

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga MikroHidro (PLTMH)

Energi listrik merupakan suatu bentuk energi yang bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari, dengan bermacam-macam kegunaannya. Energi listrik secara prosesnya dibangkitkan oleh suatu peralatan yang disebut generator. Generator tersebut untuk dapat berputar tentunya memerlukan *Prime mover*. Sumber energi yang digunakan sebagai energi awal pada *prime mover* terdapat bermacam-macam jenisnya, yang nantinya akan menentukan jenis pembangkitnya. Karena perbedaan pemakaian energi primer dan jenis penggerak mulanya maka kita mengenal pusat-pusat pembangkit listrik seperti: PLTD, PLTU, PLTG, PLTG/U, PLTP, PLTN, PLTA/ PLTMH.

Aliran air menghasilkan energi yang dapat ditangkap dan dijadikan listrik. Mikrohidro adalah salah satu istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian (*head*) tertentu. Semakin besar kapasitas aliran (debit) air maupun *head* maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik.^[1] Ini disebut dengan *hydropower*

(Pembangkit Listrik Tenaga Air). *Hydropower* saat ini merupakan sumber terbesar dari energi terbarukan.

Tipe paling umum dari sistem *hydropower* adalah dengan membangun bendungan di sungai untuk mengumpulkan air dalam reservoir. Air dialirkan dari reservoir melewati turbin, memutarnya dan mengaktifkan generator yang membangkitkan listrik. Sebenarnya *hydropower* tidak harus menggunakan bendungan yang besar. Beberapa sistem *hydropower* hanya menggunakan aliran kecil yang mengalihkan sebagian aliran sungai melewati turbin.

2.1.1 Sistem *Hydropower* Menurut Tipenya

a. Bendungan

Sarana bendungan umumnya merupakan sistem *hydropower* yang besar, menggunakan bendungan untuk menampung air sungai dalam suatu *reservoir*. Air dapat dilepaskan sesuai perubahan kebutuhan energi listrik atau untuk menjaga level air *reservoir* tetap.

b. Pengalihan

Pengalihan atau terkadang disebut “sesuai aliran sungai” merupakan sarana yang mengalihkan sebagian aliran sungai melalui suatu kanal atau penampungan air. Tipe ini tidak selalu menggunakan bendungan.

c. Pemompaan

Pada saat permintaan energi listrik rendah, sarana pemompaan menyimpan energi dengan memompakan air dari *reservoir* rendah

ke *reservoir* yang tinggi. Pada saat permintaan energi listrik tinggi atau beban puncak, air dilepaskan kembali ke *reservoir* rendah untuk membangkitkan energi listrik. Tipe ini mirip dengan baterai, dan dapat juga digunakan secara hibrid bersama sistem pembangkit yang pembangkitannya lebih fluktuatif.^[2]

2.1.2 Sistem *Hydropower* Menurut Dimensinya

Sarana *hydropower* bervariasi menurut ukurannya dari sistem pembangkit besar yang menyuplai listrik ke banyak konsumen hingga sistem pembangkit mikro yang beroperasi sendiri - sendiri untuk memenuhi kebutuhan sendiri atau menjualnya ke utilitas energi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, mikrohidro hanyalah sebuah istilah, mikro artinya kecil sedang hidro artinya air. Dalam prakteknya istilah ini tidak merupakan sesuatu yang baku namun dapat dikatakan bahwa mikrohidro pasti menggunakan air sebagai sumber energinya. Yang membedakan antara istilah mikrohidro dan minihidro adalah output daya yang dihasilkan.

Jenis <i>Hydropower</i>	Keterangan
Large - Hydro	Lebih dari 100 MW dan biasanya terhubung ke jaringan listrik yang besar
Medium - Hydro	Berkisar 15-100 MW dan terhubung ke jaringan listrik
Small - Hydro	Berkisar 1-15 MW dan terhubung ke jaringan listrik
Mini - Hydro	Lebih dari 100 kW, tapi dibawah 1 MW; Salah satu diantaranya, sebagai sistem yang berdiri sendiri atau lebih sering terhubung ke jaringan

Micro - Hydro	Berkisar 5 kW sampai 100 kW; Biasanya disediakan untuk komunitas kecil atau industri pedesaan didalam area yang terpencil dan jauh dari jaringan.
Pico-Hydro	Berkisar beberapa ratus watt hingga 5 kW.

2.1.3 Penerapan Mikrohidro

Biasanya mikrohidro dibangun berdasarkan kenyataan bahwa adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan *head*. Mikrohidro juga dikenal sebagai *white resource* dengan keutamaan bebas biaya bahan bakar karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dapat diubah menjadi energi listrik.

Kelebihan dari PLTMH bahwa terutama pada rangkaian yang sederhana akan dapat menghasilkan energi listrik yang dapat dinikmati sebagai fasilitas kebutuhan sehari-hari dengan biaya yang tidak terlalu mahal, apalagi jika 1 rangkaian digunakan oleh 5 rumah atau lebih akan sangat terjangkau. Selain perawatannya mudah juga tidak perlu mengeluarkan biaya banyak untuk melakukan perawatan

tersebut, hanya perlu pelumasan pada *gear* jika sudah kasar suaranya dan pengecekan lainnya.

