



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS
KEGAGALAN PROSES PEMINDAHAN
PASOKAN LISTRIK
PADA SUATU SISTEM DISTRIBUSI 13,8 KV
DENGAN MENGGUNAKAN ETAP
(STUDI KASUS KEGAGALAN DI PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA)**

SKRIPSI

**YUWONO WICAKSONO
04 04 03 089 X**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS
KEGAGALAN PROSES PEMINDAHAN
PASOKAN LISTRIK
PADA SUATU SISTEM DISTRIBUSI 13,8 KV
DENGAN MENGGUNAKAN ETAP
(STUDI KASUS KEGAGALAN DI PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**YUWONO WICAKSONO
04 04 03 089 X**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Yuwono Wicaksono

NPM : 04040089X

Tanda Tangan :

Tanggal : 12 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Yuwono Wicaksono

NPM : 040403089X

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Kegagalan Proses Pemindahan Pasokan

Listrik Pada Suatu Sistem Distribusi 13,8 kV

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Budi Sudiarto ST, MT ()

Penguji : Prof.Ir. Rudy Setiabudy MSc, Ph.D ()

Penguji : Ir. Amien Rahardjo MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 22 Desember 2008

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

Budi Sudiarto ST, MT

Selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan saran, bimbingan, pengarahan, dan kemudahan lain dalam penyelesaian skripsi ini. Terima kasih pula kepada kedua orang tua, teman-teman seperjuangan dan rekan-rekan semua yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Depok, 12 Desember 2008
Penulis

Yuwono Wicaksono
NPM. 040403089X

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yuwono Wicaksono

NPM : 040403089X

Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Analisis Kegagalan Proses Pemindahan Pasokan Listrik

Pada Suatu Sistem Distribusi 13,8 kV

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 12 Desember 2008

Yang menyatakan

(Yuwono Wicaksono)

Yuwono Wicaksono
NPM 040403089X
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing
Budi Sudiarto ST, MT

**Analisis Kegagalan Proses Pemindahan Pasokan Listrik
Pada Suatu Sistem Distribusi 13,8 kV
Dengan Menggunakan ETAP
(Studi Kasus Kegagalan di PT. Chevron Pacific Indonseia)**

ABSTRAK

Listrik merupakan sebuah kebutuhan primer di zaman teknologi saat ini. Tak terkecuali di dalam dunia industri. Karena kebutuhan akan listrik yang memiliki ketahanan terhadap gangguan, maka diciptakanlah alat-alat yang mendukung hal tersebut agar system listrik tidak mengganggu kegiatan produksi didunia industri.

PT. Chevron Pacific Indonesia yang bergerak dibidang eksplorasi minyak bumi, sangat membutuhkan listrik dengan tingkat kehandalan yang tinggi. Pada tahun 2005, diadakan pembelian produk *Static Transfer Switch* (STS) untuk meningkatkan produksi minyak mereka. Hal ini diharapkan dapat menjadi solusi akan energy yang efisien dan tahan terhadap gangguan.

Static Transfer Switch adalah sebuah alat elektronik yang dapat memindahkan secara cepat sumber tenaga listrik dari satu sumber ke sumber lainnya tanpa harus mematikan beban. Kecepatan waktu perpindahan dapat diartikan, jika satu sumber mati, maka STS mengalihkan sumber ke sumber cadangan dengan sangat cepat sehingga beban tidak dapat merasakan pengalihan tersebut. STS dapat melakukan transfer antara dua sumber dengan kecepatan kerja empat sampai 20 milidetik sehingga dapat digunakan untuk mengamankan beban dalam jumlah besar dan beberapa fasilitas lainnya dari gangguan singkat. Kedua buah sumber harus memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda, sehingga beban akan benar-benar tidak terganggu.

Kata Kunci : Static Transfer Switch, STS, sumber tenaga, kecepatan transfer, reliabilitas

Yuwono Wicaksono
NPM 040403089X
Electrical Engineering Departement

Counsellor
Budi Sudiarto ST, MT

**Analysis on Power switching Process Failure
At A Distribution System 13,8 kV
With ETAP Softwere
(Case Study in PT. Chevron Pacific Indonseia)**

ABSTRACT

Electricity is a primary need in this era of technology, including in the industrial sector. Therefore, to fulfill the demand of reliable electricity against disturbance; there is a necessity to create electrical devices which are designed to meet the required standards in the industrial sector in order to keep the production running.

