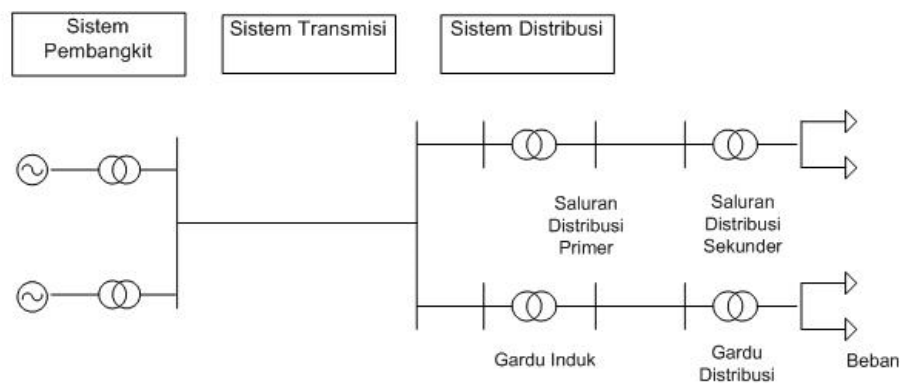


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa sistem tenaga listrik terdiri dari tiga kelompok jaringan yaitu pembangkitan, transmisi dan distribusi. Pada pusat pembangkit terdapat generator dan trafo penaik tegangan. Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Lalu melalui trafo penaik tegangan, energi listrik ini kemudian dikirimkan melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat-pusat beban.



Gambar 2.1 Diagram Satu Garis Sistem Daya Listrik

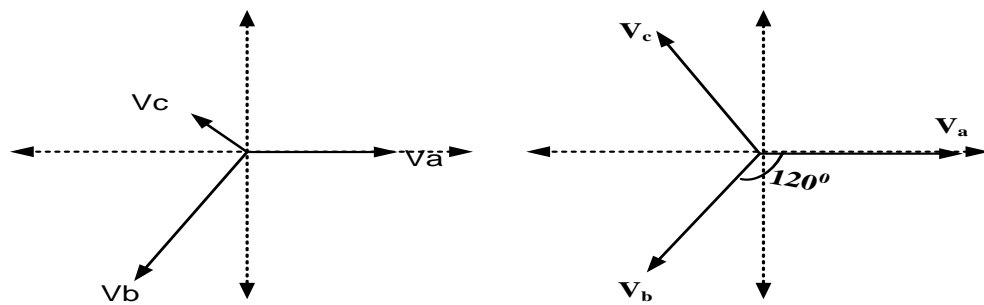
Tegangan transmisi ini dinaikkan dengan maksud untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi. Dengan demikian

saluran transmisi bertegangan tinggi akan membawa aliran arus yang rendah dan berarti akan mengurangi rugi-rugi daya transmisi. [2]

Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan tersebut akan kembali diturunkan melalui trafo penurun tegangan yang terdapat pada gardu induk distribusi menjadi tegangan menengah maupun tegangan rendah yang kemudian akan disalurkan melalui saluran distribusi menuju pusat-pusat beban seperti beban rumah tangga, sosial, publik, bisnis dan industri. Berdasarkan level tegangannya sistem distribusi diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu 1). Sistem distribusi primer dan 2). Sistem distribusi sekunder.

2.2 Sistem Tiga Fasa Tak Seimbang

Pada Jaringan tiga fasa seimbang fasor urutan fasa mempunyai besaran yang sama dengan pergeseran sudut fasor sebesar 120° , dimana urutan fasanya berlawanan arah jarum jam. Jika terjadi ketidakseimbangan fasor tegangan yang biasanya disebabkan oleh perbedaan impedansi akibat pembebanan yang tidak sama misalkan pada fasa c beban-nya lebih banyak, maka fasor tegangan menjadi tidak seimbang lagi dimana besaran fasa c menjadi lebih kecil sedangkan fasa a dan fasa b dimungkinkan lebih besar dari sebelumnya. [3]



Gambar 2.2 Tegangan Fasa [1]

a). Kondisi Tidak Seimbang dan b). Kondisi Seimbang [3]

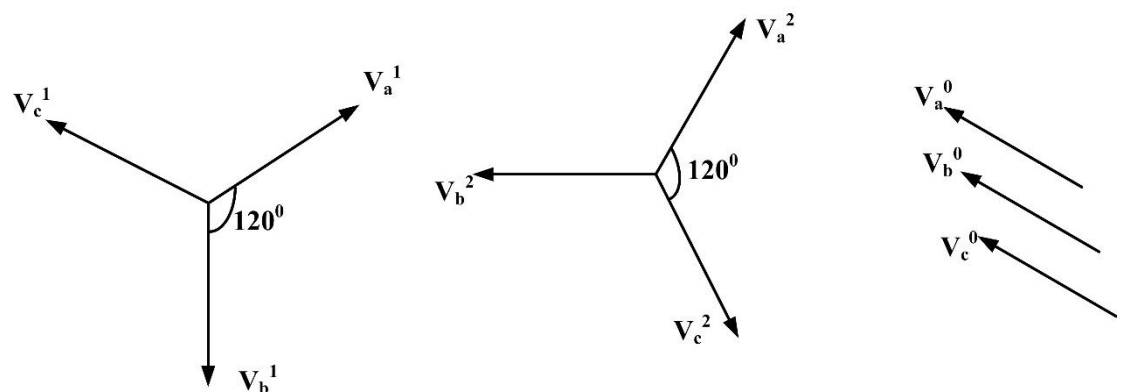
Ada dua kemungkinan mengapa sistem menjadi tidak seimbang :

1. Tegangan sumber tidak seimbang yaitu tidak sama besar magnitudo tegangannya atau beda sudut fasa tidak sama
2. Impedansi beban tidak sama.