Kelemahannya yaitu pembangkit jenis ini dipengaruhi oleh tidak adanya penyimpan arus sehingga pada siang hari tidak diaktifkan. Selain itu dengan daya input sebesar 5000 watt hanya akan menghasilkan daya sebesar 3000 watt saja karena adanya beban putaran pada transmisi, generator dan pendistribusian, kerusakan biasanya pada *gear* dan rantai karena aus dan memuai.

Pada generator keluaran 3000 watt biasanya menggunakan magnet buatan jadi konsumsi listrik harus konstan, apabila pemakaiannya kecil maka daya generator ringan dan perputaran generator akan bertambah besar sehingga generator akan terbakar karena menggunakan magnet buatan, sebaliknya jika pemakaiannya lebih besar maka perputaran generator akan melambat dan lampu-lampu akan meredup. Generator jenis ini digunakan oleh 9 rumah. Pada generator keluaran 500 watt digunakan oleh 2 rumah dan menggunakan magnet tetap, konsumsi listrik juga harus konstan, karena jika konsumsi listrik lebih sedikit maka generator akan berputar lebih cepat dan tidak akan terjadi kebakaran karena menggunakan magnet tetap tetapi bola lampu yang ada akan menyala sangat terang dan akhirnya akan putus atau meledak karena kelebihan daya.^[1]

Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Air mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dari ketinggian tertentu menuju rumah pembangkit (*power house*). Pada rumah pembangkit air akan menumbuk turbin dan menggerakkannya, dimana turbin mengubah energi potensial menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin.

Poros turbin yang berputar kemudian ditransmisikan ke generator dengan menggunakan kopling. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan dialirkan ke beban. Begitulah secara ringkas proses mikrohidro merubah energi aliran dan ketinggian air menjadi energi listrik. Berikut kondisi sederhana untuk penerapan teknologi mikrohidro yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.^{[1][3]}



Gambar 2.1. Penerapan Teknologi Mikrohidro^[3]

Kapasitas PLTMH sangat bergantung pada debit air, dalam penentuan debit air sungai dikenal beberapa metode diantaranya dengan metode menghitung "*catchment area*" (menghitung daerah tangkapan air hujan) dan menggunakan "metode korelasi".

Melalui pengukuran air sungai pada musim kemarau dapat diprediksikan berapa debit air sungai minimum yang dapat dipergunakan. Pengukuran tersebut dilakukan menggunakan pelampung atau *float methode*, cara ini paling mudah diterapkan untuk mengukur kecepatan. Di samping metode di atas sebagai langkah awal menentukan prediksi debit air, pengukuran langsung di musim kemarau adalah merupakan langkah yang sangat bijaksana. Walaupun tingkat akurasi sangat rendah, terutama pada sungai-sungai yang mempunyai dasar tidak rata (*irregular*). Perumusan tersebut terlihat pada rumus 2.1.

$$V_s = \frac{D}{t} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan,

V_s = kecepatan permukaan air (m/s)

D = jarak (m)

t = waktu yang dibutuhkan pelampung untuk mencapai jarak tersebut (detik)

Kecepatan permukaan air tersebut tidak mewakili kecepatan rata-rata dari aliran sungai, sehingga perlu adanya faktor koreksi (C) yang dilihat pada rumus pada persamaan 2.2.

$$V = C \cdot V_s \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan,

V = kecepatan rata-rata (m/s)

V_s = kecepatan permukaan air (m/s)

C = faktor koreksi 0,6 s.d. 0,85 (0,6 dipakai untuk sungai berbatu, 0,85 dipakai untuk sungai relatif rata)

Seperti diketahui debit air sungai adalah hasil kali kecepatan aliran air dengan luas penampang sungai dengan rumus:

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan,

Q = debit air (m³/det) sungai

V = kecepatan rata-rata (m/s)

A = luas penampang (m²)

Kemudian untuk mengetahui keluaran turbin dapat dihitung dengan formula:

$$P_v = g \times Q \times H \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan,

P_v = daya turbin (kW)

Q = debit air (m³/detik)

H = efektif *head* (m)

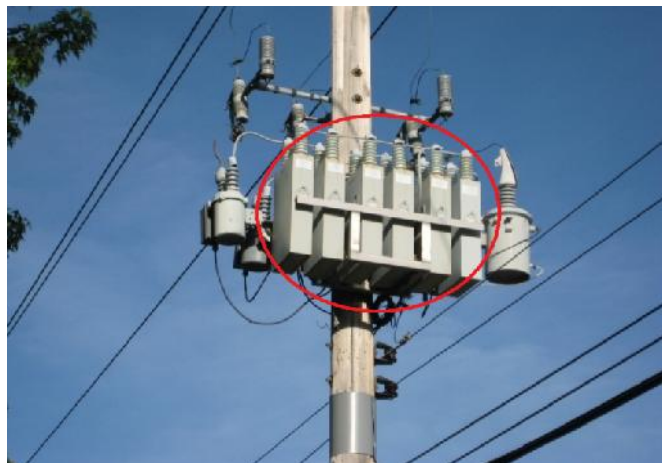
g = gravitasi (9,8 g/cm³)