PT. Chevron Pacific Indonesia , a multinational energy company specifically specializes in the oil exploration, is one of the big industries in high needs. In 2005, this company applied the *Static Transfer Switch* (STS) so that the oil production would keep increasing. The STS is expected to be part of solution of efficient and resilient energy against disturbance.

Static Transfer Switch is an electronic device that functions to switch the supply of electricity instantly from one source to other source without having to deactivate the connected load. The switching is such a rapid-timing process that the load would not even affected. STS can deal a transfer between two sources within only 4 to 20 milliseconds. This allows STS to safely protect even the massive load and other components from brief disturbance. One of the requirements to make the STS work in full capacity is that the both sources must have similar characteristics so that the load will not be greatly affected.

Keywords : Static Transfer Switch, STS, Power Source, switching, reliability

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAAN PUBLIKASI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENULISAN	1
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 METODOLOGI PENULISAN	2
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	2
BAB 2 DASAR TEORI	3
2.1 JENIS-JENIS GANGGUAN	3
2.2 <i>Voltage Regulator (VR)</i>	5
2.3 Capacitor Bank	7
2.4 TEORI ALIRAN BEBAN	8
2.5 ETAP 4.0.0	10
2.6 THYRISTOR	12
2.7 RECLOSER	17
2.8 SCADA	22
2.9 UNIT STATIC TRANSFER SWITCH	23

	Halaman
BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT.CPI	30
3.1 SISTEM LISTRI PT. CPI	30
3.2 APLIKASI STS DI PT.CPI	34
3.3 <i>STANDARD OPERATION PROCEDURE</i> (SOP) STS DI PT. CHEVRON	37
3.4 KRONOLOGIS UJI COBA STS	39
BAB 4 ANALISIS KEGAGALAN PROSES PERPINDAHAN PASOKAN LISTRIK	41
4.1 ANALISIS SESUAI URUTAN KRONOLOGIS UJI COBA STS	41
4.2 ANALISIS TERJADINYA KEGAGALAN DENGAN SOFTWARE ETAP	49
4.2.1 Uji Coba Sumber-A dan Sumber-B Sebagai Sumber Daya	51
4.2.2 Sumber-A Kehilangan Beban Pada Kondisi VR Bekerja Maksimum	52
4.2.3 Sumber-B Ketika Dibebani saat VR Dalam Kondisi Normal	54
4.3 REKOMENDASI PEMASANGAN STS	55
4.3.1 Sumber Cadangan Berasal Dari Batang Saluran 3	55
4.3.2 Sumber Cadangan Berasal Dari Saluran express Gulamo Substation	56
4.3.3 Sumber Cadangan Berasal Dari Substation Lain	57
4.3.4 Kemungkinan Pemindahan Sumber-A Menjadi Sumber Cadangan	58
4.3.5 Rekomendasi Tambahan	59
BAB 5 KESIMPULAN	60
DAFTAR ACUAN	61
DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jenis Gangguan	4
Gambar 2.2 Autotransformator	5
Gambar 2.3 Ilustrasi tegangan sistem dengan adanya VR	6
Gambar 2.4 Ilustrasi tegangan sistem dengan penambahan Capacitor bank	8
Gambar 2.5 One line diagram sederhana yang menghitung aliran beban dan <i>drop</i> tegangan pada setiap <i>bus</i>	9
Gambar 2.6 Contoh aplikasi Etap 4.0.0 untuk menghitung drop tegangan pada suatu sistem	11
Gambar 2.7 Struktur Thyristor	13
Gambar 2.8 Visualisasi dengan thyristor	14
Gambar 2.9 Thyristor diberi tegangan	15
Gambar 2.10 Struktur SCR	15
Gambar 2.11 Karakteristik kurva I-V SCR	16
Gambar 2.12 Snubber circuit	17
Gambar 2.13 Recloser	17
Gambar 2.14 Pemasangan recloser pada sistem distribusi	18
Gambar 2.15 Sistem operasi recloser	19
Gambar 2.16 Sistem control recloser form 5	21
Gambar 2.17 Sistem SCADA pada PT. CPI	23
Gambar 2.18 Komponen STS	24
Gambar 2.19a Kecepatan perpindahan beban saat tiga fasa hilang	25
Gambar 2.19b Kecepatan perpindahan beban saat satu fasa hilang	25
Gambar 2.20 Rangkaian thyristor pada STS	26
Gambar 2.21 Karakteristik kerja STS	27
Gambar 2.22 Control STS	28
Gambar 3.1 Sistem listerik di PT.CPI	30
Gambar 3.2 Diagram satu garis sederhana sistem kelistrikan PT.CPI 115 kV	32
Gambar 3.3 Sistem transmisi duri field	34

