

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 JENIS-JENIS GANGGUAN

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, disamping kondisi operasi normal, terdapat kondisi lain yang tidak mungkin bisa dihindarkan sama sekali, yaitu kondisi abnormal ini biasanya disebut gangguan.

Jenis gangguan yang terjadi pada saluran distribusi antara lain :

a. Hubung singkat, terjadi karena :

- Petir

Impuls tegangan petir yang sangat besar dapat menyebabkan terjadinya flash over melalui sisi isolator. Akibatnya arus fault akan menuju tanah dan sebagian lagi akan diredam oleh Lightning Arrester kemudian arus fault hasil redaman ini bisa memasuki jaringan listrik dan menyebabkan terbakarnya Pemutus. Gangguan petir ini bersifat temporer.

- Tanaman :

Dahan atau pohon dapat menyentuh kawat fasa dan mengakibatkan gangguan short circuit antara satu fasa dengan tanah atau fasa-fasa dengan tanah. Gangguan ini dapat bersifat temporer maupun permanent.

- Binatang :

Binatang yang sering menjadi penyebab gangguan adalah ular, burung, tikus. Gangguan ini kebanyakan bersifat temporer.

- Manusia :

Dapat disebabkan oleh permainan layang-layang yang bisa menyentuh kawat line atau kesalahan peng-tanah-an peralatan.

- Kerusakan peralatan :

Seperti Isolator bocor, isolator trafo bocor, bushing bocor. Gangguan ini umumnya bersifat permanen

b. Beban lebih

Terjadi ketika daya yang diminta lebih besar dibanding daya yang disuplai.

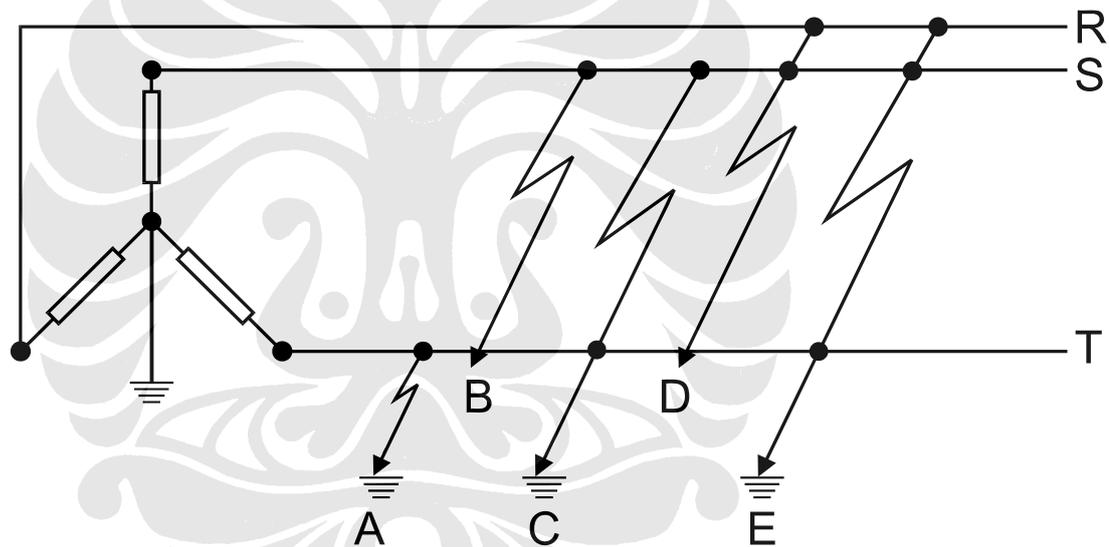
c. Kerusakan Peralatan

Kerusakan peralatan seperti *circuit breaker*, *relay*, *fuse* atau kerusakan pada peralatan tegangan tinggi.

d. Kesalahan operasi relay

Dari hasil pengamatan, penyebab gangguan SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) yang terbanyak adalah petir, sementara penyebab gangguan SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) yang terbanyak adalah pohon.

Jenis gangguan pada line dapat berupa :



Gambar 2.1 Jenis Gangguan

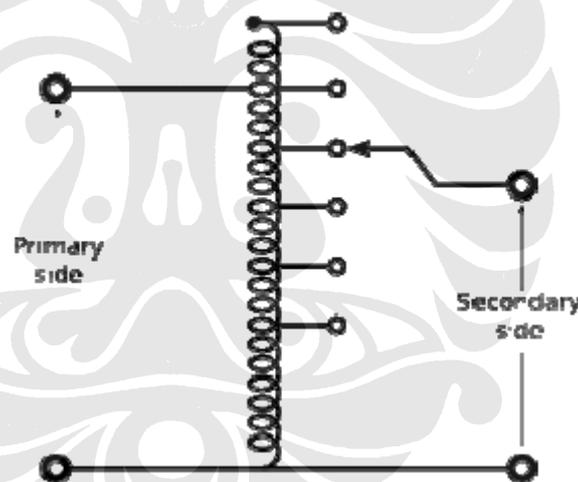
- A. Fasa-to-Earth
- B. Fasa-to-Fasa
- C. Fasa-to-Fasa-to-Earth
- D. Three Fasa
- E. Three Fasa-To-Earth

Gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik ada yang bersifat sementara (temporer) dan ada juga yang bersifat permanen. Gangguan yang bersifat sementara adalah gangguan yang terjadi dalam jangka waktu relatif

singkat, setelah gangguan itu hilang sistem kembali normal dan dampak kerusakan peralatan hanya sedikit, misalnya dahan atau binatang menyentuh jaringan distribusi. Gangguan permanen adalah gangguan yang bersifat tetap, setelah terjadi gangguan tersebut terdapat kerusakan pada peralatan sehingga perlu perbaikan.

2.2 Voltage Regulator (VR)

Voltage Regulator (VR) adalah suatu transformator yang tergolong dalam autotransformator (memiliki satu belitan untuk primer dan sekundernya) yang digunakan untuk mengatur (menaikkan dan menurunkan) tegangan sistem sesuai dengan yang diharapkan, yang bekerja secara langsung tanpa harus mematikan listrik. Standar pengaturan tegangan oleh VR untuk penerapan di Chevron adalah dalam rentang $\pm 10\%$, yang bisa dilakukan dengan cara otomatis atau manual.



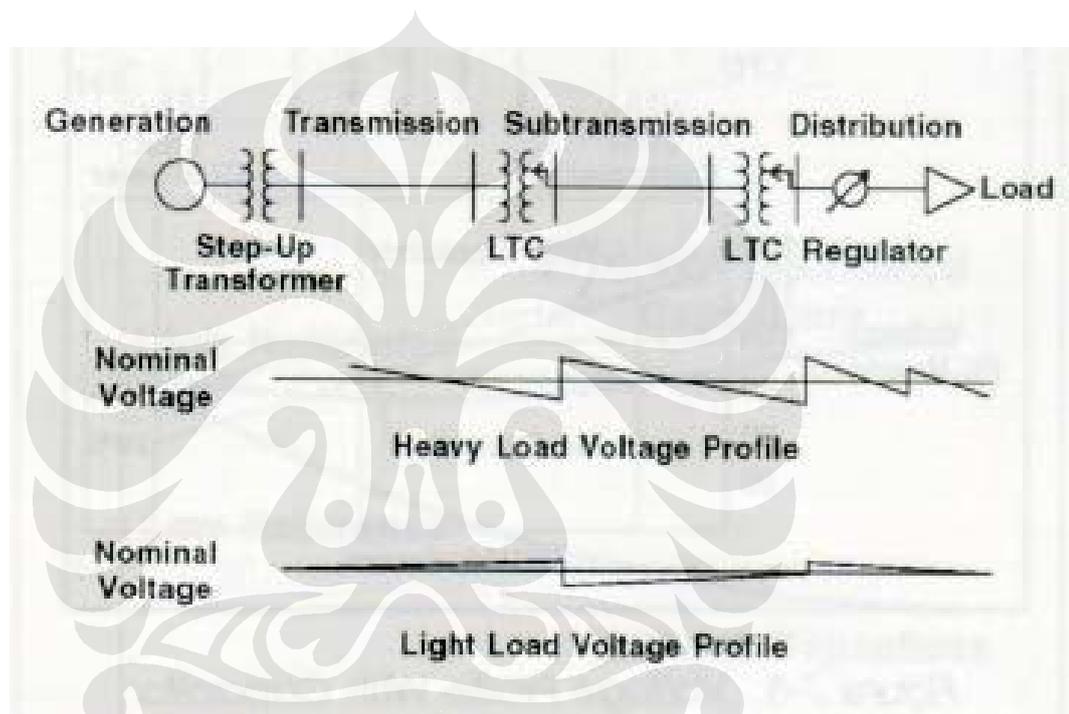
Gambar 2.2 Autotransformator

Hal-hal yang perlu diketahui untuk pengaturan VR adalah:

- a. *Voltage pengaturan*: pada level tegangan berapa *output* VR diharapkan.
- b. *Bandwith (dV)*: untuk menentukan batas atas dan batas bawah tegangan yang akan diatur
- c. *Time delay*: waktu di mana VR mulai bekerja sejak VR merasakan tegangan tidak sesuai dengan yang diharapkan.