2.1.4 Pemanfaatan

Pemanfaatan air untuk Pembangkit Listrik sudah merupakan hal yang umum di Indonesia. Dengan potensi sumber air yang besar dan kontinu, pembangkit listrik tenaga air telah menjadi salah satu pembangkit dasar di Indonesia. Kendala yang dihadapi dalam membangun sebuah mikrohidro adalah lokasinya yang umumnya tidak berada di pusat beban sehingga membutuhkan transmisi yang panjang dan aksesibilitas yang rendah pada saat proses pembangunan. Untuk daerah-daerah terpencil dengan potensi air yang baik dan belum terjangkau jaringan listrik, pembangunan *hydropower* ukuran mikro (mikrohidro) berkapasitas hingga 100 kW, sangat tepat dilakukan. Pembangkit tersebut akan dapat menyediakan listrik yang kontinu untuk 1 desa yang terdiri dari sekitar 100 rumah pada jarak yang berdekatan.^[4]

2.2 Kapasitor Dalam Penggunaan Energi Listrik

Tujuan pemasangan kapasitor dalam sistem distribusi untuk mengurangi jatuh tegangan, mengurangi rugi-rugi daya, memperbaiki faktor daya sistem dan lain sebagainya. Tegangan pada sistem ini sangat penting karena tegangan ini berhubungan dengan konsumen. Tegangan ini merupakan salah satu ukuran yang menentukan apakah suatu perusahaan listrik telah memberikan pelayanan yang baik atau belum kepada konsumen. Kapasitor ini sebagai kompensasi beban induktif, disamping untuk menekan rugi-rugi. Menurut ketentuan yang berlaku, bahwa jatuh tegangan yang diperbolehkan pada feeder primer antara transformator distribusi yang pertama dan yang tidak boleh melebihi 6%, serta pada meter konsumen tidak lebih dari 10% sehingga rugi-rugi daya bisa ditekan.



Gambar 2. 2 Kapasitor pada Jaringan Distribusi^[12]

2.2.1 Fungsi Kapasitor Dalam Penggunaan Energi Listrik

Besarnya energi atau beban listrik yang dipakai ditentukan oleh resistansi (R), induktansi (L) dan kapasitansi (C). Besarnya pemakaian energi listrik itu disebabkan karena banyak dan beraneka ragam peralatan (beban) listrik yang digunakan. Sedangkan beban listrik yang biasa digunakan umumnya bersifat induktif dan kapasitif. Dimana beban induktif (positif) membutuhkan daya reaktif seperti transformator pada *rectifier*, motor induksi (AC) dan lampu TL. Sedang beban kapasitif (negatif) mengeluarkan daya reaktif. Daya reaktif itu merupakan daya yang diperlukan untuk proses transmisi energi listrik pada beban. Jadi yang menyebabkan pemborosan energi listrik adalah banyaknya peralatan yang bersifat induktif. Berarti dalam menggunakan energi listrik ternyata pelanggan tidak hanya dibebani oleh daya aktif (kW) saja tetapi juga daya reaktif (kvar). Penjumlahan kedua daya itu akan menghasilkan daya nyata yang merupakan daya yang disuplai oleh PLN.

Dari Gambar 2.7. tersebut diperoleh bahwa perbandingan daya aktif (kW) dengan daya semu (kVA) dapat didefinisikan sebagai faktor daya (pf) atau $\cos \phi$.

$$\cos \phi (pf) = \frac{P (kW)}{S (kVA)} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$P (kW) = S (kVA) \cdot \cos \phi \dots \dots \dots (2.6)$$

Akibat menurunnya faktor daya itu maka akan muncul beberapa persoalan sebagai berikut :

1. Membesarnya penggunaan daya listrik kWh karena rugi-rugi.

2. Membesarnya penggunaan daya listrik kvar.
3. Memperburuk kualitas tegangan.

Untuk memperbesar harga $\cos \phi$ (pf) yang rendah hal yang mudah dilakukan adalah memperkecil sudut ϕ sehingga menjadi ϕ_1 , berarti $\phi > \phi_1$. Sedang untuk memperkecil sudut ϕ itu hal yang mungkin dilakukan adalah memperkecil komponen daya reaktif (kvar). Berarti komponen daya reaktif yang ada bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangan itu bisa dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif yaitu berupa kapasitor.

2.2.2 Proses Kerja Kapasitor

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar faktor daya dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian itu diberi tegangan maka elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian elektron akan ke luar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkaian yang memerlukannya dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal (tetap) maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron (I_c) berarti sama juga kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban. Karena beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitor (-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil. Kemudian hubungan kapasitor dengan tegangan yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$I_c = \frac{V_c}{X_c} \dots\dots\dots(2.7)$$