Gambar 3.4	One line diagram sederhana dari STS	35
Gambar 3.5	Skema pemasangan STS di Kelok-Tilan	37
Gambar 4.1	Kondisi awal ketika STS hidup	42
Gambar 4.2	Uji Coba Sumber STS	43
Gambar 4.3	Uji Coba switchgear	44
Gambar 4.4	Menghidupkan STS	45
Gambar 4.5	Simulasi gangguan pada sumber utama	45
Gambar 4.6	Ilustrasi drop tegangan akibat beban	46
Gambar 4.7	Ilustrasi naiknya tegangan ketika beban putus	47
Gambar 4.8	Gangguan pada recloser dan hilangnya beban	48
Gambar 4.9	Mematikan STS dan mengecek kerusakan yang terjadi	49
Gambar 4.10	Rangkaian yang menunjukkan tngangan pada kedua sumber saat kondisi tidak dibebani	51
Gambar 4.11	Rangkaian ketika sumber-A memasok daya dengan VR Bekerja maksimum	52
Gambar 4.12	Kondisi tegangan pada sumber-A ketika STS memindahkan sumber ke B	53
Gambar 4.13	Kondisi sumber-B pada saat perpindahan sumber	54
Gambar 4.14	Sumber cadangan STS diambil dari batang feeder#3	55
Gambar 4.15	Feeder express Gulamo substation	56
Gambar 4.16	Maksimal jarak yang bias digunakan sebagai sumber listrik	57
Gambar 4.17	Sumber-A sebagai sumber cadangan	58

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Fungsi proteksi yang dapat digunakan oleh recloser	19
Tabel 3.1 Data beban pada area Kelok-Tilan	36
Tabel 4.1. Tabel seluruh beban pada Batang feeder#3	49
Tabel 4.2. Tabel seluruh beban pada	50
Tabel 4.3. Tabel beban yang di cover oleh gulamo feeder#1	50



BAB 1

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Listrik merupakan sebuah kebutuhan primer di zaman teknologi saat ini. Tak terkecuali di dalam dunia industri. Karena kebutuhan akan listrik yang memiliki ketahanan terhadap gangguan, maka diciptakanlah alat-alat yang mendukung hal tersebut agar system listrik tidak menngangu kegiatan produksi didunia industri.

PT. Chevron Pacific Indonesia yang bergerak dibidang eksplorasi minyak bumi, sangat membutuhkan listrik dengan tingkat kehandalan yang tinggi. Pada tahun 2005, diadakan pembelian produk *Static Transfer Switch* (STS) untuk meningkatkan produksi minyak mereka. Hal ini diharapkan dapat menjadi solusi akan energy yang efisien dan tahan terhadap gangguan.

Badai, sambaran petir dan factor-faktor lain yang sering terjadi dan menyebabkan gangguan pada pasokan listrik ke area eksplorasi minyak mereka, sehingga mengakibatkan produksi terhenti. Dari kejadian pada gangguan listrik yang terjadi di Kelok dan Tilan yang merupakan area eksplorasi dari PT. Chevron Pacific Indonesia yang terletak di Sumatera, STS dapat berfungsi otomatis untuk merubah sumber daya awal ke sumber daya cadangan dalam waktu yang sangat cepat sehingga dapat menjamin daya tidak akan hilang untuk alat-alat mereka.

Namun, sampai saat ini pemasangan STS mengalami kegagalan. yang disebabkan ketidakcocokan karakteristik kerja STS dengan karakteristik lokasi pemasangan pada PT. Chevron Pacific Indonesia.

I.2 TUJUAN PENULISAN

Pembahasan dalam skripsi ini bertujuan untuk mengevaluasi, menganalisis dan memberi solusi kegagalan proses perpindahan pasokan listrik pada sistem distribusi 13,8 kV di PT. Chevron Pacific Indonesia di area Kelok dan Tilan Sumatera.