VR pada umumnya memiliki 16 *tap lower*, 16 *tap raise* dan 1 posisi netral. Setiap *tap* akan mengubah tegangan sebesar 0.625 %, sehingga maksimum dan minimum tegangan yang dapat diatur adalah sebesar $\pm 10\%$ dari posisi netral. Berbeda dengan kapasitor, maka peningkatan tegangan dengan menggunakan VR tidak akan menaikkan faktor daya. Jadi faktor dayanya masih tetap sama.

Di bawah ini adalah gambar yang menjelaskan bagaimana VR menaikkan tegangan hanya dibawah VR. Bandingkan dengan gambar kapasitor yang menaikkan tegangan di seluruh *saluran*.



Gambar 2.3 Ilustrasi tegangan system dengan adanya VR

Karena regulasi tegangan VR hanya $\pm 10\%$ maka secara praktis penentuan kapasitas VR yang akan dipasang adalah 10% dari total beban. Jadi jika total maksimum beban-nya sebesar 10 MVA, maka cukup menggunakan VR dengan kapasitas 1 MVA.

Pada umumnya VR yang dipasang di lingkungan CPI (GE dan Siemens) menggunakan kontrol elektronik, jadi untuk mengubah pengaturan cukup dengan memutar potensinya saja. Sedangkan VR tipe yang lebih baru (Unindo dengan kontrol KVGC) memiliki cara pengaturan yang lebih kompleks.

2.3 Capacitor Bank

Capacitor bank digunakan untuk mengurangi rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan sehingga dapat memperbaiki faktor daya secara keseluruhan. Penurunan faktor daya disebabkan oleh beban dilokasi produksi yang umumnya bersifat induktif. Pemasangan *capacitor bank* pada jaringan distribusi dengan hubungan paralel terhadap fasa melalui bantuan *disconnecting switch (DS)* yang dapat ditutup dan dibuka secara manual. *Capacitor bank* dipasang di jaringan distribusi bertegangan 13,8 kV.

Capacitor bank berfungsi untuk menaikkan tegangan di sepanjang saluran sekaligus menaikkan faktor daya dari saluran tersebut.

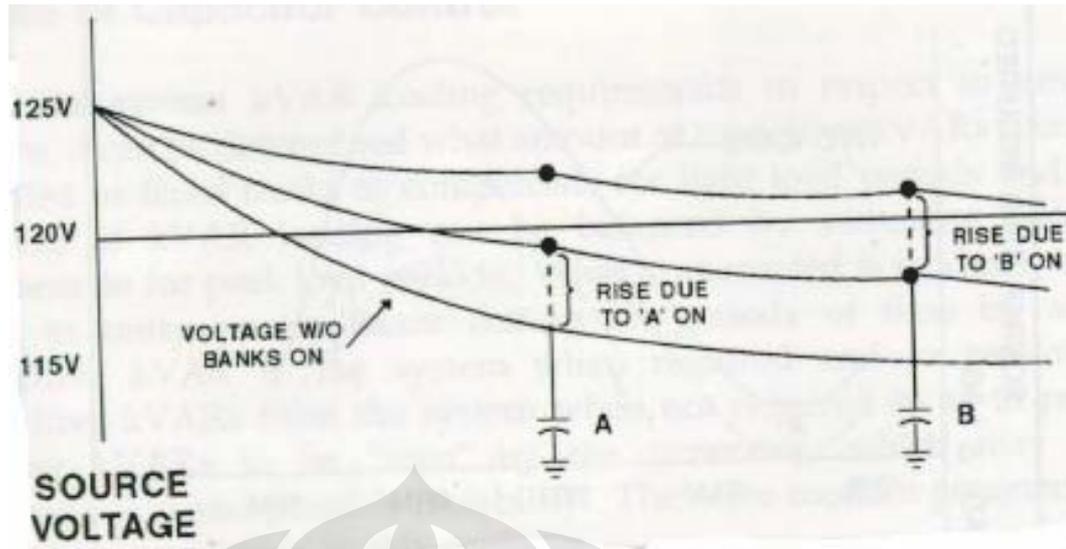
Tujuan pemasangan *capacitor bank*:

1. Di *gardu* bertujuan untuk menaikkan level tegangan di bus *gardu* dan membantu MVAR sistem
2. Di *saluran* bertujuan untuk menaikkan level tegangan di beban sekaligus menaikkan faktor daya.

Inilah bedanya *capacitor bank* dengan VR, jika VR hanya menaikkan tegangan dibawah saluran saja sedangkan *capacitor bank* menaikkan tegangan baik dibawah maupun diatas saluran.

Permasalahan dari *capacitor bank* adalah pada saat saluran kehilangan beban setelah *trip* dan *reclose* maka *capacitor* yang masih terhubung akan menaikkan tegangan sehingga kemungkinan bisa merusakkan peralatan instrumentasi dan kontrol. Untuk itulah diperlukan suatu kontrol kapasitor yang dapat bekerja secara otomatis untuk membuka kapasitor pada saat kehilangan tegangan sehingga ketika daya masuk maka saluran tersebut sudah tidak terhubung dengan *capacitor bank*.

Di bawah ini adalah gambar yang menjelaskan bagaimana *capacitor bank* menaikkan tegangan di sepanjang saluran. Bandingkan dengan gambar VR yang menaikkan tegangan hanya dibawah saluran.



Gambar 2.4 Ilustrasi tegangan sitem dengan penambahan *capacitor bank*

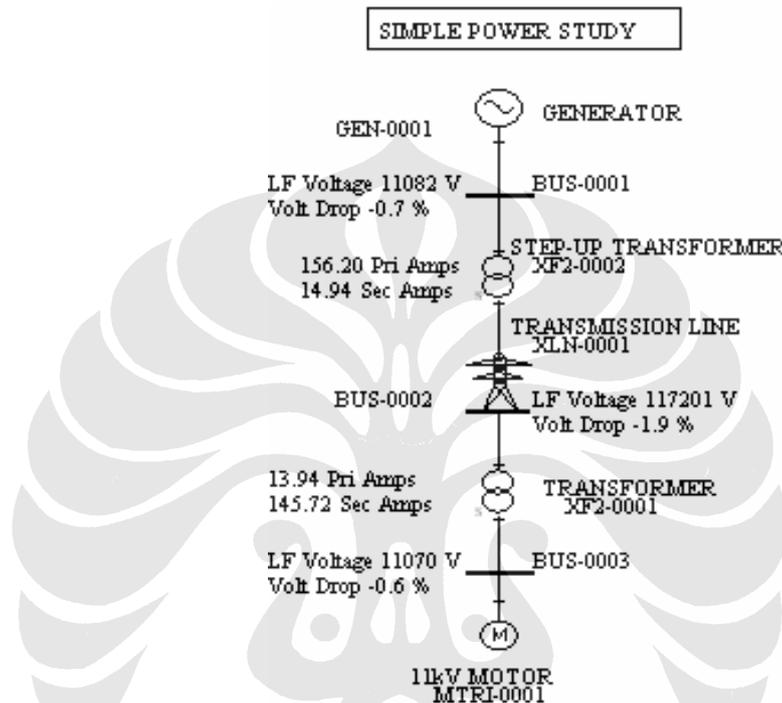
Pemasangan *capacitor bank* di Chevron pada umumnya menggunakan rangkaian *Wye ungrounded*, karena jika *capacitor bank* tersebut di-tanah-kan maka akan menimbulkan referensi tanah baru yang bisa mengakibatkan kerusakan pada *capacitor bank* itu sendiri, *gronding resistor* dan kesalahan koordinasi proteksi.

