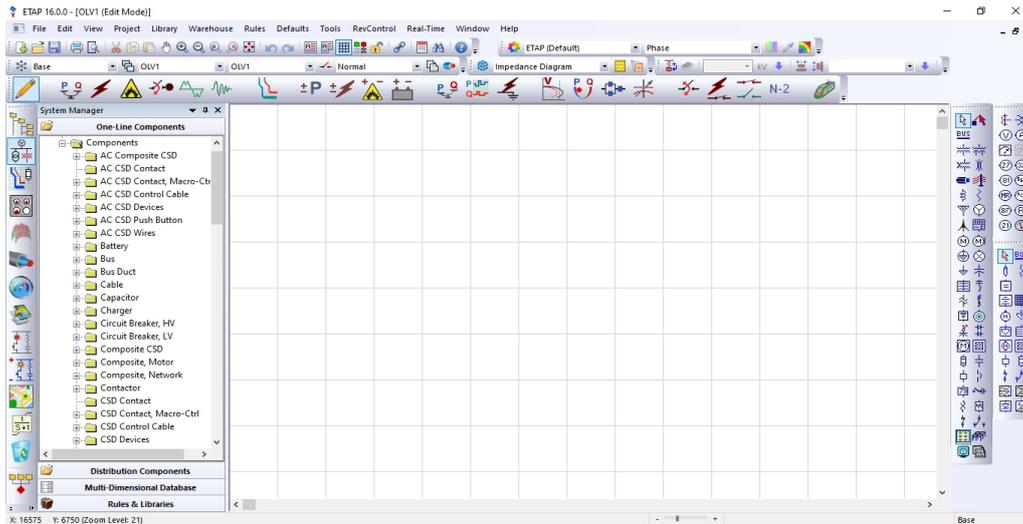


Gambar 5 Profil Tegangan Waleri 10

Dari hasil observasi data tanggal 6 s/d 9 oktober 2020 pada grafik di atas didapatkan nilai rata-rata tegangan pada Feeder Waleri 10 sebesar 20,550 kV dengan tegangan terkecil sebesar 20,190 kV dan tegangan terbesar sebesar 20,806 kV.

## II.7 Simulasi ETAP

Dalam pemasangan kapasitor bank, sebuah software sangat dibutuhkan untuk mensimulasikan kondisi real sebelum sebuah sistem direalisasikan. ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) PowerStation 16.0 merupakan salah satu *software* aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik. Berikut merupakan tampilan lembar kerja dari ETAP 16.0



Gambar 6 Lembar kerja ETAP 16.0

Dengan menggunakan software ETAP 16.0 dapat dibuat suatu diagram saluran tunggal (*single line diagram*) untuk perancangan pemasangan sebuah kapasitor bank,. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam studi rangkaian.

Setelah diagram single line diagram dibentuk, masing-masing komponen di input dengan nilai yang sesuai dengan kondisi real di lapangan. Kemudian dilakukan simulasi aliran daya menggunakan ETAP 16.0 untuk mengetahui pengaruh dari pemasangan kapasitor bank pada pabrik PT Ronny Aquario Perkasa. Hasil simulasi dapat di lihat langsung pada *single line diagram* yang sudah di simulasikan dan pada menu load flow report yang terdapat pada ETAP 16.0.