I.3 BATASAN MASALAH

Penulis membatasi masalah hanya pada kemungkinan dalam memberikan rekomendasi solusi kegagalan proses perpindahan pasokan listrik pada sistem distribusi 13,8 kV di PT. Chevron Pacific Indonesia di area Kelok dan Tilan Sumatera.

I.4 METODOLOGI PENULISAN

Metodologi yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah melakukan studi kasus pada kegagalan proses perpindahan pasokan listrik pada sistem distribusi 13,8 kV di PT. Chevron Pacific Indonesia di area Kelok dan Tilan Sumatera dengan cara :

- Mengamati dan mengambil data dan fakta lapangan setelah terjadinya kegagalan.
- Menerapkan teknik rangkaian listrik untuk menunjang analisis.
- Menggunakan software ETAP sebagai dasar rekomendasi.

I.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk mempermudah pembahasan, penulisan skripsi ini dibuat dalam 5 bab. Pada Bab 1 berisi pendahuluan, berisi latar belakang, tujuan, batasan masalah, metodologi penulisan dan sistematika penulisan. Bab 2 membahas tentang dasar-dasar teori yang digunakan oleh sistem PT Chevron, yaitu Jenis-jenis gangguan, *capacitor bank* dan *voltage regulator*. Karena Analisis menggunakan software ETAP, maka terdapat dasar teori aliran beban dan ETAP 4.0.0. *Thyristor*, *Recloser* dan *Static Transfer Switch* merupakan beberapa perangkat yang digunakan sebagai pemindah aliran listrik.

Bab 3 Membahas mengenai Unit *Static Transfer Switch* (STS) serta cara kerja dan sistem operasinya di PT Chevron. Selanjutnya pada BAB 4 memberikan penjelasan mengenai analisis kegagalan proses pemindahan pasokan listrik pada suatu sistem distribusi 13.8 kV di PT. Chevron berisi tentang analisa kejadian perpindahan pasokan listrik dan analisa ETAP. Dan terakhir Bab 5 Merupakan kesimpulan dari seluruh uraian dalam skripsi ini serta tidak lupa saran dari penulis.

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.