2.4 TEORI ALIRAN BEBAN

Teori aliran beban merupakan suatu cara dalam sistem listrik untuk mencari sebuah solusi dari suatu jaringan. Teori ini bukan merupakan suatu yang penting dalam analisis semua jaringan, kecuali beberapa hal yang mendesak merupakan suatu keistimewaan untuk sumber daya. Tidak ada keuntungan menggunakan mesin yang terlalu rumit dan model saluran yang beban dan data-data lainnya hanya memiliki akurasi yang kecil. Biasanya, ukuran dan tingkat kerumitan dari suatu jaringan dibuat cukup baik untuk perangsang tanpa perbaikan yang tak pantas dari suatu komponen.

Beberapa kombinasi dari jumlah yang biasanya menentukan dalam perhitungan teori aliran beban :

- *Slack, swing, or floating busbar*
- *Beban*
- *Generator*



Gambar 2.5 One line diagram sederhana yang menghitung aliran beban dan jatuh tegangan pada setiap bus

Teori aliran beban dapat digunakan untuk meneliti suatu power system (keuntungan Teori aliran beban):

- Aliran daya (MW dan MVA_r) dari cabang di suatu network
- Mengetahui tegangan busbar
- Efek dari perubahan circuit dan menggabungkan sebuah sitem baru ke dalam pembebanan sistem
- Efek dari hilangnya sumber daya terhadap pembebanan sistem
- Efek dari penambahan dan lonjakan tiba-tiba dari tegangan terhadap pembebanan sistem
- Membuat kondisi optimum dari sistem dan distribusi beban
- Memperkecil loss pada sistem

- Mencari rating dan tap-range optimum
- Memperbaiki ukuran konduktor dan tegangan sistem

2.5 ETAP 4.0.0

ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) PowerStation adalah program penganalisa transien listrik yang diperkaya dengan grafis dan menyediakan performansi tertinggi dari aplikasi ini dimana kita bisa menganalisa jaringan yang besar yang membutuhkan komputasi secara intensif dan pengamatan secara online dan aplikasi kontrol yang lain.

Power Station juga membuat kita bekerja secara langsung dengan grafis diagram satu garis dan sistem pengkabelan bawah tanah. Program ini telah dirancang sesuai dengan tiga konsep kunci yaitu:

1. Virtual Reality Operation

Operasi program ini menyerupai operasi sistem listrik yang nyata senyata mungkin. Sebagai contoh, ketika membuka atau menutup CB, setel pada 'out of service' atau ganti status operasi dari motor. PowerStation berisi juga konsep baru dalam menentukan koordinasi alat proteksi secara langsung dari diagram satu garis.

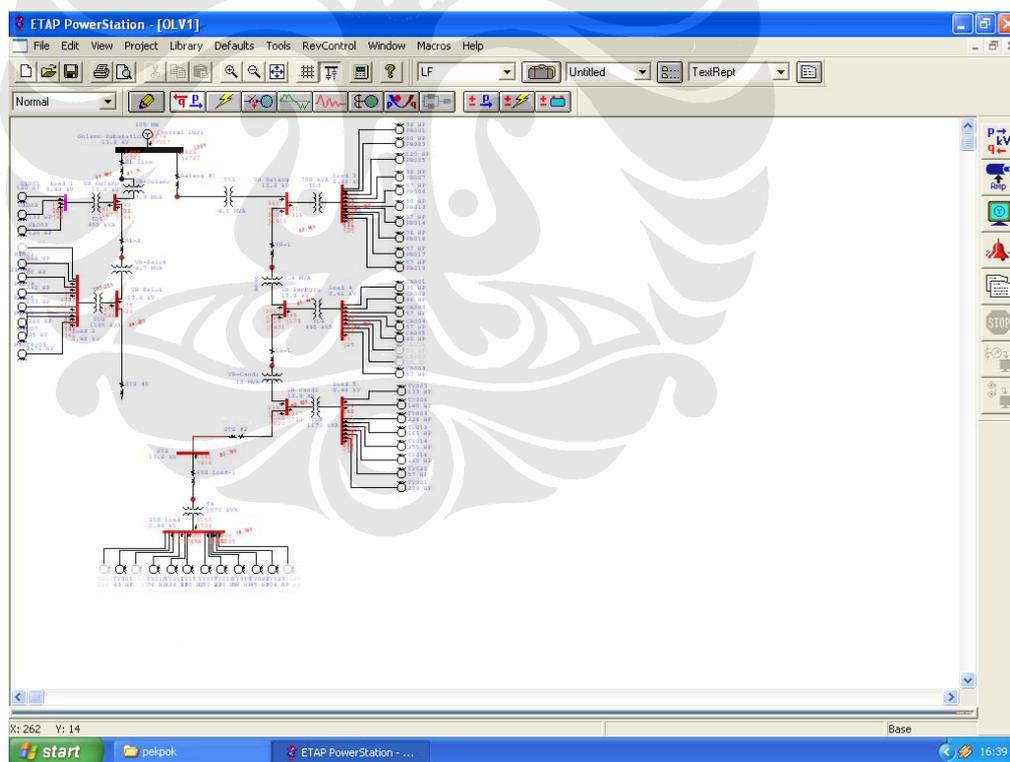
2. Total Integration of Data

PowerStation mengkombinasikan unsur elektrik, mekanik, logik, dan fisik unsur dari elemen-elemen sistem pada database yang sama. Sebagai contoh, sebuah kabel tidak hanya terdiri atas data yang merepresentasikan properti elektriknya dan dimensi fisiknya akan tetapi juga informasi yang menyatakan bagaimana kabel tersebut dipasang. Oleh karena itu data untuk sebuah kabel dapat digunakan untuk analisa aliran beban atau hubung singkat, yang memerlukan parameter elektris dan interkoneksi sebagaimana perhitungan derating ampacity kable diperlukan, yang memerlukan data fisik. Integrasi dari data ini membutuhkan konsistensi pada keseluruhan sistem dan menghilangkan masukan data berulang pada elemen yang sama.

3. Simplicity in Data Entry

PowerStation menyimpan data rinci dari setiap komponen listrik. Data editor dapat mempercepat dalam memasukkan data dengan cara meminimumkan data untuk studi khusus. Untuk itu, pada program ini editor propertinya sudah terstruktur pada sifat logika terbaiknya dalam memasukkan data untuk tipe-tipe analisa dan desain yang berbeda.

PowerStation mengatur pekerjaan kita pada sebuah basis proyek. Setiap proyek menyediakan semua alat-alat yang diperlukan dan mendukung bagi pemodelan dan analisa sistem tenaga listrik. Sebuah proyek terdiri atas sistem elektrik yang membutuhkan suatu set yang unik dari komponen elektrik dan interkoneksinya. Pada PowerStation, setiap proyek dilengkapi sebuah set dari pengguna, akses kontrol dari pengguna dan data terpisah yang mana semua data dari elemen dan konektivitasnya tersimpan.



Gambar 2.6 Contoh aplikasi Etap 4.0.0 untuk menghitung jatuh tegangan pada suatu sistem

Akses kepada file proyek yang ada adalah melalui sebuah file proyek yang khusus dengan ekstentis *.oti*. *Database* program disimpan melalui ODBC

kedalam sebuah file database seperti Microsoft Access (*.mdb). File ini bekerja bersama-sama untuk menyediakan kontrol akses dan penyimpanan untuk setiap proyek dan dinamakan persis seperti proyek yang kita kerjakan. PowerStation menempatkan semua laporan hasilnya dari program kita kedalam sub-direktori yang sama dimana *database* berada.

Dengan PowerStation kita dapat membuat secara grafis diagram satu garis dan sistem bawah tanahnya serta menampilkan aliran daya, hubung singkat, starting motor, stabilitas transien, koordinasi peralatan proteksi, dan studi derating kabel dari sistem elektriknya.

Properti dari setiap elemen sirkuit dapat di edit secara langsung dari diagram satu garis dan atau sistem bawah tanahnya. Hasil perhitungan diperlihatkan pada diagram satu garisnya.

Satu fitur yang ampuh dari PowerStation adalah integrasi data dari kabel. Sebuah kabel tidak hanya terdiri dari data yang merepresentasikan properti elektriknya akan tetapi juga mengandung informasi routing fisiknya yang mengindikasikan bagaimana kabel tersebut terpasang.