Menurut *C. L. Fortescue* yang menyatakan tiga fasor tegangan tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga fasa yang seimbang dengan menggunakan komponen simetris. Komponen simetris tersebut yaitu urutan positif, negatif dan urutan nol. Satu kesatuan tiga fasor tak seimbang ini, dianggap sebagai tiga komponen fasor seimbang yaitu :

1. Komponen urutan nol diberi tambahan indeks 0 yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar dan dengan pergeseran nol antara fasor yang satu dengan yang lain.
2. Komponen urutan positif diberi tambahan indeks 1 yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120^0 dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
3. Komponen urutan negatif diberi tambahan indeks 2 yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar, terpisah dengan satu yang lain dalam fasa sebesar 120^0 dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.

Dasar pemahaman dalam metode komponen simetris adalah bagaimana suatu sistem tenaga yang tidak seimbang pada rangkaian tiga fasa dapat diuraikan menjadi fasor-fasor yang seimbang. [1]



Gambar 2.3 Komponen Seimbang dari Fasor Tegangan Tiga-Fasa Tak

Seimbang [1]

(a) Urutan Fasor Positif , (b) Urutan Fasor Negatif dan (c) Urutan Fasor Zero.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Moh. Dahlan, ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut timbullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Setelah dianalisis, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar, maka arus netral yang muncul juga akan semakin besar. [11] Arus netral ini sangat berpengaruh pada sistem jika arus netralnya berlebihan, dalam hal ini dapat mengakibatkan antara lain :

- 1) Terjadinya kegagalan pengawatan pada kawat netral.
- 2) Timbulnya panas yang berlebihan pada transformator.
- 3) Menurunnya kualitas daya.

2.3 Daya

Daya adalah laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Dengan kata lain, daya atau *power* listrik adalah laju transfer energi listrik atau besarnya energi listrik yang berubah per detik. Sehingga, dalam perhitungan matematis, daya atau power dapat dituliskan sebagai berikut:

[2]

$$P = V \times I \quad (2.1)$$

Dimana =

P = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan listrik (Volt)

I = Arus listrik (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. 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 [1] Besarnya daya nyata sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban resistif dan dinyatakan dalam satuan Watt, di mana : [2]

$$P = I^2 \times R \quad (2.2)$$

Dengan : P = Daya (Watt)

I = Arus Listrik (A)

R = Tahanan (Ohm)

Daya reaktif dinyatakan dengan satuan VAR (Volt Ampere Reaktan) adalah daya listrik yang dihasilkan oleh beban-beban yang bersifat

reaktansi. Terdapat dua jenis beban reaktansi, yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan magnet. Contoh beban listrik yang bersifat induktif antara lain transformator, motor induksi satu fasa maupun tiga fasa yang biasa digunakan untuk menggerakkan kipas angin, pompa air, lift, eskalator, kompresor, konveyor dan lain-lain. Beban-beban yang bersifat kapasitif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan listrik. Contoh beban yang bersifat kapasitif adalah kapasitor. Besarnya daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban reaktansi di : [2]

$$Q = I^2 X$$

$$X = X_L - X_C \quad (2.3)$$

Di mana : Q = daya (VAR)

X = reaktansi total (Ohm)

X_L = reaktansi induktif (Ohm)

X_C = reaktansi kapasitif (Ohm)

Daya kompleks atau lebih sering dikenal sebagai daya semu adalah penjumlahan secara vektor antara daya aktif dan daya reaktif, di mana : [2]

$$S = P + jQ \quad (2.4)$$

Daya kompleks dinyatakan dengan satuan VA (Volt Ampere) adalah hasil kali antara besarnya tegangan dan arus listrik yang mengalir pada beban di mana : [2]

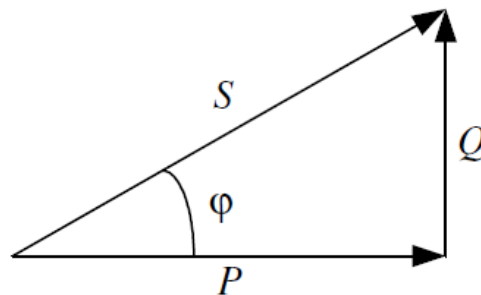
$$S = V \cdot I \quad (2.5)$$

Di mana : S = Daya kompleks (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus listrik (A)

Hubungan ketiga buah daya listrik yaitu daya aktif P , daya reaktif Q serta daya kompleks S , dinyatakan dengan sebuah segitiga, yang disebut segitiga daya sebagai berikut :



Gambar 2.4 Segitiga Daya. [2]

Segitiga daya digambarkan pada **Gambar 2.3**. Untuk beberapa beban yang dihubungkan paralel, P total adalah jumlah daya rata-rata dari semua beban, yang harus digambarkan pada sumbu mendatar untuk analisis grafis. Untuk beban induktif, Q digambarkan vertikal ke atas karena bertanda positif. Suatu beban kapasitif akan mempunyai daya reaktif negatif, dan Q digambarkan vertikal ke bawah.

