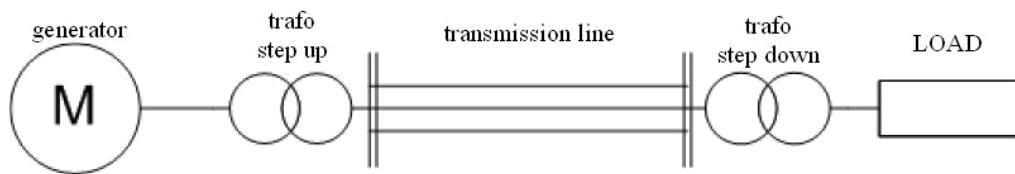


BAB II

PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH

A. Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa

Secara umum sistem tenaga listrik terbagi ke dalam beberapa bagian yakni pembangkitan, penyaluran (transmisi) dan beban. Berikut skema suatu sistem tenaga listrik tiga fasa.



Gambar 1. Skema Sistem tenaga listrik
Sumber : (Boromeus Sakti Wibisana, 2008:3)

Generator akan membangkitkan daya listrik yang akan disalurkan, daya yang dibangkitkan adalah daya listrik tiga fasa. Pada sistem transmisi dibutuhkan daya yang besar, karena pada sistem transmisi ada kerugian daya yang disebabkan oleh faktor jarak. Untuk mengurangi kerugian daya tersebut tegangan akan dinaikkan menggunakan trafo *step-up* menjadi tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi. Agar dapat digunakan oleh konsumen, sebelum didistribusikan tegangan kembali diturunkan menjadi 380/220 V menggunakan trafo *step-down*. Daya yang diterima oleh konsumen adalah daya listrik arus bolak-balik tiga fasa. Untuk industri, daya yang digunakan adalah daya listrik tiga fasa, sedangkan untuk rumah tangga daya yang digunakan adalah daya listrik satu fasa.

B. Daya Pada Sistem Tiga Fasa

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha.

Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau *Horsepower* (HP), *Horsepower* merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 Watt. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt. Daya pada suatu sistem tegangan bolak-balik (AC) dikenal dengan tiga macam yaitu daya aktif (nyata) dengan simbol (P) satuannya adalah Watt (W), daya reaktif dengan simbol (Q) satuannya adalah volt ampere reactive (VAR) dan daya semu dengan simbol (S) satuannya adalah volt ampere (VA).

C. Macam-Macam Jenis Daya Listrik

1. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya rata-rata yang sesuai dengan kekuatan sebenarnya ditransmisikan atau dikonsumsi oleh beban (*Von Meier Alexander*, 2006:81). Beberapa contoh dari daya aktif adalah energi panas, energi mekanik, cahaya dan daya aktif memiliki satuan berupa watt (W).

Berikut ini merupakan persamaan daya aktif menurut *Von Meier Alexander* (2006:81) :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \text{ (1 phasa)}$$

$$P = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi \text{ (3 phasa)}$$

Dimana P = Daya aktif(Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\cos \phi$ = Faktor daya

VL = Tegangan Jaringan (Volt)

IL = Arus Jaringan (Ampere)

2. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah Daya reaktif daya yang mengatur medan magnet pada motor sehingga torsi diproduksi (*C. Sankaran*, 2002:142). Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah trasnformator, motor, lampu pijar dan lain – lain. Daya reaktif memiliki satuan berupa volt ampere reactive (VAR). Berikut ini merupakan persamaan daya reaktif menurut *Von Meier Alexander* (2006:82):

$$P = V \cdot I \cdot \sin \phi \text{ (1 phasa)}$$

$$P = 3 \cdot VL \cdot IL \cdot \sin \phi \text{ (3 phasa)}$$

Dimana Q = Daya Reakrtif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

VL = Tegangan Jaringan (Volt)

3. Daya Semu

Daya Semu adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan (*Von Meier Alexander*, 2006:80) atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan

daya reaktif. Daya semu ialah daya yang dikeluarkan sumber *alternation current* (AC) atau di serap oleh beban. Satuan dari daya semu yaitu *volt ampere* (VA). Berikut persamaan dari daya semu menurut *Von Meier Alexander* (2006:80):

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms}$$

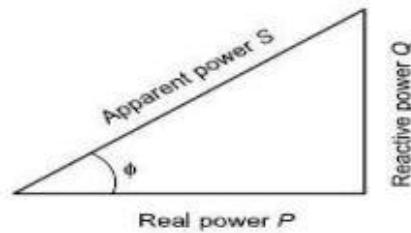
Dimana S = Daya Semu (VA)

V_{rms} = Tegangan (Volt)

I_{rms} = Arus (Ampere)

D. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe- tipe daya yang berbeda (Daya aktif, Daya reaktif dan Daya semu) berdasarkan prinsip trigonometri.