PowerStation juga berisi librari yang mudah diakses dari file proyek. Sebagai tambahan, kita dapat menambah data librari yang sudah ada untuk membuat librari yang baru.

2.5 TIRISTOR

STS dapat bekerja sangat cepat karena menggunakan pemindah elektronik (bukan pemindah mechanical seperti CB, LBS, dll). Pemindah elektronik yang digunakan adalah SCR (*silicon controlled rectifier*) / Tiristor. Tiristor berfungsi sebagai saklar.

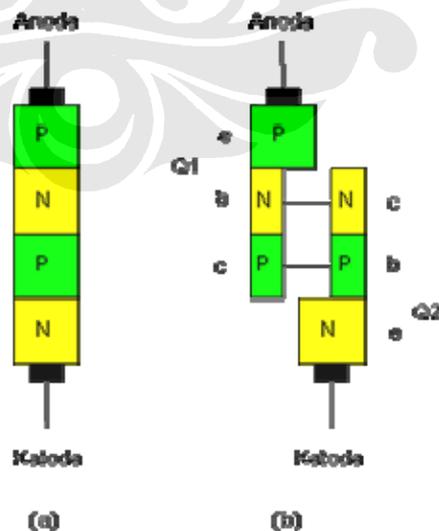
Tiristor banyak digunakan jika melibatkan tegangan & arus tinggi, dan sering digunakan untuk mengontrol *alternating currents*, dimana perubahan polaritas arus menyebabkan divais terputus/mati secara otomatis, dikenal juga dengan istilah *Zero Cross operation*. Divais ini dapat bekerja secara sinkron, dimana saat divais dalam keadaan open, akan mengkonduksi arus yang se-fasa dengan tegangan yang diberikan pada katoda ke anoda (melewati junction) tanpa

perlu adanya penanbahan/peningkatan modulasi pada *gate*, divais dalam keadaan *biased fully on*.

Tiristor sering juga ditemukan pada *power supplies* untuk *digital circuits*, dimana mereka berfungsi sebagai semacam *circuit breaker* atau "*crowbar*" untuk mencegah kerusakan pada *downstream components* bila terjadi kegagalan pada *power suplai*. Tiristor digunakan pada conjunction dengan sebuah dioda zener tersambung pada *gate*-nya. Saat output tegangan dari suplai meningkat melebihi tegangan zener, tiristor bekerja, meng-short output dari power suplai ke tanah dan segera memutus fuse pada upstream.

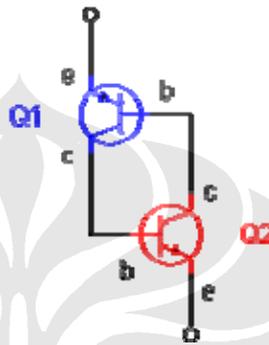
Penerapan aplikasi tiristor secara masal, yang diasosiasikan dengan *triggering diac*, pada produk-produk konsumen berhubungan dengan penstabilan *power suplai* pada bagian penerima televisi berwarna tahun 1970-an. Suplai tegangan tinggi DC yang stabil untuk *receiver* didapatkan dengan mengatur naik turunnya *switching point* dari tiristor. *Switching point* yang akurat ditentukan dari beban pada output suplai DC.

Ciri-ciri utama dari sebuah tiristor adalah komponen yang terbuat dari bahan semiconductor *silicon*. Walaupun bahannya sama, tetapi struktur P-N *junction* yang dimilikinya lebih kompleks dibanding *transistor bipolar* atau MOS. Komponen tiristor lebih digunakan sebagai saklar (*switch*) ketimbang sebagai penguat arus atau tegangan seperti halnya transistor.



Gambar 2.7 Struktur tiristor

Struktur dasar tiristor adalah struktur 4 layer PNPN seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7a. Jika dipilah, struktur ini dapat dilihat sebagai dua buah struktur junction PNP dan NPN yang tersambung di tengah seperti pada gambar 2.7b. Ini tidak lain adalah dua buah transistor PNP dan NPN yang tersambung pada masing-masing kolektor dan base. Jika divisualisasikan sebagai transistor Q1 dan Q2, maka struktur tiristor ini dapat diperlihatkan seperti pada gambar berikut ini.

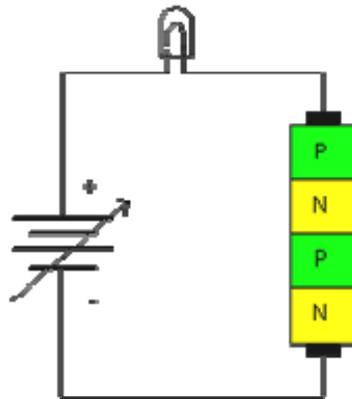


Gambar 2.8 visualisasi dengan transistor

Terlihat di sini kolektor transistor Q1 tersambung pada base transistor Q2 dan sebaliknya kolektor transistor Q2 tersambung pada base transistor Q1. Rangkaian transistor yang demikian menunjukkan adanya loop penguatan arus di bagian tengah. Dimana diketahui bahwa $I_c = \beta I_b$, yaitu arus kolektor adalah penguatan dari arus base.

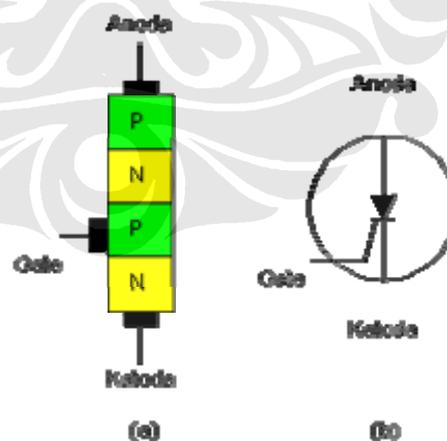
Jika misalnya ada arus sebesar I_b yang mengalir pada base transistor Q2, maka akan ada arus I_c yang mengalir pada kolektor Q2. Arus kolektor ini merupakan arus base I_b pada transistor Q1, sehingga akan muncul penguatan pada arus kolektor transistor Q1. Arus kolektor transistor Q1 tidak lain adalah arus base bagi transistor Q2. Demikian seterusnya sehingga makin lama sambungan PN dari tiristor ini di bagian tengah akan mengecil dan hilang. Tertinggal hanyalah lapisan P dan N dibagian luar.

Jika keadaan ini tercapai, maka struktur yang demikian tidak lain adalah struktur dioda PN (anoda-katoda) yang sudah dikenal. Pada saat yang demikian, disebut bahwa tiristor dalam keadaan ON dan dapat mengalirkan arus dari anoda menuju katoda seperti layaknya sebuah dioda.



Gambar 2.9 *tiristor* diberi tegangan

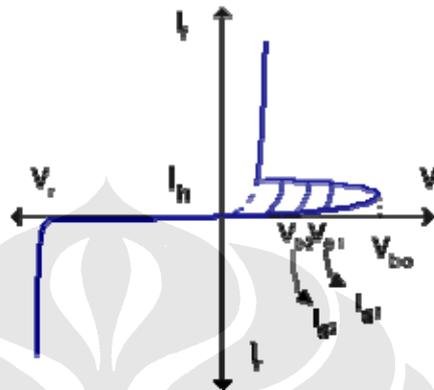
Bagaimana kalau pada tiristor ini kita beri beban lampu dc dan diberi suplai tegangan dari nol sampai tegangan tertentu seperti pada gambar 2.9. Apa yang terjadi pada lampu ketika tegangan dinaikkan dari nol. Tentu saja lampu akan tetap padam karena lapisan N-P yang ada ditengah akan mendapatkan *reverse-bias* (teori dioda). Pada saat ini disebut tiristor dalam keadaan OFF karena tidak ada arus yang bisa mengalir atau sangat kecil sekali. Arus tidak dapat mengalir sampai pada suatu tegangan *reverse-bias* tertentu yang menyebabkan sambungan NP ini jenuh dan hilang. Tegangan ini disebut tegangan *breakdown* dan pada saat itu arus mulai dapat mengalir melewati tiristor sebagaimana dioda umumnya. Pada tiristor tegangan ini disebut tegangan *breakover* V_{bo} .