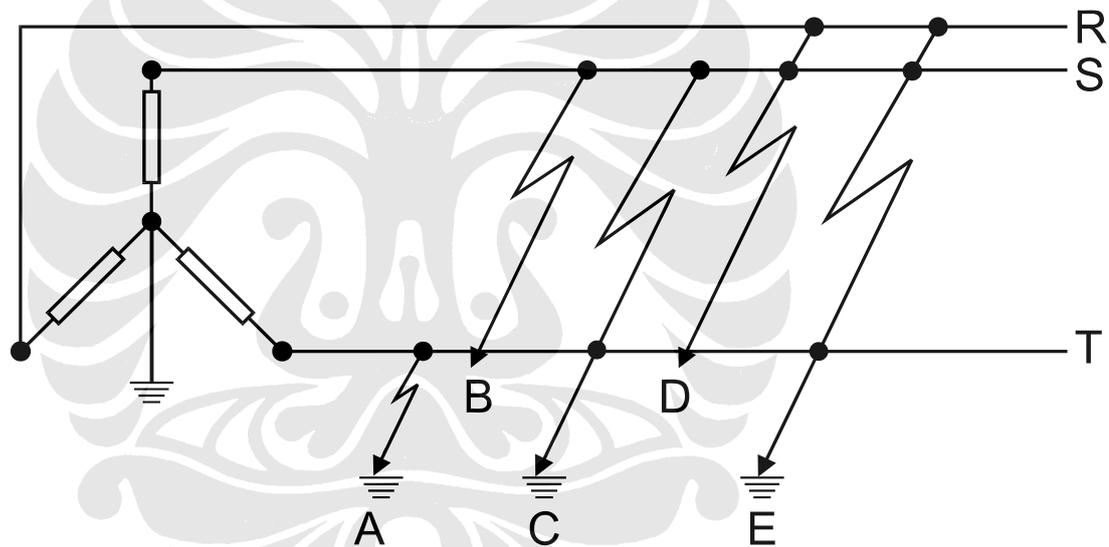
c. Kerusakan Peralatan

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

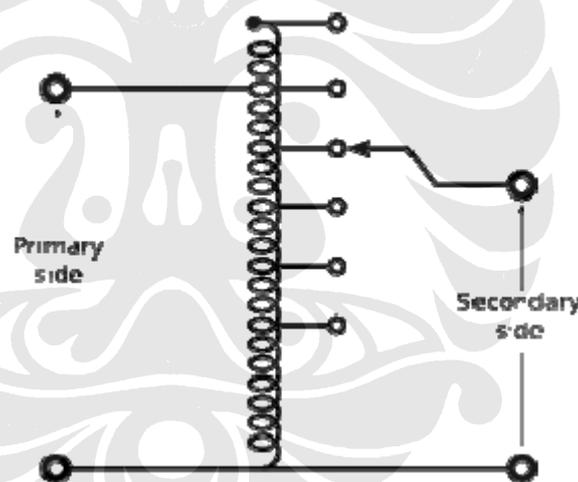
- A. Fasa-to-Earth
- B. Fasa-to-Fasa
- C. Fasa-to-Fasa-to-Earth
- D. Three Fasa
- E. Three Fasa-To-Earth

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.



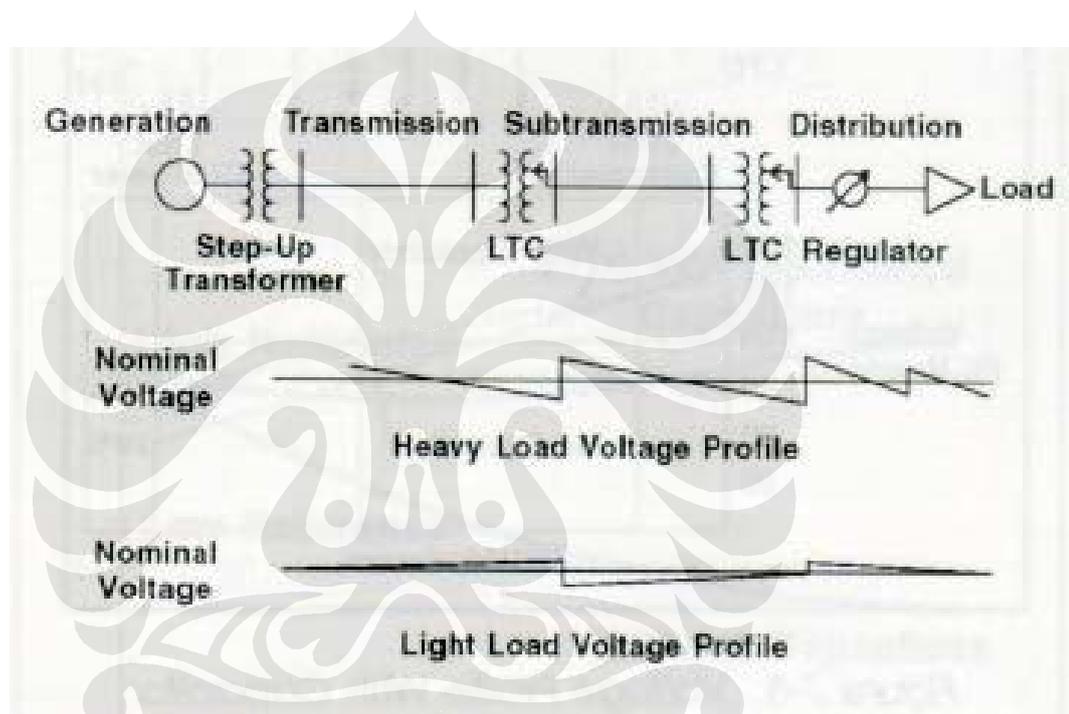
Gambar 2.2 Autotransformator

Hal-hal yang perlu diketahui untuk pengaturan VR adalah:

- Voltage pengaturan*: pada level tegangan berapa *output* VR diharapkan.
- Bandwith (dV)*: untuk menentukan batas atas dan batas bawah tegangan yang akan diatur
- 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.