Dari gambar segitiga daya tersebut, hubungan antara ketiga daya listrik dapat dinyatakan sebagai berikut : [2]

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$P = S \cos \phi$$

$$P = VI \cos \phi$$

$$Q = S \sin \phi$$

$$Q = VI \sin \phi$$

(2.6)

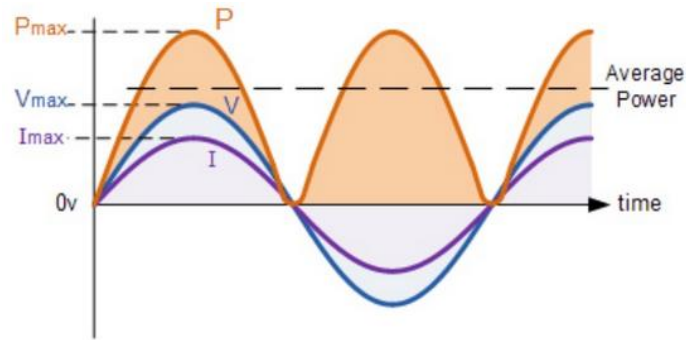
2.4 Karakteristik Beban

Sistem rangkaian listrik AC memiliki karakteristik yang berbeda dengan rangkaian DC. Rangkaian listrik AC merupakan jaringan distribusi yang luas yang menghubungkan antara pembangkit tenaga listrik dengan beban-beban listrik seperti rumah-rumah, perindustrian, perkotaan, rumah sakit, dan lain sebagainya. Hal ini tentu sangat berbeda dengan jaringan listrik DC, yakni yang berukuran kecil-kecil seperti rangkaian elektronik pada televisi, DVD player, atau juga smartphone. Perbedaan penggunaan listrik AC dan DC tersebut karena untuk mendistribusikan listrik dari pembangkit ke daerah yang jauh jaraknya dibutuhkan nilai tegangan listrik yang tinggi untuk mengurangi kerugian distribusi, dan pembangkitan listrik tegangan tinggi lebih mudah dilakukan pada listrik bolak-balik. Sedangkan untuk membangkitkan voltase sangat tinggi pada

listrik DC dibutuhkan biaya yang jauh lebih mahal daripada listrik AC. Jaringan pada listrik AC memiliki tiga jenis beban listrik yang harus ditopang oleh pembangkit listrik. Ketiga beban tersebut yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Ketiganya memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lainnya.

2.4.1 Beban Resistif

Beban resistif dihasilkan oleh alat-alat listrik yang bersifat murni tahanan (resistor) seperti pada elemen pemanas dan lampu pijar. Beban resistif ini memiliki sifat yang “pasif”, dimana ia tidak mampu memproduksi ataupun juga mengkonsumsi energi listrik. Resistor hanya bersifat menghalangi aliran elektron yang melewatinya (dengan jalan menurunkan tegangan listrik yang mengalir), sehingga mengakibatkan terkonversinya energi listrik menjadi panas. Dengan sifat demikian, resistor tidak akan merubah sifat-sifat listrik AC yang mengalirinya. Gelombang arus dan tegangan listrik yang melewati resistor akan selalu bersamaan membentuk bukit dan lembah. Dengan kata lain, beban resistif tidak akan menggeser posisi gelombang arus maupun tegangan listrik AC.



Gambar 2.5 Gelombang Sinusoidal Beban Resistif Listrik AC

[8]

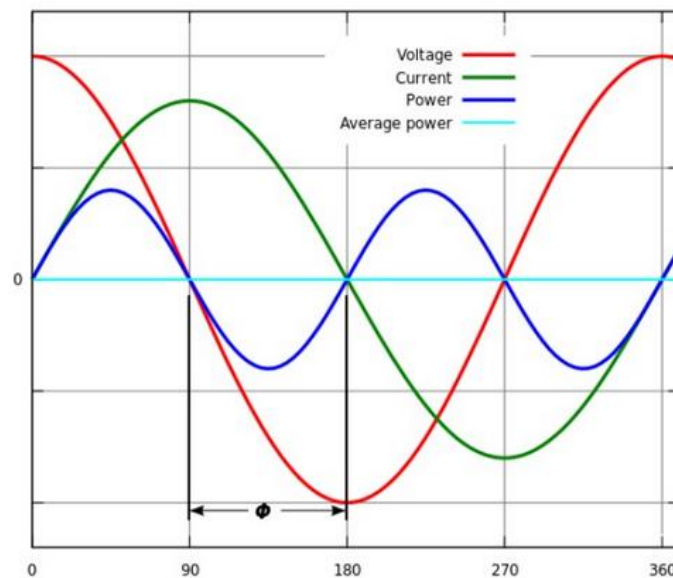
Nampak pada Gambar 2.5, karena gelombang tegangan dan arus listrik berada pada fase yang sama maka nilai dari daya listrik akan selalu positif. Inilah mengapa beban resistif murni akan selalu ditopang oleh 100% daya nyata.