Gambar 2.10 Struktur SCR

Melalui kaki (pin) *gate* tersebut memungkinkan komponen ini di *trigger* menjadi ON, yaitu dengan memberi arus *gate*. Ternyata dengan memberi arus *gate* I_g yang semakin besar dapat menurunkan tegangan *breakover* (V_{bo}) sebuah SCR. Dimana tegangan ini adalah tegangan minimum yang diperlukan SCR untuk

menjadi ON. Sampai pada suatu besar arus gate tertentu, ternyata akan sangat mudah membuat SCR menjadi ON. Bahkan dengan tegangan *forward* yang kecil sekalipun. Misalnya 1 volt saja atau lebih kecil lagi. Kurva tegangan dan arus dari sebuah SCR adalah seperti yang ada pada gambar berikut ini.



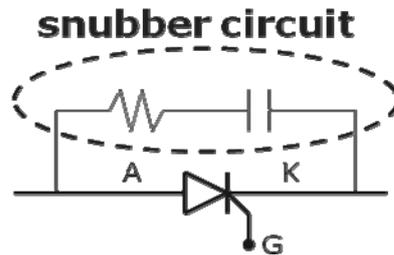
Gambar 2.11 Karakteristik kurva I-V SCR

Pada gambar tertera tegangan *breakover* V_{bo} , yang jika tegangan forward SCR mencapai titik ini, maka SCR akan ON. Lebih penting lagi adalah arus I_g yang dapat menyebabkan tegangan V_{bo} turun menjadi lebih kecil. Pada gambar 2.11 ditunjukkan beberapa arus I_g dan korelasinya terhadap tegangan breakover. Pada datasheet SCR, arus trigger gate ini sering ditulis dengan notasi I_{GT} (*gate trigger current*). Pada gambar ada ditunjukkan juga arus I_h yaitu arus *holding* yang mempertahankan SCR tetap ON. Jadi agar SCR tetap ON maka arus *forward* dari anoda menuju katoda harus berada di atas parameter ini.

Sejauh ini yang dikemukakan adalah bagaimana membuat SCR menjadi ON. Pada kenyataannya, sekali SCR mencapai keadaan ON maka selamanya akan ON, walaupun tegangan gate dilepas atau di hubung singkat ke katoda. Satu-satunya cara untuk membuat SCR menjadi OFF adalah dengan membuat arus anoda-katoda turun dibawah arus I_h (*holding current*). Pada gambar- kurva I-V SCR, jika arus forward berada dibawah titik I_h , maka SCR kembali pada keadaan OFF. Berapa besar arus *holding* ini, umumnya ada di dalam datasheet SCR.

Cara membuat SCR menjadi OFF tersebut adalah sama saja dengan menurunkan tegangan anoda-katoda ke titik nol. Karena inilah SCR atau tiristor pada umumnya tidak cocok digunakan untuk aplikasi DC. Komponen ini lebih

banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi tegangan AC, dimana SCR bisa OFF pada saat gelombang tegangan AC berada di titik nol.



Gambar 2.12 *Snubber circuit*

Karena *tiristor* bisa di-*trigger on* dengan peningkatan tegangan dari tegangan kondisi *off-state*. Maka dalam penerapannya pada aplikasi, kejadian ini dicegah dengan sebuah *resistor-capacitor (RC) snubber circuit* antara terminal anoda dan katoda untuk membatasi dV/dt (misal laju perubahan tegangan terhadap waktu). Rangkaian ini bertujuan untuk memproteksi komponen saklar daya yang digunakan terhadap pengaruh perubahan tegangan dan arus pada saat ON/OFF-nya saklar.

2.6 Recloser



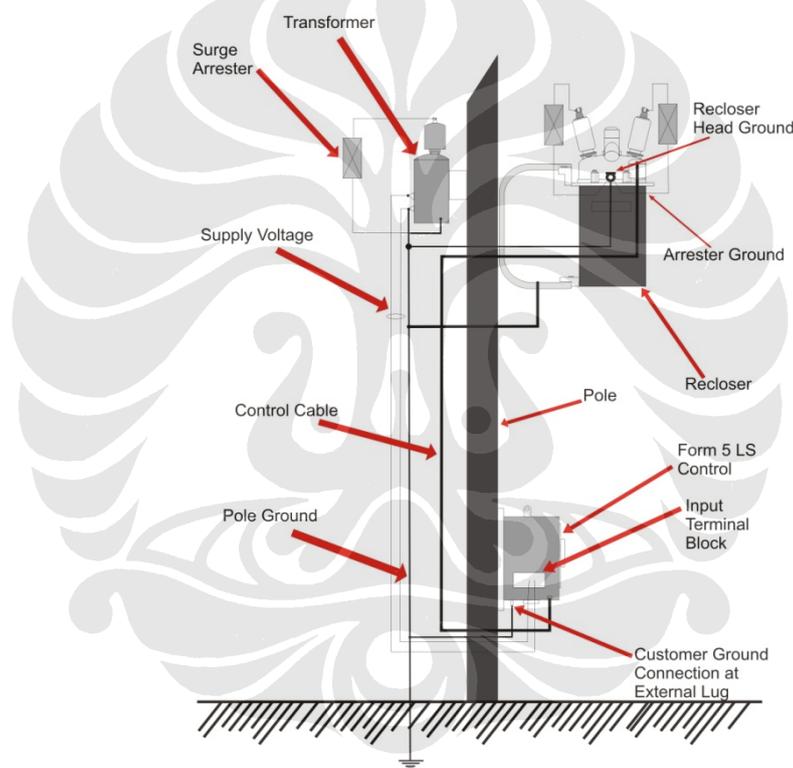
Gambar 2.13 *Recloser*

Recloser adalah alat yang digunakan untuk membuka dan menghubungkan rangkaian melalui sebuah pengendali (terletak pada *kontrol box*) baik pada saat ada gangguan maupun pada kondisi normal. Saat gangguan *Recloser* berfungsi

untuk mengisolasi gangguan supaya tidak mempengaruhi sistem yang lebih besar. Pada saat normal, *Recloser* dipakai untuk memindahkan beban dengan memutuskan atau menghubungkan beban tersebut dari satu saluran ke saluran yang lain.

Recloser digunakan pada proteksi peralatan kerja di PT. CPI. Proteksi utamanya adalah *Phase to phase over current protection* dan *phase to ground over current protection*. Hal ini membuat alat tidak cepat rusak yang diakibatkan arus lebih fasa ke fasa maupun arus lebih fasa ke tanah.

Prinsip kerja recloser pada dasarnya hampir sama dengan pemutus. Recloser dilengkapi dengan kontrol recloser dan dihubungkan dengan kabel kontrol. Seperti gambar berikut :



Gambar 2.14 Pemasangan recloser pada sistem distribusi

Trafo Arus (CT) digunakan sebagai sensing dan dipasang melingkari *bushing recloser* pada sisi sumber. Sedangkan rele terletak pada kontrol reclosernya. Pada saat terjadi gangguan arus lebih misalnya, arus akan mengalir melalui CT kemudian rele akan merasakan adanya gangguan dan memberi perintah ke *moving contact* pada recloser (yang awalnya normally close) untuk membuka (fault open), bersamaan dengan itu *tripping coil* pada tiap-tiap fasanya akan terbuka. Arus

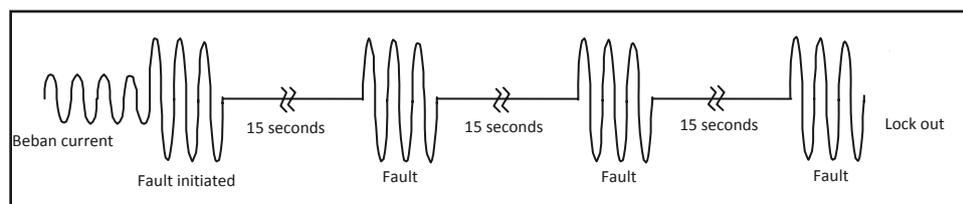
lebih yang terjadi akibat gangguan akan masuk ke *vaccum interrupter* dan busur api yang terjadi akan diredam pada *vaccum interrupter* tersebut sehingga tidak menimbulkan kerusakan akibat bunga api. Minyak recloser berguna untuk mendinginkan atau menstabilkan suhu didalam recloser.