Berdasarkan persamaan diatas maka dapat diketahui nilai reaktansi kapasitifnya yaitu :

$$X_c = \frac{V_c}{I_c} \dots\dots\dots(2.8)$$

Sedangkan untuk tegangan berlaku persamaan

$$V_c = I_c \cdot X_c \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan

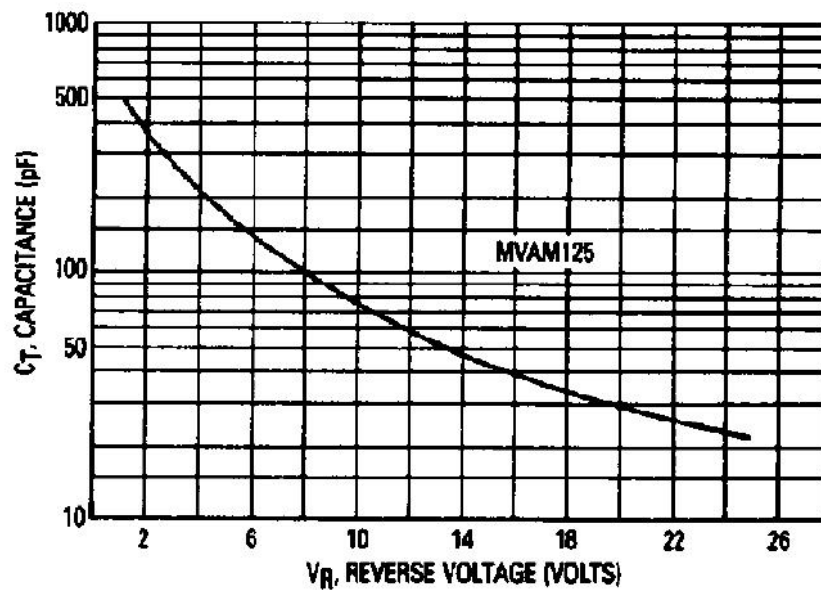
X_c = Reaktansi kapasitif

V_c = Tegangan kapasitor

I_c = Arus kapasitor

C = Kapasitas kapasitor

Adapun kurva karakteristik hubungan antara kapasitor dengan tegangan yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut



Gambar 2.3. Kurva karakteristik hubungan tegangan dengan kapasitas kapasitor^[13]

Berdasarkan Gambar 2.3 menyatakan bahwa hubungan kapasitor dengan tegangan berbanding terbalik yaitu semakin besar nilai kapasitor (C) maka semakin kecil tegangan yang dihasilkan

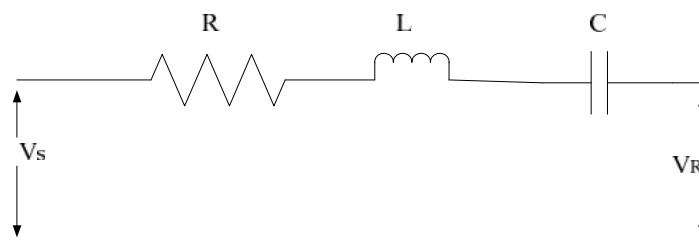
2.2.3 Dampak dari Pemasangan Seri dan Kapasitor *Shunt* (Paralel) Pada Saluran Distribusi

Faktor daya dapat diperbaiki dengan memasang kapasitor pengkoreksi faktor daya pada sistem distribusi listrik/instalasi listrik di pabrik/industri. Kapasitor bertindak sebagai pembangkit daya reaktif dan oleh karenanya akan mengurangi jumlah daya reaktif, juga daya semu yang dihasilkan oleh bagian utilitas. Fungsi utama dari pemasangan kapasitor seri dan *shunt* adalah untuk mengurangi rugi – rugi daya pada saluran dan jatuh tegangan

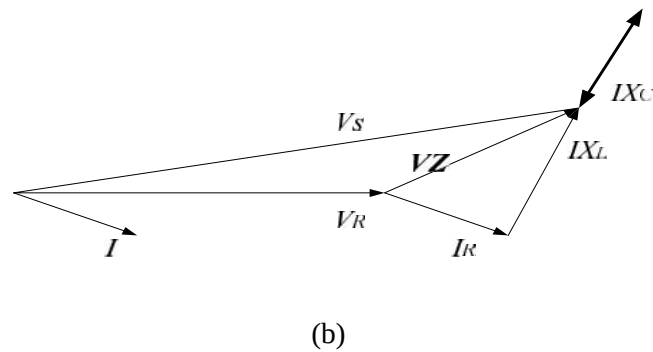
pada titik dimana dipasang kapasitor. Pada dasarnya kapasitor *shunt* digunakan untuk merubah faktor daya beban, sedangkan kapasitor seri digunakan untuk menurunkan tegangan induktif (IX_L) yang berlebihan.

1. Kapasitor Seri

Ketika menggunakan kapasitor seri, maka kapasitor dihubungkan secara seri dengan saluran. Kapasitor seri digunakan secara terbatas pada jaringan distribusi. Hal ini karena kapasitor seri memiliki masalah tentang batas/ *range* yang dapat digunakan. Oleh karena itu pada umumnya pemasangan kapasitor seri ini biasanya digunakan untuk saluran yang tidak terlalu luas, sehingga kapasitansi kapasitor yang dihasilkanpun akan kecil. Akan tetapi pemasangan kapasitor seri ini juga memiliki keunggulan bila dibandingkan dengan kapasitor *shunt* yaitu kapasitor seri akan lebih banyak menghasilkan kenaikan tegangan dari kapasitor shunt pada faktor daya yang kecil. Berikut adalah gambar rangkaian ekivalen saluran dan gambar diagram fasor ketika saluran dikompensasi oleh kapasitor seri.