2.4.2 Beban Induktif

Beban induktif dihasilkan oleh lilitan kawat (kumparan) yang terdapat di berbagai alat-alat listrik seperti motor, trafo, dan relay. Kumparan dibutuhkan oleh alat-alat listrik tersebut untuk menciptakan medan magnet sebagai komponen kerjanya. Pembangkitan medan magnet pada kumparan inilah yang menjadi beban induktif pada rangkaian arus listrik AC.

Kumparan memiliki sifat untuk menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik. Seperti yang diketahui bahwa listrik AC memiliki nilai arus yang naik turun membentuk gelombang sinusoidal. Perubahan arus listrik yang naik turun inilah yang dihalangi oleh komponen kumparan di dalam sebuah rangkaian

listrik AC. Terhalangnya perubahan arus listrik ini mengakibatkan arus listrik menjadi tertinggal beberapa derajat oleh tegangan listrik pada grafik sinusoidal arus dan tegangan listrik AC.



Gambar 2.6 Gelombang Listrik AC dengan Beban Induktif

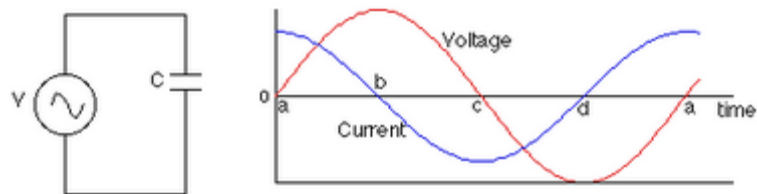
Murni [8]

Nampak pada gelombang sinusoidal listrik AC di atas, bahwa jika sebuah sumber listrik AC diberi beban induktif murni, maka gelombang arus listrik akan tertinggal sejauh 90° oleh gelombang tegangan. Atas dasar inilah beban induktif dikenal dengan istilah beban *lagging* (arus **tertinggal** tegangan). Nampak pula bahwa dikarenakan pergeseran gelombang arus listrik di atas, maka nilai daya listrik menjadi bergelombang sinusoidal (warna biru tua). Pada seperempat gelombang pertama daya diserap oleh beban induktif, namun pada seperempat gelombang kedua daya

dikembalikan lagi ke sumber listrik AC. Hal ini menunjukkan bahwa beban induktif murni tidak meng-“konsumsi” daya nyata sedikitpun, beban induktif murni hanya memakai daya reaktif saja.

2.4.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif merupakan kebalikan dari beban induktif. Jika beban induktif menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik AC, maka beban kapasitif bersifat menghalangi terjadinya perubahan nilai tegangan listrik. Sifat ini menunjukkan bahwa kapasitor bersifat seakan-akan menyimpan tegangan listrik sesaat.



Gambar 2.7 Gelombang Listrik AC dengan Beban Kapasitif

Murni [8]

Gambar di atas merupakan ilustrasi rangkaian listrik AC dengan beban kapasitor murni. Mendapatkan supply tegangan AC naik dan turun, maka kapasitor akan menyimpan dan melepaskan tegangan listrik sesuai dengan perubahan tegangan masuknya.

Fenomena inilah yang mengakibatkan gelombang arus AC akan **mendahului** (*leading*) tegangannya sejauh 90° .

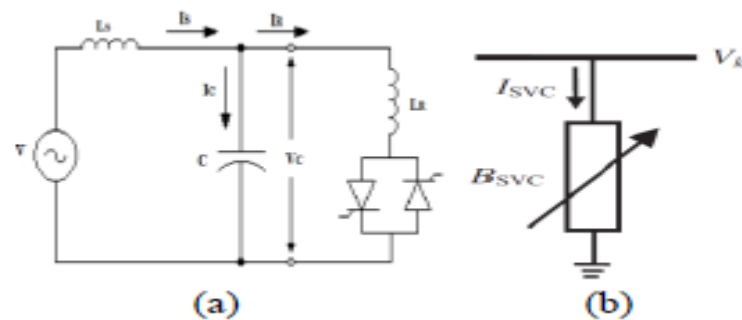
2.5 Static Var Compansator type TCR-FC

Static VAR Compensator (atau disebut SVC) adalah peralatan listrik untuk menyediakan kompensasi *fast-acting reactive power* pada jaringan transmisi listrik tegangan tinggi. SVC adalah bagian dari sistem peralatan AC transmisi yang fleksibel, pengatur tegangan dan menstabilkan sistem. Istilah “*static*” berdasarkan pada kenyataannya bahwa pada saat beroperasi atau melakukan perubahan kompensasi tidak ada bagian dari SVC yang bergerak, karena proses kompensasi sepenuhnya dikontrol oleh sistem elektronika daya. Jika power sistem beban reaktif kapasitif (*leading*), SVC akan menaikkan daya reaktor untuk mengurangi VAR dari sistem sehingga tegangan sistem turun. Pada kondisi reaktif induktif (*lagging*), SVC akan mengurangi daya reaktor untuk menaikkan VAR dari sistem sehingga tegangan sistem akan naik. [4]

Pada SVC pengaturan besarnya VAR dan tegangan dilakukan dengan mengatur besarnya kompensasi daya reaktif induktif pada reaktor, sedangkan kapasitor bank bersifat statis.