Recloser memiliki daerah proteksi tersendiri, biasanya *recloser* digunakan untuk proteksi pada sistem distribusi dan diletakkan dibawah saluran. Tujuannya agar saat terjadi gangguan dalam daerah pengamanan *recloser*, maka jaringan yang terputus hanya berada dibawah *recloser* sehingga tidak perlu proteksi yang bekerja dan sistem yang mati dapat lebih diminimalkan.

Tabel 2.1 Fungsi proteksi yang dapat digunakan oleh recloser

DEVICE NUMBER	FUNCTION	DEVICE NUMBER	FUNCTION
24	Volts Per Hertz	59N	Neutral Overvoltage
27	Phase Undervoltage	59P	Phase Overvoltage
27X	Auxiliary Undervoltage	59X	Auxiliary Overvoltage
50/87	Instantaneous Differential Overcurrent	67N	Neutral Directional Overcurrent
50G	Ground Instantaneous Overcurrent	67P	Phase Directional Overcurrent
50N	Neutral Instantaneous Overcurrent	81O	Overfrequency
50P	Phase Instantaneous Overcurrent	81U	Underfrequency
51G	Ground Time Overcurrent	87G	Restricted Ground Fault
51N	Neutral Time Overcurrent	87T	Transformer Differential
51P	Phase Time Overcurrent		

Di PT. Chevron, *recloser* di pengaturan trip jika terjadi gangguan dan *close* kembali setelah 15 detik. Hal ini terjadi selama tiga kali, dan jika terjadi lagi maka akan terjadi kondisi “*recloser lockout*”. Kondisi ini mengakibatkan “saluran terbuka”. Sistem operasi recloser pada umumnya recloser diset 4 kali trip dan 3 kali *reclose*, setelah itu *lock out* dan pada umumnya kondisi di lapangan waktu *reclosing* diatur 15 detik. Namun demikian pengaturan *recloser time* sangat tergantung dengan kebutuhan lapangan.



Gambar 2.15 Sistem operasi *recloser*

Ada 2 macam kurva recloser, yaitu:

1. Kurva Cepat (*Fast Curve*), untuk mengantisipasi gangguan sementara (temporary fault), recloser mengatasi gangguan sesegera mungkin di dalam daerah proteksinya. Kurva ini tidak digunakan di PT.CPI.
2. Kurva Lambat (*Slow Curve*), recloser beroperasi 4 kali dan kemudian terkunci (*lock out*). Waktu tanda dari terbuka sampai menutup kembali adalah 15 detik.

Unit lengkap recloser biasanya terdiri dari:

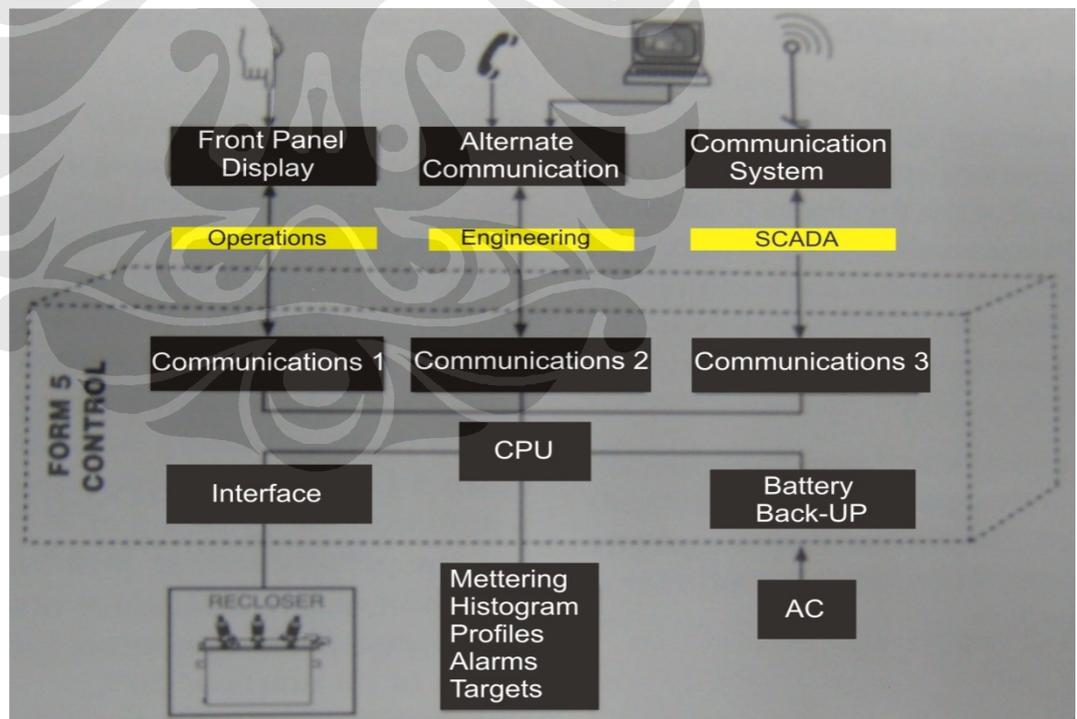
1. Unit Power Recloser, yang didalamnya terdapat:
 - a. *Switch* dengan *interrupter* dan mekanismenya serta minyak sebagai isolasi. Ada 2 jenis *interrupter* yang biasanya digunakan, yaitu vacuum dan oil.
 - b. *Closing* dan *Tripping Solenoid* untuk menggerakkan *switch* serta transformator arus (CT) sebagai sensing.
2. Kontrol Recloser, yang didalamnya terdapat pengukuran, proteksi, dan kontrol yang memerintahkan *unit power recloser* bekerja dimana antara recloser dengan kontrolnya dihubungkan dengan kabel kontrol.
3. Baterai dan Chargernya.
4. *Rectifier* (penyearah), digunakan jika reclosernya menggunakan DC solenoid. Biasanya tegangan yang digunakan pada *closing solenoid* 120 V atau 240 V AC/DC.
5. Fasilitas komunikasi ke SCADA.

Recloser pada prinsipnya dapat melindungi sumber dan beban, karena recloser memiliki polaritas sumber dan beban yang tidak dapat dibalikkan. Faktor-faktor yang harus diperhatikan pada *recloser* :

- Rating tegangan pada *recloser* harus sama atau lebih besar dari tegangan yang ada pada sistem.
- Rating arus pada *recloser* harus sama atau lebih besar dari arus maksimum gangguan.

- Rating arus beban maksimum juga harus sama atau lebih besar dari arus pada rangkaian.
- Arus minimum gangguan yang mungkin terjadi pada ujung konduktor harus diperhatikan untuk memastikan apakah *recloser* bisa mendeteksi arus ini.
- Pengawatannya juga harus benar antara sisi sumber dengan sisi beban.

Kontrol recloser tipe form 5 diletakkan dalam kontrol box dan dihubungkan dengan unit reclosernya dengan menggunakan kabel kontrol sehingga memudahkan pengoperasian. Recloser ini memiliki kurva yang tak terbatas. Suplai tegangan berasal dari baterai DC dan bisa juga dari rectifier. Pengukuran (metering) dan beban dapat dilihat dari tampilan (display). Jenis recloser ini banyak digunakan di PT. CPI. Dari beberapa jenis kontrol mikroprosesor diatas, jenis Form 5 merupakan jenis kontrol yang paling banyak digunakan.



Gambar 2.16 Sistem kontrol recloser pada Form 5

Dari diagram diatas, menggambarkan bahwa terdapat 3 cara berkomunikasi dengan recloser melalui perantara kontrol recloser form 5.

Yaitu melalui front panel display untuk menpengaturan kerja recloser, melalui engineer yang menggunakan program, atau dengan bantuan gelombang radio dari SCADA.

2.7 SCADA

SCADA (*Supervisory Kontrol and Data Acquisition System*) adalah suatu sistem kontrol pengawasan, pengambilan data, dan pengontrolan jarak jauh.