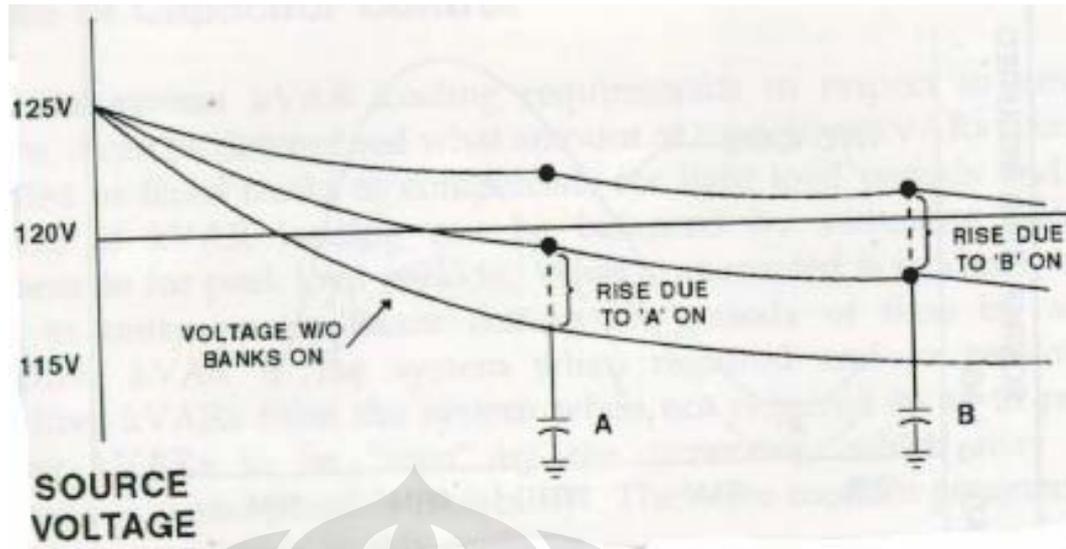
Tujuan pemasangan *capacitor bank*:

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 sistem dengan penambahan *capacitor bank*

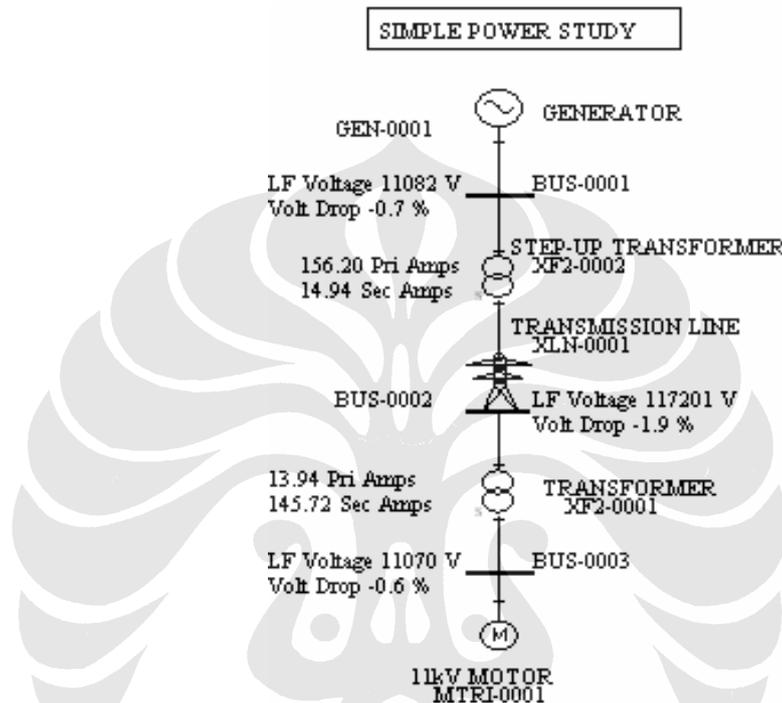
Pemasangan *capacitor bank* di Chevron pada umumnya menggunakan rangkaian *Wye ungrounded*, karena jika *capacitor bank* tersebut di-tanah-kan maka akan menimbulkan referensi tanah baru yang bisa mengakibatkan kerusakan pada *capacitor bank* itu sendiri, *gronding resistor* dan kesalahan koordinasi proteksi.

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.