(a)



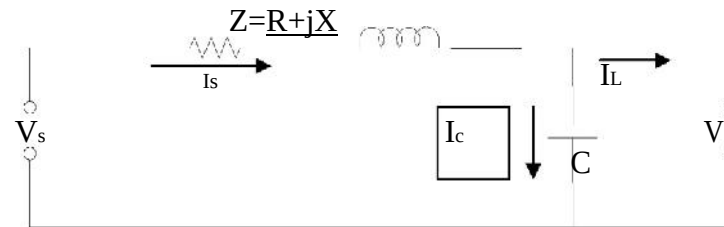
Gambar 2.4 Gambar Rangkaian Ekvivalen dan Diagram Fasor ketika saluran dikompensasi kapasitor seri.

Gambar diatas menunjukkan diagram fasor kompensasi kapasitor seri pada saat *pf lagging* (beban induktif). Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa dengan pemasangan kapasitor seri maka besarnya jatuh tegangan yang diakibatkan oleh reaktansi induktif pada saluran dapat ditekan.

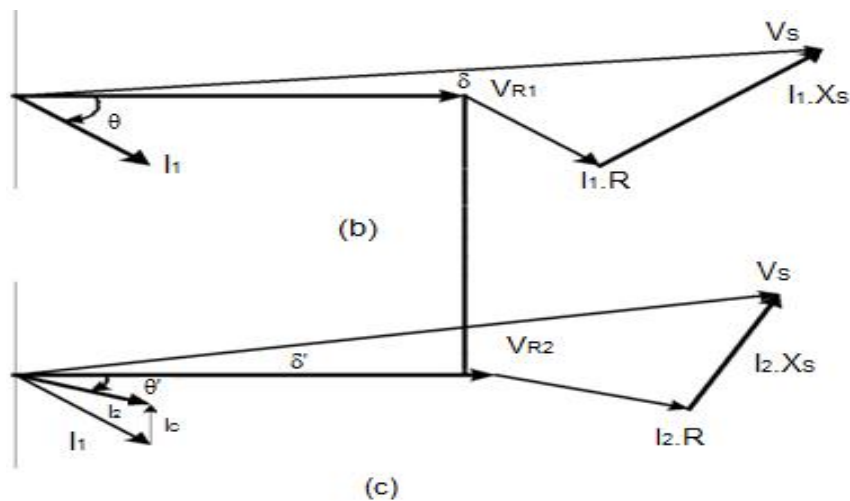
2. Kapasitor *Shunt* / Paralel

Ketika menggunakan kapasitor *shunt*, maka kapasitor dihubungkan secara paralel dengan saluran. Berbeda dengan kapasitor seri kapasitor shunt dapat digunakan secara luas pada saluran distribusi. Sama halnya seperti kapasitor seri, kapasitor *shunt* menghasilkan daya reaktif untuk memperkecil rugi- rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran distribusi. Pemasangan kapasitor shunt pada saluran akan mengakibatkan magnitude dari arus sumber dapat dikurangi, sehingga besarnya faktor daya pun dapat diperbaiki. Perbaikan faktor daya ini akan mengakibatkan besarnya jatuh tegangan antara saluran kirim dengan ujung beban dapat dikurangi. Berikut ini adalah gambar rangkaian

ekivalen saluran dan gambar diagram fasor ketika saluran dikompensasi oleh kapasitor *shunt*.



(a)



(c)

Gambar 2.5. Gambar Rangkaian Ekivalen dan Diagram Fasor ketika saluran dikompensasi kapasitor shunt.

Dari Gambar 2.5 diatas dapat dijelaskan bahwa:

$$V_{R1} = V_S - (I_R.R + jI_L.X_S) \dots \dots \dots (2.11)$$

$$V_{R2} = V_S - (I_R.R + jI_L.X_S - jI_C.X_S) \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\Delta V_R = V_{R2} - V_{R1} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$= V_S - (I_R.R + jI_L.X_S - jI_C.X_S) - [V_S - (I_R.R + jI_L.X_S - jI_C.X_S)]$$

$$= jI_C.X_S \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana

I_R = Komponen real arus (Ampere).

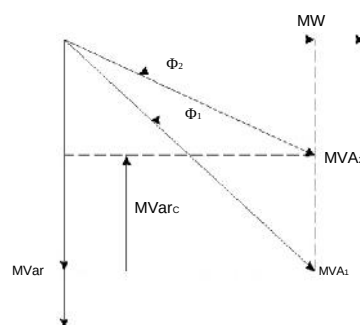
I_L = Komponen reaktif arus lagging terhadap tegangan (A).

I_C = Komponen reaktif arus leading terhadap tegangan (A)

R = Resistansi saluran (Ohm).

X_S = Reaktansi jaringan (Ohm).