Tujuan SCADA di PG&T antara lain:

1. Melakukan pengontrolan peralatan listrik
2. Memonitor perubahan status peralatan listrik
3. Melakukan pengukuran parameter listrik
4. Mengatur pembangkitan listrik dan distribusi beban
5. Memberitahukan jika terjadi keadaan tidak normal
6. Mengumpulkan data parameter listrik untuk kebutuhan evaluasi sistem kelistrikan

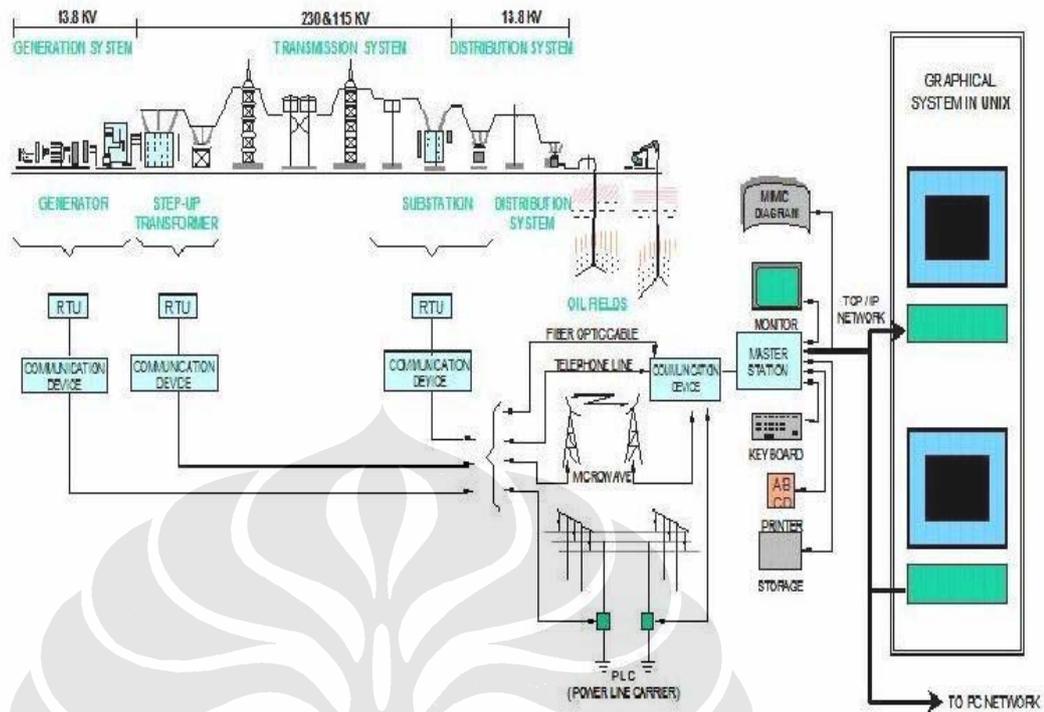
Sistem Scada menghubungkan dua environment :

1. Gardu

Di *gardu*, sistem SCADA melakukan pengukuran, memonitor, mengontrol dan mengubah data dari peralatan menjadi digital.

2. Operation Center (SCADA Master station)

Di sini SCADA mengumpulkan, menyimpan dan mengolah data yang didapat dari RTU. Untuk menghubungkan kedua komponen tersebut digunakan jalur komunikasi. Peralatan sistem SCADA yang paling ujung yang terdapat di *gardu* adalah RTU (*Remote Terminal Unit*). RTU mengumpulkan hasil pengukuran, monitor dan pengontrolan parameter listrik di *gardu*, kemudian mengirimkannya ke *Operation Center*. SCADA Master Station yang terdapat di *Operation Center* memonitor dan mengolah data yang masuk, kemudian menampilkannya kepada *operator* berupa peringatan *warning* dan alarm untuk mengingatkan *operator* bila ada potensi masalah di *gardu* maupun *system daya*.



Gambar 2.17 Sistem SCADA pada PT. CPI

2.8 UNIT STS

STS terdiri atas 2 komponen utama,

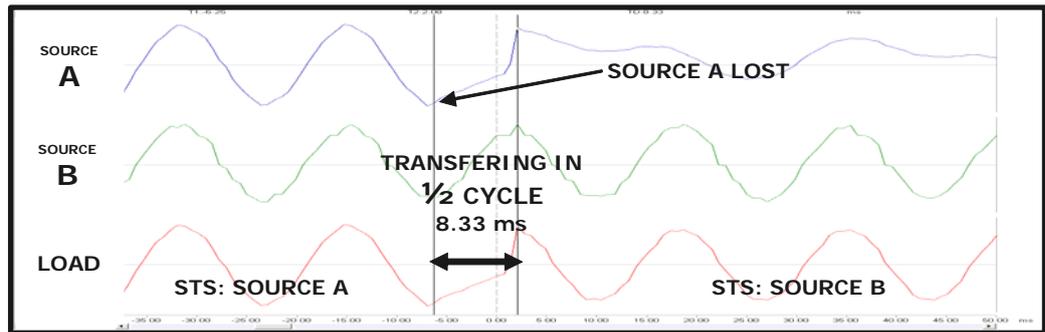
1. 5 lemari / *cells*:
 - 3 - *single-phase switching cells* (no.1,2,3)
 - 1 - *transformer cell* (no.4)
 - 1 - *kontrol cell* (no.5)
2. *Switchgear* untuk hubung singkat dan isolasi (S&C 5-way *Vista Switch*)



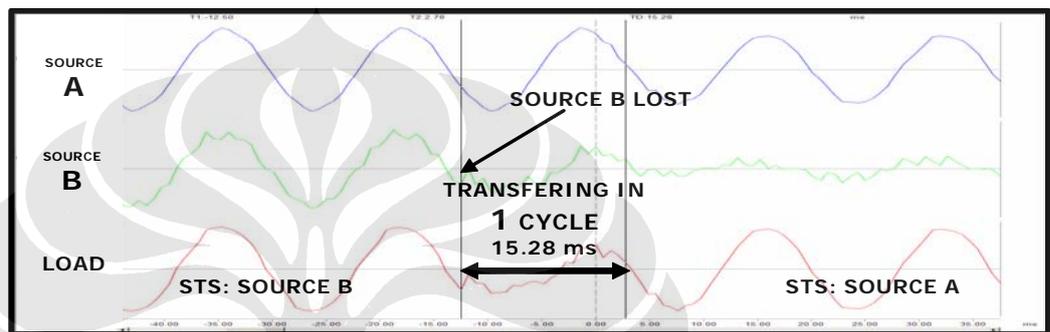
Gambar 2.18 Komponen STS

3 - *single-phase switching cells* berfungsi untuk melakukan pemindahan antara sumber-A dengan sumber-B. Didalamnya berisi tiristor yang merupakan sebuah saklar elektronik. Seluruh kerja tiristor pada STS digerakkan oleh mikroprocessor dan kontrol STS yang terdapat pada lemari kontrol. Hal inilah yang menyebabkan STS dapat mentransfer sumber dengan sangat cepat.

Jika salah satu fasa mengalami jatuh tegangan, maka akan terjadi perpindahan sumber. Namun, waktu yang diperlukan untuk melakukan perpindahan itu lebih banyak dibandingkan perpindahan ketika terjadi kehilangan daya pada ke-tiga fasanya. Berikut ini adalah contoh perpindahan beban dari satu sumber ke sumber lainnya yang didapat dari buku petunjuk penggunaan STS:



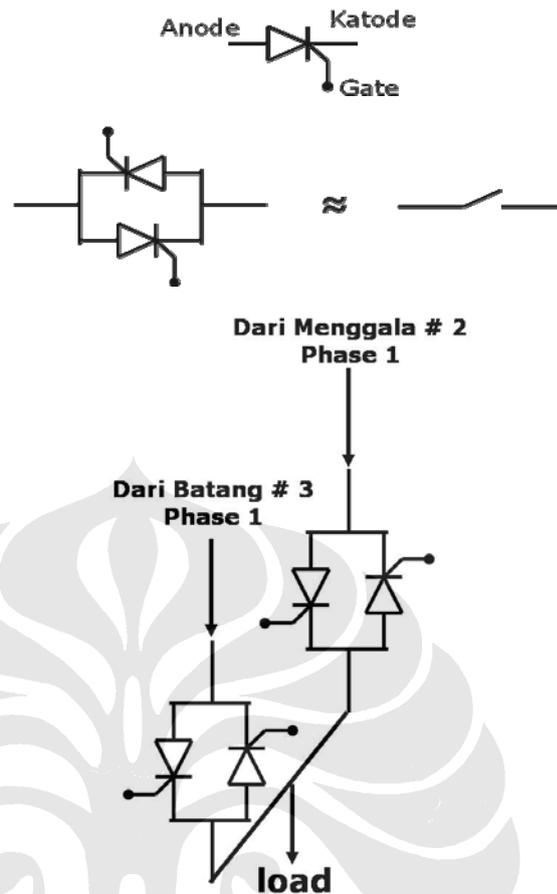
Gambar 2.19 (a) Kecepatan perpindahan beban ketika tiga fasa hilang