SVC adalah peralatan FACTS dengan hubungan paralel, yang fungsi utamanya adalah mempertahankan tegangan di bus yang terpasang SVC pada nilai yang dikehendaki, dengan cara menghasilkan atau menyerap

daya reaktif pada bus tersebut melalui kontrol sudut penyalan thyristor. SVC terdiri dari komponen *fixed capacitor* yang terhubung paralel dengan *thyristor-controlled reactor* (TCR). Dalam pemodelan SVC sebagai substansi variabel, kita dapat menentukan besar daya reaktif yang dipasok atau diserap pada sistem. [5]



Gambar 2.8 (a)Rangkaian FC-TCR (b) Model SVC [9]

Dengan mengacu pada **Gambar 2.9** arus yang mengalir di SVC adalah sebagai berikut : [9]

$$I_{SVC} = j B_{SVC} V_{BUS} \quad (2.7)$$

Sedangkan besarnya substansi SVC (B_{SVC}) dapat dinyatakan sebagai fungsi sudut konduksi thyristor (σ) berikut ini : [9]

$$B_{SVC} = B_C - B_L(\sigma) \quad (2.8)$$

Berdasarkan persamaan (4) dan (5), maka dapat dihitung daya reaktif yang diinjeksikan ke bus oleh SVC dengan persamaan (6) sebagai berikut: [9]

$$Q_{SVC} = - B_{SVC} V_{BUS}^2 \quad (2.9)$$

2.5.1 Fungsi Static VAR Compensator

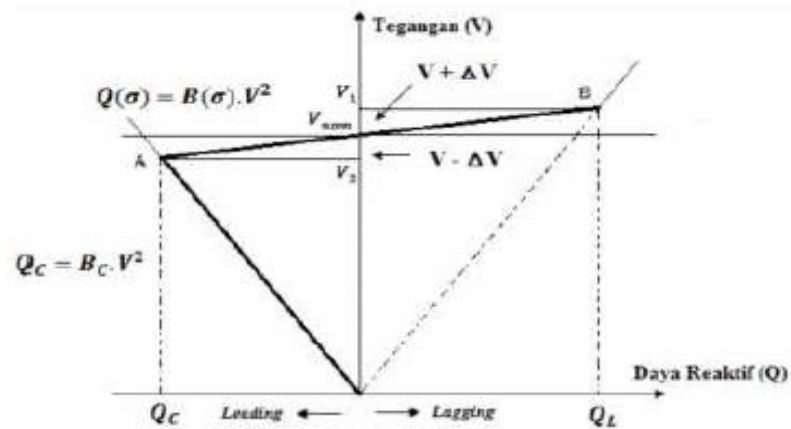
Kebutuhan daya reaktif pada sistem dapat dipasok oleh unit pembangkit, sistem transmisi, reaktor dan kapasitor. Karena kebutuhan daya reaktif pada sistem bervariasi yang disebabkan oleh perubahan beban, komposisi unit pembangkit yang beroperasi, perubahan konfigurasi jaringan, hal ini berdampak pada bervariasinya level tegangan pada gardu induk. Pada umumnya gardu-gardu induk yang berada jauh dari pembangkit akan mengalami penurunan level tegangan yang paling besar, oleh sebab itu diperlukan sistem kompensasi daya reaktif yang dapat mengikuti perubahan tegangan tersebut. SVC dapat dengan cepat memberikan supply daya reaktif yang diperlukan dari sistem sehingga besarnya tegangan pada gardu induk dapat dipertahankan sesuai dengan standar yang diizinkan. Kestabilan tegangan pada gardu induk akan meningkatkan kualitas tegangan yang sampai kekonsumen, mengurangi losses dan juga dapat meningkatkan kemampuan penghantar untuk mengalirkan arus.

Penelitian yang dilakukan oleh Dimas Mulyo Widy Saputro pada tahun 2013, yang bertujuan untuk menyeimbangkan beban tiga fasa pada sistem kelistrikan perusahaan industri. Masalah yang terjadi pada sistem kelistrikan perusahaan industri tersebut adalah dikarenakan banyaknya pemakaian beban induktif, sehingga mengakibatkan nilai daya reaktif semakin besar. Dan apabila nilai daya reaktif semakin besar maka faktor daya akan semakin menurun yang secara tidak

langsung akan mempengaruhi nilai arus dan tegangan pada sistem kelistrikan diperusahaan itu. Dan hasil dari penelitian tersebut, dengan menggunakan komponen FACTS *Static Var Compensator* tipe *TCR-FC* dapat mengurangi presentase ketidakseimbangan arus urutan dari 10,3 % menjadi 1,03 %. [6]