Ketika memasang kapasitor paralel, terjadi injeksi arus I_C pada sistem sehingga faktor daya meningkat dan I_L berkurang. Hal itu mengakibatkan jatuhnya tegangan berkurang $I_L \times X_S$ sehingga tegangan V_R meningkat. Dari Persamaan (2.12), menyatakan bahwa tegangan kirim yang sama diperoleh tegangan terima yang lebih besar ketika sistem ditambahkan kapasitor paralel. Hal itu terjadi ketika faktor daya bus diperbaiki dengan menambah kapasitor paralel, tegangan terima bus juga meningkat. Untuk memperoleh hasil yang optimal, kekurangan daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban sedapat mungkin dipenuhi oleh kapasitor paralel yang dipasang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut:



Gambar 2.6. Perbandingan Besar Daya Semu Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor Paralel

Gambar.2.6 merupakan vektor diagram sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor yang dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut:

$$MVA_1 = MW - jMVAR \dots\dots\dots(2.15)$$

$$MVA_2 = MW - jMVAR - jMVAR_c \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\Delta MVA = MVA_2 - MVA_1 = j MVAR_c \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

MVA = Daya semu

MW = Daya aktif

$MVAR$ = Daya reaktif

$MVAR_c$ = Injeksi daya reaktif dari kapasitor

Dengan terpasangnya kapasitor pada sistem maka akan ada penambahan daya aktif pada sistem dan juga kualitas tegangan menjadi baik.

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

$$\tan \theta = \frac{Q}{P} \dots\dots\dots(2.18)$$

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

$$Q = P \times \tan \theta \dots\dots\dots(2.19)$$

Berikut ini beberapa keuntungan meningkatkan faktor daya :

- Kapasitas distribusi sistem tenaga listrik akan meningkat;

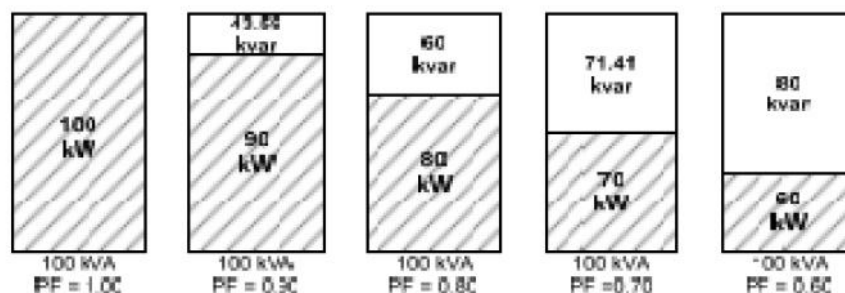
- Mengurangi rugi-rugi daya pada sistem;
- Adanya peningkatan tegangan karena daya meningkat.

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

- Membesarnya penggunaan daya listrik kWh karena rugi-rugi;
- Membesarnya penggunaan daya listrik kVAR;
- Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan .

2.2.4 Koreksi Faktor Daya

Pembangkitan daya reaktif pada perencanaan daya dan pensuplaiannya ke beban-beban yang berlokasi pada jarak yang jauh adalah tidak ekonomis, tetapi dapat dengan mudah disediakan oleh kapasitor yang ditempatkan pada pusat beban.



Gambar 2.7. Ilustrasi dari perubahan daya aktif dan daya reaktif sebagai fungsi dari faktor daya , daya semu konstan.

Dengan mengasumsikan beban disuplai dengan daya nyata (aktif) P , daya reaktif tertinggal Q_1 , dan daya semu S_1 , pada faktor daya tertinggal bahwa

$$\cos \theta_1 = \frac{P}{S_1} \dots \dots \dots (2.20)$$

Atau

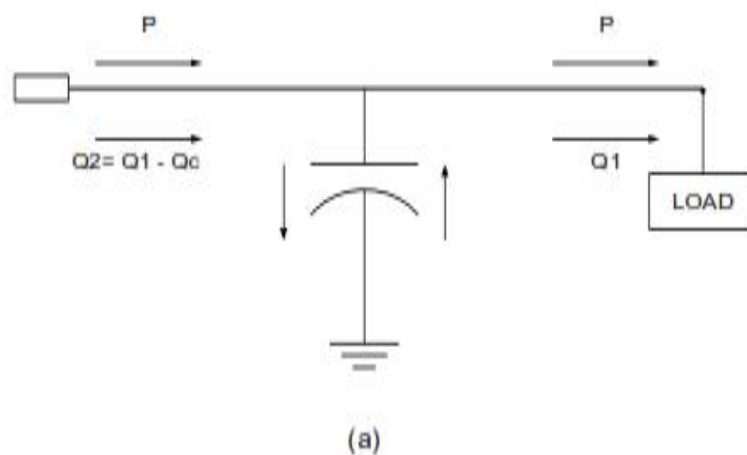
$$\cos \theta_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}} \dots \dots \dots (2.21)$$