Gambar 2.19 (b) Kecepatan perpindahan beban ketika satu fasa hilang

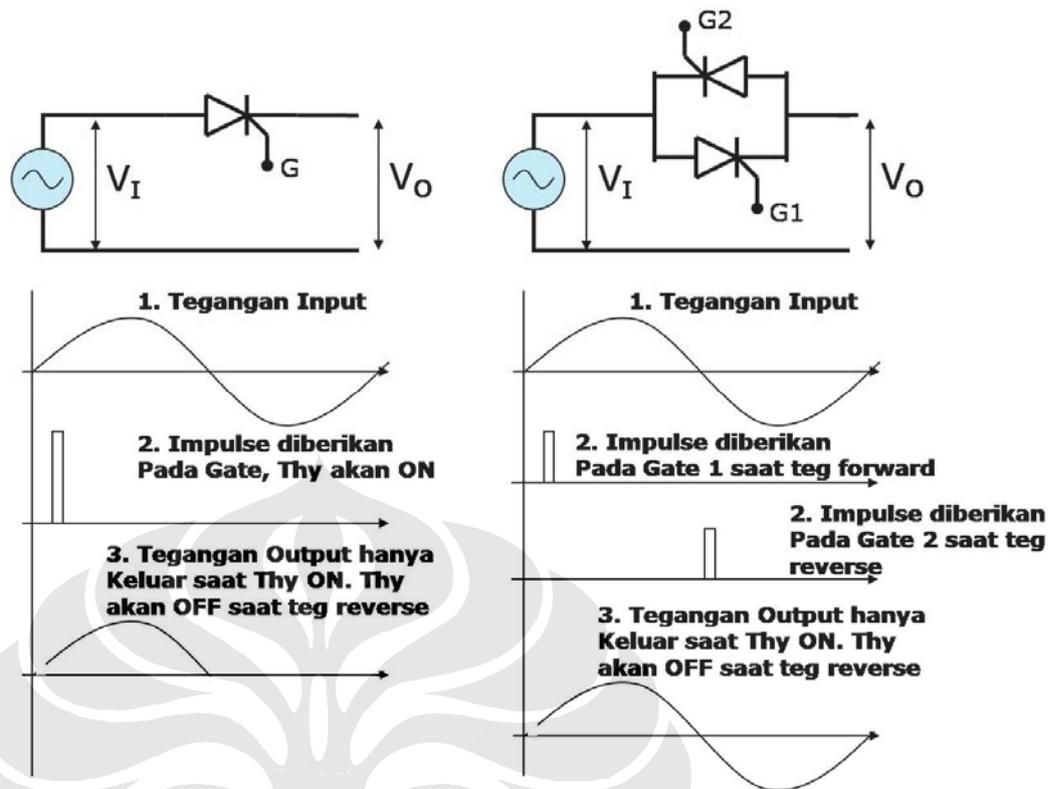
Pada kasus hilangnya 1 fasa, transfer yang terjadi lebih lama karena yang bekerja pada STS adalah backup pengaturannya. Ketika satu fasa hilang, jatuh tegangan yang terjadi tidak sebesar tiga fasa hilang. Hal ini karena ketika beban berpindah, sumber akan mendapatkan beban yang lebih banyak dari yang sebelumnya sehingga terjadi jatuh voltage pada perpindahan tiga fasa. Sedangkan pada hilangnya satu fasa, backup pengaturan yang mengakibatkan transfer lebih lama karena pengaturannya diatur ketika sumber-B (acuan) masih hidup maka akan terus menggunakan sumber tersebut. Namun, pada backup pengaturan di set jika pada satu cycle kualitas sumber acuan lebih jelek dari sumber cadangan, maka beban akan berpindah ke sumber cadangan sampai sumber acuan kembali normal. Hal ini juga disebabkan karakteristik dari tiristor yang bekerja pada STS.

Tiristor yang terdapat pada *switching cell* dirangkai seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.20 Rangkaian Tiristor pada STS

Saklar elektronik yang digunakan adalah tiristor jenis SCR. Penjelasan mengenai cara kerja tiristor dapat dilihat pada bab 2. Apabila *Gate* diberikan tegangan impulse  dan tegangan anoda ke katoda positif, maka tiristor akan ON dan akan OFF apabila arus sebaliknya. STS mengatur *gate* tiristor melalui mikroprosesor pada lemari kontrol, sehingga dapat terjadi sinkronisasi antara sumber-A dan sumber-B. Pada tegangan AC, arus akan bolak-balik, sehingga tiristor akan ON dan OFF. Agar konduktifitas tetap terjaga, maka tiristor dirangkai seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.21 Karakteristik kerja tiristor

Dalam satu *cell* STS digunakan sebagai saklar untuk 1-fasa dari masing-masing saluran dan beban secara bersamaan. Di STS juga terdapat transformator yang berfungsi untuk mengubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah, agar dapat dibaca oleh kontrol STS. Dibawah ini adalah kontrol STS pada saat kondisi normal.



Gambar 2.22 Kontrol STS

Pada kontrol STS diatas terlihat beberapa indikator yang dapat digunakan sebagai petunjuk bagi user STS tersebut. Di sudut kiri atas terdapat monitor LED yang menampilkan profil dari sumber STS, baik sumber-A maupun sumber-B. Pada saat pengambilan gambar ini, tertulis 20,97 kV dan 3 A. Ini menunjukkan bahwa STS baru dinyalakan, terlihat dari tegangan yang tinggi sedangkan arusnya kecil. Di sebelah kanan atas, terdapat beberapa indikator sumber yang digunakan. Saat ini, kontrol di set untuk menggunakan sumber-A sebagai sumber utama. Walaupun sumber-B dalam keadaan baik, jika sumber-A juga dalam keadaan baik maka yang digunakan adalah sumber-A. Dari indikator diatas juga terlihat ke-dua sumber dalam keadaan baik, namun yang digunakan sebagai sumber adalah sumber-A.

Pada kontrol STS juga disediakan pengaturan manual. Hal ini digunakan jika terjadi gangguan terhadap sistem mikroprosesor pada kontrol tersebut. Kontrol STS ini juga dapat merekam data-data yang dapat digunakan sebagai analisa jika terjadi gangguan terhadap STS, maupun sumber.

Switchgear digunakan untuk melakukan bypass sumber utama. Hal ini dilakukan jika terjadi masalah pada STS (tiristor, kontrol, maupun transformator), sehingga beban tetap terjaga hidup. *Switchgear* juga digunakan untuk bypass jika dilakukan perawatan, sehingga tidak mengganggu produksi dari beban tersebut.

STS bukan merupakan alat proteksi. STS juga tidak dilengkapi oleh alat proteksi internal, sehingga dibutuhkan beberapa tambahan proteksi yang di pasang di sekitar STS. Jika terjadi gangguan pada STS, beberapa alat yang ada di STS akan terbakar atau *failure* pada kondisi normal. Namun, untuk mencegah kerugian yang lebih besar, maka lebih baik untuk memasang pengaman tambahan mengingat STS merupakan salah satu alat yang vital dan mahal.

Proteksi tambahan Internal STS :

1. *Lighting Arrester*

berfungsi untuk melindungi sistem STS dari lonjakan tegangan yang tinggi.

2. *Varistor*

berfungsi untuk melindungi tiristor dari tegangan yang melonjak tiba-tiba.

3. *Time delay overcurrent*

berfungsi untuk menahan hidupnya STS pada saat awal *start* motor, sehingga dapat mengurangi efek arus lebih.

4. *Rele overvoltage protection* (seharusnya terpasang)

berfungsi sebagai proteksi terhadap tegangan berlebih. Rele ini dapat mematikan STS jika terjadi arus lebih, sehingga mengurangi kerusakan pada sistem.

5. *Recloser*

Recloser diletakkan pada sisi beban. *Recloser* digunakan untuk melindungi STS jika terjadi gangguan di beban. Kontrol *recloser* di atur 50/51P (*Instant over current*), 51N (*Time over current*), SGF (*Sensitive tanah fault*) dan HLT (*Hot line tag*). Dengan pengaturan diatas, *recloser* digunakan untuk melindungi STS dari arus lebih.