Pada tahun 2011 dilakukan penelitian oleh Ma Jianzong dari Universitas Yanshan China yang bertujuan mengontrol kualitas daya listrik pada sistem kelistrikan kereta api listrik dengan menggunakan *Static Var Compensator*. Kereta listrik yang berada pada fasa tunggal serta termasuk beban non linier mengakibatkan munculnya harmonisa pada orde 3, 5 dan 7 serta kualitas daya listrik di sistem kelistrikan kereta tersebut menjadi buruk. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengontrol harmonisa dan perbaikan daya pada sistem kelistrikan tersebut. Dan hasil akhir dari penelitian ini adalah dengan menggunakan komponen FACTS *Static Var Compensator* tipe *TCR-FC* dapat meningkatkan faktor daya dari 0,78 menjadi 0,94 dan mempertahankan tingkat tegangan busbar secara terus-menerus. Serta filter harmonik yang berada dalam SVC, dapat menekan distorsi harmonik yang disebabkan oleh traksi nonlinear. [7]

2.5.2 Area Kerja Static Var Compansator



Gambar 2.9 Kurva Daya Reaktif Dan Tegangan Pada SVC [9]

Dimana:

Q_c : Daya Reaktif *Capasitif* (VAR)

Q_L : Daya Reaktif *Induktif* (VAR)

V : Tegangan (V)

V_1 : Tegangan Mula-mula (V)

V_2 : Tegangan Akhir (V)

ΔV : Perubahan Tegangan (V)

B : Suseptansi (*Siemens*)

3 area kerja SVC (*Static Var Compensator*) :

1. Area kerja pertama terdapat di antara V_1 dan V_2 . Diarea ini, SVC bersifat kapasitif atau induktif. Daya reaktif yang dihasilkan berubah-ubah sesuai kebutuhan sistem.
2. Area kerja kedua, bila tegangan bus melebihi V_1 . Diarea ini SVC memiliki karakteristik induktif. Daya reaktif yang dihasilkan berubah-ubah sesuai kebutuhan sistem seperti diberikan pada persamaan (2.24)

3. Area kerja ketiga bila tegangan kurang dari V_2 . Di area ini SVC (*Static Var Compensator*) hanya berfungsi sebagai *fixed capacitor* saja.

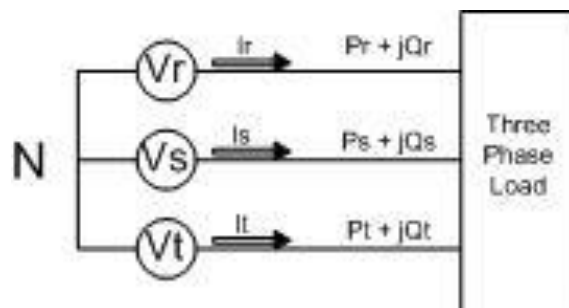
2.6 Hubungan Antara Daya Aktif Dan Reaktif Yang Mengalir Setiap Fasa Ke Sebuah Beban Tiga Fasa.

Pada **Gambar 2.9** merupakan sebuah ilustrasi rangkaian tiga fasa tiga kawat dengan nilai beban yang seimbang. Jika tegangan V_r dianggap sebagai tegangan referensi yang memiliki sudut phasor sebesar $\angle 0^\circ$ maka tegangan V_s akan memiliki sudut phasor sebesar $\angle -120^\circ$ dan tegangan V_t akan memiliki sudut phasor sebesar $\angle 120^\circ$. Sehingga untuk mencari nilai arus perfasanya adalah sebagai berikut : [5]

$$I_r = \frac{P_r + jQ_r}{V_r}$$

$$I_s = \frac{P_s + jQ_s}{V_s}$$

$$I_t = \frac{P_t + jQ_t}{V_t} \quad (2.8)$$



Gambar 2.10 Daya yang mengalir pada beban tiga fasa tiga kawat [5]

Dari tiga persamaan diatas maka dapat dibentuklah persamaan : [5]

$$\mathbf{0} = \mathbf{I}r + \mathbf{I}s + \mathbf{I}t = \frac{\mathbf{P}r + j\mathbf{Q}r}{Vr} + \frac{\mathbf{P}s + j\mathbf{Q}s}{Vs} + \frac{\mathbf{P}t + j\mathbf{Q}t}{Vt} \quad (2.9)$$

Dan persamaan diatas adalah hubungan antara daya yang mengalir setiap fasa. Apapun koneksi dari beban tiga fasa dengan tegangan yang seimbang dan beban yang seimbang, maka daya harus sesuai dengan persamaan (2.10), yaitu : [5]

$$\mathbf{Q}R = \mathbf{Q}S = \mathbf{Q}T \quad (2.10)$$

Begitu juga daya aktifnya harus sesuai dengan persamaan (2.11) : [5]

$$\mathbf{P}R = \mathbf{P}S = \mathbf{P}T \quad (2.11)$$

Daya reaktif setiap fasa dapat diperbaiki dengan mengacu pada persamaan berikut : [5]

$$\mathbf{Q}R = \frac{\mathbf{Q}RS + \mathbf{Q}TR}{2} \quad (2.12)$$

$$\mathbf{Q}S = \frac{\mathbf{Q}ST + \mathbf{Q}RS}{2} \quad (2.13)$$

$$\mathbf{Q}T = \frac{\mathbf{Q}TR + \mathbf{Q}ST}{2} \quad (2.14)$$

Akan tetapi untuk mendapatkan nilai daya reaktif yang equal pada setiap fasa tidak mungkin bisa berlangsung secara instan, untuk mendapatkan hasil yang diinginkan maka perlu ada jeda waktu untuk memperoleh kondisi tersebut.