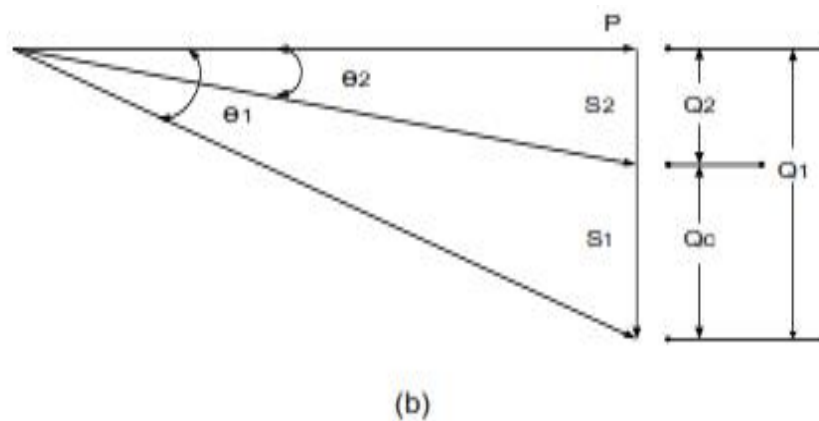
ketika kapasitor *shunt* Q_c kVA dipasang pada beban, faktor daya dapat ditingkatkan dari $\cos \theta_1$ ke $\cos \theta_2$, dimana :

$$\cos \theta_2 = \frac{P}{S_2}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1^2 - Q_c^2)}} \dots \dots \dots (2.22)$$





Gambar 2.8. Ilustrasi koreksi faktor daya

Oleh karena itu, dapat dilihat dari Gambar 2.8.b, daya semu dan daya reaktif menurun dari $S1$ kVA menjadi $S2$ kVA dan dari $Q1$ kvar menjadi $Q2$ kvar. Tentu saja, penurunan hasil daya reaktif dalam penurunan arus total, yang disebabkan oleh turunnya penyusutan daya. Sehingga koreksi faktor daya menghasilkan penghematan ekonomi dalam pengeluaran yang besar dan pengeluaran bahan bakar melalui pengurangan kapasitas kilovolt ampere dan penurunan rugi daya dalam semua perlengkapan diantara titik yang dipasang kapasitor dan rencana sumber daya, termasuk saluran distribusi, trafo di gardu induk dan saluran transmisi. Peningkatan faktor daya adalah titik dimana keuntungan ekonomis dari pemasangan kapasitor *shunt* sama dengan harga dari kapasitor tersebut.

Keuntungan lain dari pemasangan kapasitor adalah perbaikan faktor daya dan pengurangan kVA yang mengalir pada jaringan. Dengan pemasangan kapasitor akan mengurangi daya reaktif yang mengalir pada jaringan,

sehingga dengan daya nyata yang sama, maka faktor daya akan lebih besar dan kVA akan berkurang.

Dari Gambar 2.8 dapat ditentukan bahwa faktor daya sebelum dan sesudah dipasang kapasitor adalah $\cos \theta$ dan $\cos \theta_{new}$. Setelah dipasang kapasitor, faktor daya menjadi :

$$Pf_{new} = \cos \left\{ \arctan \left(\frac{Q - Q_c}{P} \right) \right\} \dots \dots \dots (2.23)$$

Maka ;

$$S = \sqrt{(P^2) + [Q - Q_c]^2} \dots \dots \dots (2.24)$$

Dengan adanya perbaikan faktor daya, akan timbul pengurangan kVA yang mengalir pada jaringan. Sehingga pada jaringan tersebut dapat ditambahkan sejumlah kVA sebesar pengurangan kVA yang terjadi. Tambahan kVA ini merupakan selisih antara kVA sebelum dipasang kapasitor dengan kVA setelah dipasang kapasitor.

$$\Delta D = S - \sqrt{(P^2) + [Q - Q_c]^2} \dots \dots \dots (2.25)$$

dimana :

ΔD = kVA tambahan

S_1 = kVA saat beban puncak sebelum dipasang kapasitor

S_2 = kVA saat beban puncak setelah dipasang kapasitor

P = daya aktif

Q = daya reaktif

Q_c = rating dari kapasitor (kVAR)

Dengan adanya kVA tambahan pada suatu jaringan, akan menambah jumlah beban yang dapat ditanggung oleh jaringan tersebut. Hal ini merupakan suatu keuntungan, karena apabila ada tambahan beban pada daerah dimana jaringan itu berada, daya listriknya dapat dikirim melalui jaringan tersebut tanpa perlu membangun jaringan yang baru.

2.2.4 Kompensasi Rugi-Rugi dengan Penempatan Kapasitor

Persamaan untuk reduksi setelah penambahan kapasitor dapat dilihat pada rumus (2.26) atau (2.27)