Gambar 2. Segitiga Daya
Sumber : (*Von Meier Alexander*, 2006:83)

Dimana berlaku hubungan : $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

$$S = P / \cos \phi$$

$$Q = S / \sin \phi$$

E. Kualitas Daya Listrik

Listrik yang berkualitas adalah listrik yang mempunyai tegangan dan frekuensi yang konstan sesuai dengan nilai nominalnya. Dalam kisaran yang ditentukan, frekuensi yang stabil dan sangat dekat dengan nilai nominalnya dalam sepersekian persen (*Von Meier Alexander, 2006:262*). Permasalahan yang sering terjadi pada kualitas daya listrik (*power quality*) yaitu permasalahan daya listrik yang mengalami penyimpangan baik tegangan, arus, dan frekuensi sehingga menimbulkan kegagalan atau kesalahan operasi pada peralatan.

Suplai daya listrik dari generator pembangkit sampai ke beban dioperasikan dalam batas toleransi parameter kelistrikkannya seperti tegangan, arus, frekuensi, dan bentuk gelombang. Perubahan dan deviasi diluar batas toleransi parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap kualitas daya yang menyebabkan operasi tidak efisien dan dapat merusak perangkat (*Von Meier Alexander, 2006:262*).

Kualitas daya listrik banyak dipengaruhi antara oleh jenis beban yang tidak linear, ketidak seimbangan pembebanan, faktor daya dan lain- lain. Penurunan kualitas daya dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi pada sisi beban, bahkan menyebabkan penurunan kapasitas daya pada sumber pembangkit (generator).

F. Faktor Daya

Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif dengan daya semu (*C. Sankaran*, 2002:202). Faktor daya atau faktor kerja menggambarkan sudut phasa antara daya aktif dan daya semu. Daya aktif digunakan untuk mengoperasikan beban-beban pada pelanggan listrik. Daya semu dihasilkan oleh generator pembangkit yang ditransmisikan ke pelanggan listrik. Daya reaktif yang bertambah akan menyebabkan turunnya faktor daya listrik. Cara yang mudah untuk mengantisipasi turunnya faktor daya listrik dapat dilakukan dengan memilih beban-beban yang mempunyai faktor daya besar juga dapat dilakukan dengan memasang *capasitor*.

Capasitor adalah komponen listrik yang justru menghasilkan daya reaktif pada jaringan dimana dia tersambung. Pemasangan *capasitor* dapat memperbaiki faktor daya, jika faktor daya di perbaiki maka daya reaktif dapat berkurang dan mendekati daya aktif. Suatu beban dengan faktor daya 1.0 merupakan beban yang hanya mengandung nilai resistansi murni dan merupakan pembebanan yang paling efisiensi. Beban dengan faktor daya yang rendah (0.5) merupakan beban yang mengandung nilai induktansi yang menyebabkan kerugian yang lebih tinggi dalam sistem suplai tenaga listrik.

Faktor daya yang rendah berhubungan dengan beda fasa antara arus dan tegangan pada terminal beban. Sudut fasa arus beban yang rendah

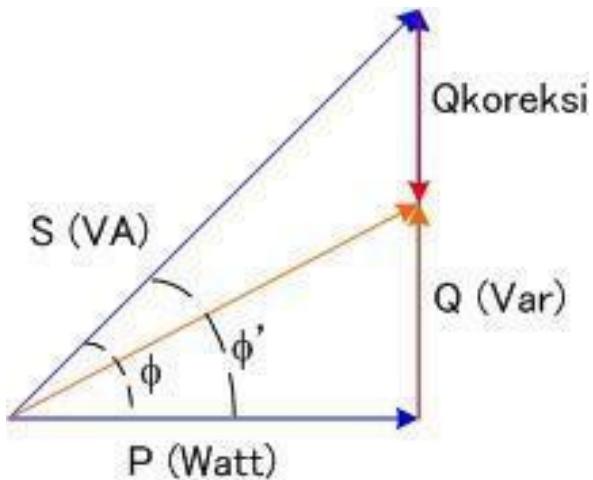
biasanya diakibatkan oleh penggunaan beban induktif seperti transformator, motor induksi, lampu TL dan beban elektronik lainnya. Berikut pembuktian melalui persamaan betapa pentingnya faktor daya yang tinggi dalam sistem kelistrikan.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$
$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi} = \frac{P}{V \cdot \text{PF}}$$

Sehingga untuk tiap daya P yang diserap dan tegangan V yang digunakan, semakin kecil faktor daya yang digunakan maka akan semakin besar arus I ke beban. Arus yang lebih tinggi dari yang diperlukan sangat tidak diinginkan karena semakin besar pula rugi-rugi tegangan dan rugi-rugi daya RI^2 pada saluran dan peralatan distribusi listrik yang lain.

G. Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya untuk memperbesar nilai $\cos \varphi$ (pf) yang rendah. Hal yang mudah dilakukan adalah dengan cara mempersempit sudut phi 1 sehingga menjadi phi 2 berarti $\phi_1 > \phi_2$. Usaha untuk memperkecil sudut phi itu hal yang mungkin dilakukan adalah memperkecil komponen daya reaktif (VAR) (Dhida Aditya Puutra, 2012:3). Komponen daya reaktif yang bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangan tersebut dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif yaitu berupa kapasitor atau lebih dikenal dengan istilah *capasitor bank*. Perbaikan faktor daya dapat diilustrasikan seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3. Prinsip perbaikan faktor daya
Sumber : (Dhida Aditya Putra, 2012:14)

Untuk mendapatkan kapasitansi minimum yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya menjadi nilai yang diinginkan, prosedur umum pertamanya adalah menghitung nilai VAR awal Q yang dikonsumsi beban. Hal ini diperoleh dengan

$$Q = P \tan \theta$$

Kemudian menentukan sudut impedansi akhir θ dari nilai faktor daya yang diinginkan:

$$\theta = \cos^{-1} \text{PF}$$

Sudut ini digunakan pada

$$Q = P \tan \theta$$

Untuk menentukan nilai total VAR Q , untuk dikombinasikan dengan beban. Yang terakhir adalah mencari nilai VAR ΔQ dari kapasitor yang harus disediakan.

$$\Delta Q = Q_i - Q_f$$

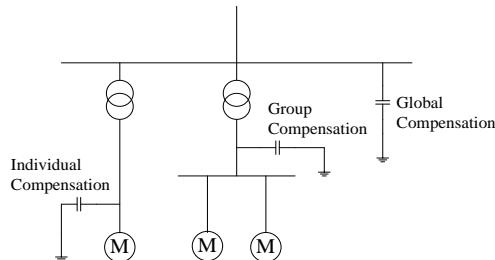
$$\Delta Q = P [\tan(\cos^{-1} \text{Pf}_i) - \tan(\cos^{-1} \text{Pf}_f)]$$

H. Metode Perbaikan Faktor Daya

Metode perbaikan faktor daya dengan kapasitor bank disebut juga metode kompensasi yaitu menambah daya reaktif ke jaringan listrik. Metode perbaikan faktor daya dari segi lokasi pemasangan dari *capasitor bank* terbagi dalam tiga jenis yaitu kompensasi sendiri (*individual compensation*), kompensasi grup (*group compensation*), dan kompensasi terpusat (*central compensation*). Sedangkan pada pengoperasiannya kompensator dapat dibedakan menjadi kompensasi tetap (*fixed compensation*) dan kompensasi otomatis (*automatic compensation*)

I. Lokasi Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank

Cara pemasangan instalasi kapasitor bank dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu : *global compensation*, *individual compensation* dan *group compensation*.



Gambar 4. Penempatan kapasitor bank
Sumber : (Muhammad Rizal, 2012:10)

1. *Global Compensation* : *capasitor* dipasang di induk panel (MDP), sehingga Arus yang turun hanya di penghantar antara panel MDP dan transformator, sedangkan arus yang lewat setelah MDP tidak turun.

2. *Group Compensation* : *capasitor* yang terdiri dari beberapa panel kapasitor dipasang dipanel SDP (pada industri dengan kapasitas beban terpasang besar sampai ribuan kva).
3. *Individual Compensation* : *capasitor* langsung dipasang pada masing masing beban khususnya yang mempunyai daya yang besar, cara ini lebih efektif dan lebih baik dari segi teknisnya. Namun kekurangannya adalah harus menyediakan ruang atau tempat khusus untuk meletakkan kapasitor tersebut.

J. Software ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*)

Dalam perancangan dan studi sebuah sistem tenaga listrik, sebuah software aplikasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem direalisasikan. ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) *PowerStation* 12.6.0 merupakan salah satu *software* aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik.

ETAP mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, dan online untuk pengelolaan data *realtime* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *realtime*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk mengstudi pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

Dalam mengstudi sistem tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (single line diagram) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam studi rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, busbar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal.

Selain penggambaran *single line diagram* secara grafis terdapat beberapa studi yang bisa dilakukan dengan menggunakan software Etap yaitu *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), *motor starting*, *harmonics transient stability*, *protective device coordination*, dan *cable derating*. Sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat dirubah langsung dari diagram satu garis atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP adalah sebagai berikut:

1. *One line diagram*, menunjukkan hubungan antar komponen atau peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
2. *Library*, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang

detail atau lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi atau studi.

3. *Standard* yang digunakan biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang digunakan.
4. *Study case*, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil studi.