2.7 Reaktansi Kompensasi

Gambar 2.10 menunjukkan sebuah sistem beban tiga fasa tiga kawat yang tidak seimbang. Q_{R1} , Q_{S1} , dan Q_{T1} adalah daya reaktif yang dialirkan oleh setiap fasa ke beban, jadi daya reaktif yang diserap oleh beban adalah $Q_1 = Q_{R1} + Q_{S1} + Q_{T1}$. Sebuah reaktansi kompensator dikoneksikan dengan hubungan delta yang bertujuan untuk menyeimbangkan arus fasa. Agar bisa melakukan hal tersebut, cukup dengan membuat daya reaktif yang dialirkan oleh setiap fasa ke grup beban kompensator sama, seperti yang dijelaskan sebelumnya. Jadi dapat dikatakan jika Q_2 adalah daya reaktif yang dialirkan ke beban kompensator grup, maka setiap fasa harus mengalir $Q_2/3$.

Daya reaktif dari kompensator jQ_{st} , jQ_{rs} , dan jQ_{rt} yang membuat daya reaktif yang dialirkan oleh setiap fasa ke sistem beban kompensator sama dengan $Q_2/3$. Daya yang dialirkan ke sistem beban kompensator oleh setiap fasa adalah penjumlahan dari daya yang mengalir ke beban oleh setiap fasa dan daya yang mengalir ke kompensator. Dari persamaan dari (2.12), (2.13), dan (2.14), maka didapatkan persamaan : [5]

$$\frac{Q_2}{3} = Q_{r1} + \frac{Q_{RS} + Q_{TR}}{2}$$

$$\frac{Q_2}{3} = Q_{s1} + \frac{Q_{RS} + Q_{TR}}{2}$$

$$\frac{Q2}{3} = Qt1 + \frac{QRS + QTR}{2} \quad (2.15)$$

Sehingga untuk persamaan daya reaktif kompensatornya : [5]

$$Qrs = \frac{Q2}{3} + Qt1 - Qr1 - Qs1$$

$$Qst = \frac{Q2}{3} + Qr2 - Qs2 - Qt2$$

$$Qtr = \frac{Q2}{3} + Qs3 - Qt3 - Qr3 \quad (2.16)$$

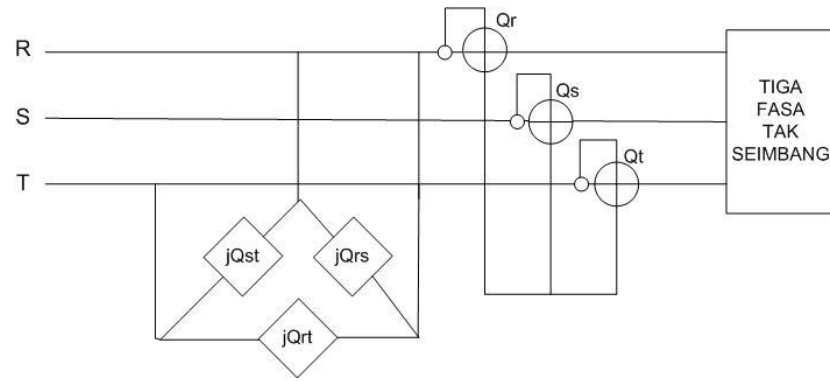
Daya reaktif kompensator pada persamaan (3.12) yang digunakan untuk menyeimbangkan sistem beban tiga fasa. Daya reaktif yang diserap sekarang adalah $Q2$. Jika nilai dari $Q2 = 0$, maka persamaan daya dari reaktansi kompensator menjadi : [5]

$$Qrs = Qt1 - Qr1 - Qs1$$

$$Qst = Qr2 - Qs2 - Qt2$$

$$Qtr = Qs3 - Qt3 - Qr3 \quad (2.16)$$

Pada kondisi inilah sistem menjadi seimbang sehingga rugi-rugi daya minimum. Pada persamaan sebelumnya terdapat algoritma yang sangat mudah untuk menentukan harga reaktansi dari kompensator. Daya reaktif yang dialirkan ke beban oleh setiap fasa dapat diukur menggunakan pemasangan 3 Var meter yang ditunjukkan pada gambar 2.10 :



Gambar 2.11 Pemasangan SVC pada sistem tiga fasa [5]

Telah diketahui bahwa $\sqrt{3}v$ adalah nilai tegangan antara fasa beban, jadi nilai reaktansi dari kompensator adalah : [5]

$$X_{rs} = \frac{3v^2}{Q_{rs}}, X_{st} = \frac{3v^2}{Q_{st}}, X_{tr} = \frac{3v^2}{Q_{tr}} \quad (2.17)$$

Dan nilai susceptansi dari kompensator yaitu : [5]

$$B_{rs} = -\frac{Q_{rs}}{3v^2}, B_{st} = \frac{Q_{st}}{3v^2}, B_{tr} = \frac{Q_{tr}}{3v^2} \quad (2.17)$$

Jika daya reaktif menunjukkan nilai positif, maka reaktansi adalah bersifat induktif, jika daya reaktif menunjukkan nilai negatif, maka reaktansi adalah bersifat kapasitif.