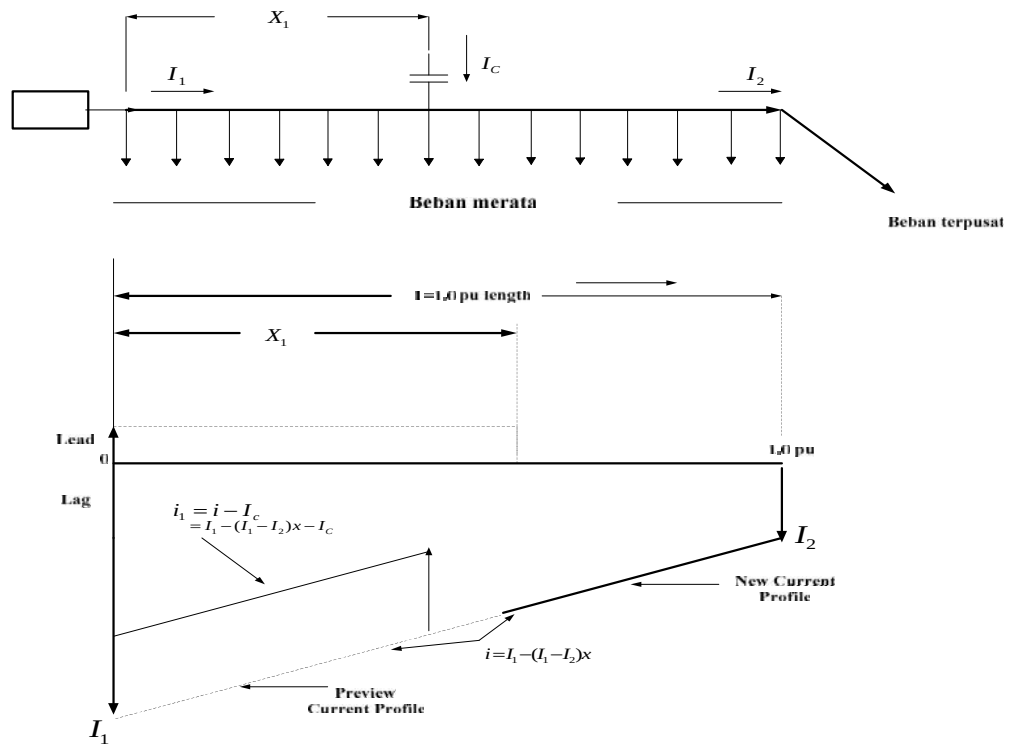
$$P''_{LS} = 3 \int_{x=0}^{x_1} [I_1 - (I_1 - I_2)x - I_c]^2 R dx + 3 \int_{x=x_1}^{1.0} [I_1 - (I_1 - I_2)x^2] R dx \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

atau

$$P_{LS} = (I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2) R + 3x_1 [(x_1 - 2)I_1 I_c - x_1 I_1 I_c + I_c^2] R \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

Sebagai hasil penambahan kapasitor dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta P_{LS} = \frac{P_{LS} - P''_{LS}}{P_{LS}} \quad \dots\dots\dots(2.28)$$



Gambar 2.9. Rugi-rugi dengan satu kapasitor^[7]

Rumus dari (2.26) dan (2.27) dapat disubstitusikan pada rumus (2.28)

$$\Delta P_{LS} = \frac{-3x_1 \left[(x_1 - 2)I_1 I_C - x_1 I_2 I_C + I_C^2 \right] R}{(I_1 + I_1 I_2 + I_2^2) R} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\Delta P_{LS} = \frac{3x_c}{1 + \left(\frac{I_2}{I_1} \right) + \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^2} \left[\left(2 - x_1 \right) \left(\frac{I_c}{I_1} \right) + x_1 \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \left(\frac{I_2}{I_1} \right) - \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(2.30)$$

Jika c didefinisikan sebagai rasio dari kilovoltamper kapasitif (ckVA)

kapasitor dengan total beban reaktif , sehingga :

$$c = \frac{ckVA_{daripada\ pasitoryan\ gterpasang}}{total\ beban\ reaktif} \dots\dots\dots(2.31)$$

selanjutnya

$$c = \frac{I_c}{I_1} \dots\dots\dots(2.32)$$

Jika λ didefinisikan sebagai rasio dari arus reaktif pada segmen akhir dengan arus reaktif pada segmen awal ,sehingga :

$$\lambda = \frac{\text{arusreaktifpadasegmenakhir}}{\text{arusreaktifpadasegmenawal}} \dots\dots\dots(2.33)$$

$$\lambda = \frac{I_2}{I_1} \dots\dots\dots(2.34)$$

Jika persamaan (2.29) dan (2.30) disubstitusikan ke persamaan (2.35) reduksi yang hilang per unit didapatkan menjadi :

$$\Delta P_{LS} = \frac{3x_1}{1 + \lambda + \lambda^2} [(2 - x_1)c + x_1 I_c - c^2] \dots\dots\dots(2.35)$$

Atau

$$\Delta P_{LS} = \frac{3c x_1}{1 + \lambda + \lambda^2} [(2 - x_1) + x_1 \lambda - c] \dots\dots\dots(2.36)$$

Jika α didefinisikan sebagai nilai kebalikan dari $1 + \lambda + \lambda^2$ sehingga :

$$\alpha = \frac{1}{1 + \lambda + \lambda^2} \dots\dots\dots(2.37)$$

Selanjutnya persamaan (2.36) dapat juga dinyatakan sebagai

$$\Delta P_{LS} = 3\alpha c x_1 [(2 - x_1) + \lambda x_1 - c] \dots\dots\dots(2.38)$$

2.2.5 Pemasangan Kapasitor

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperkecil atau memperbaiki faktor daya penempatannya ada dua cara :

1. Terpusat kapasitor ditempatkan pada:
 - a. Sisi primer dan sekunder transformator
 - b. Pada bus pusat pengontrol
2. Pada Jaringan Distribusi^[8].