2.8 Desain TCR

Nilai susceptansi SVC, B^{cSVC} dapat diperoleh melalui persamaan (2.17), sedangkan untuk memperoleh nilai susceptansi TCR, maka digunakan rumus : [6]

$$B(\sigma)^{cTCR} = B^{cSVC} - B^{cFC} \quad (2.18)$$

Dimana σ adalah sudut konduksi dari TCR dan B^{cFC} adalah susceptansi dari *fixed capacitor* setiap fasa dari SVC. Hubungan antara sudut konduksi dan nilai susceptansi yaitu : [6]

$$B(\sigma)^{cTCR} = \frac{\sigma - \sin \sigma}{\pi XL} \quad (2.19)$$

Dimana XL adalah nilai reaktansi dari TCR reaktor. Persamaan (2.19) diketahui dari persamaan (2.18). Untuk sudut penyalaan α menggunakan persamaan : [6]

$$\alpha = \pi - \frac{\sigma}{2} \quad (2.20)$$

Sehingga dari persamaan (2.19) dan (2.20) didapatkanlah persamaan berikut : [6]

$$B(\alpha)^{cTCR} = \frac{2\pi - \alpha - \sin 2(\pi - \alpha)}{\pi XL} \quad (2.21)$$

2.9 Desain TCR pada Simulasi

a) Menentukan Nilai Kapasitor pada TCR

Kapasitor yang terpasang pada TCR berfungsi untuk memperbaiki faktor daya ($\cos \phi$). Sehingga nilai kapasitor yang digunakan berdasarkan nilai faktor daya sebelum pemasangan *Static Var Compansator*.

Hal pertama yang harus dilakukan dalam menentukan nilai kapasitor pada TCR adalah menentukan nilai daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya, maka daya reaktif yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : [6]

$$\mathbf{VAR_S = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)}$$

(2.10)

Dimana : $P =$ Daya Aktif

$\phi_1 =$ Sudut Fasa Sebelum di Kompensasi

$\phi_2 =$ Sudut Fasa Sesudah di Kompensasi

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai impedansi kapasitor dengan menggunakan persamaan sebagai berikut : [6]

$$\mathbf{X_c = \frac{V^2}{VAR}}$$

(2.11)

Sehingga untuk nilai kapasitor diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah ini : [6]

$$\mathbf{C = \frac{1}{2\pi f X_c}}$$

(2.12)

b) Menentukan Nilai Induktor dan Thyristor pada TCR

Hal pertama yang dilakukan adalah menentukan jumlah daya reaktif maksimal antar fasa. Maka nilai daya reaktif sebesar X VAR menjadi pilihan utama.

Untuk menghasilkan daya reaktif sebesar X VAR dibutuhkan induktor dengan nilai : [6]

$$X_L = \frac{V^2}{Q} \quad (2.12)$$

Dimana : X_L = Reaktansi Induktif

V^2 = Tegangan Sumber

Q = Daya Reaktif Yang diinginkan

Jika Reaktansi Induktif sudah didapat maka nilai induktor dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut : [6]

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

Setelah didapatkan nilai induktor maka daerah kerja pada thyristor dapat diatur sesuai kebutuhan daya reaktif yang dibutuhkan sistem dengan menggunakan persamaan berikut : [6]

$$\text{Daerah Kerja (\%)} = \frac{\text{Daya Reaktif yang Dibutuhkan}}{\text{Daya Reaktif Max}} \times 100$$

2.10 Perangkat Lunak Pendukung Matlab

Matlab merupakan bahasa pemrograman computer berbasis windows dengan orientasi dasarnya adalah matrik, namun pada program ini tidak menutup kemungkinan untuk pengerjaan permasalahan non matrik. Selain itu matlab juga merupakan bahasa pemrograman yang berbasis pada obyek (OOP), namun disisi lain karena matlab bukanlah type compiler, maka program yang dihasilkan pada matlab tidak dapat berdiri sendiri, agar hasil program dapat berdiri sendiri maka harus dilakukan transfer pada bahasa pemrograman yang lain, misalnya C++. Pada matlab terdapat tiga windows yang digunakan dalam operasinya yaitu command windows (layar perintah) dan figure windows (layar gambar), serta *Note Pad* (sebagai editor program). *MATLAB* adalah system interaktif yang mempunyai basis data array yang tidak membutuhkan dimensi. Ini memungkinkan kita dapat menyelesaikan banyak masalah komputasi teknis, khususnya yang berkaitan dengan formulasi matrik dan vector.

Nama *MATLAB* merupakan singakatk dari *matrix laboratory*. *MATLAB* awalnya dibuat untuk memudahkan dalam mengakses software matriks yang telah dikembangkan oleh *LINPACK* dan *EISPACK*. Dalam perkembangannya, *MATLAB* mampu mengintegrasikan beberapa software matriks sebelumnya dalam satu software untuk komputasi matriks. Tidak hanya itu, *MATLAB* juga mampu melakukan komputasi simbolik yang biasa dilakukan oleh *MAPLE*.

Pemakaian *MATLAB* meliputi :

- Matematika dan komputasi

- Pengembangan algoritma
- Akuisisi data