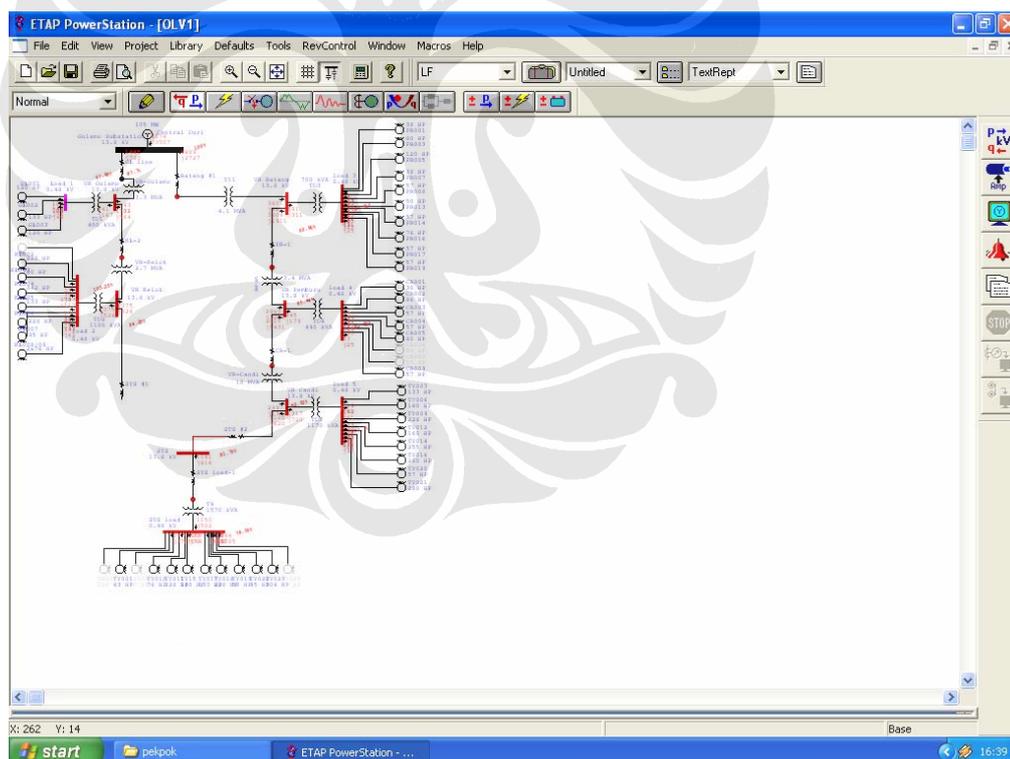
2. Total Integration of Data

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 interkoneksiya. 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.

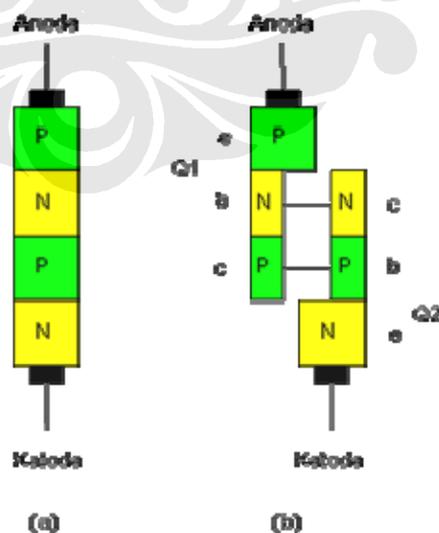
Tiristor banyak digunakan jika melibatkan tegangan & arus tinggi, dan sering digunakan untuk mengontrol *alternating currents*, dimana perubahan polaritas arus menyebabkan divais terputus/mati secara otomatis, dikenal juga dengan istilah *Zero Cross operation*. Divais ini dapat bekerja secara sinkron, 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.

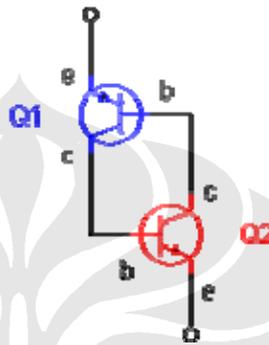
Penerapan aplikasi tiristor secara masal, yang diasosiasikan dengan *triggering diac*, pada produk-produk konsumen berhubungan dengan penstabilan *power suplai* pada bagian penerima televisi berwarna tahun 1970-an. Suplai tegangan tinggi DC yang stabil untuk *receiver* didapatkan dengan mengatur naik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

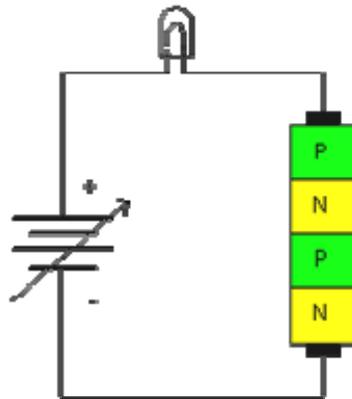


Gambar 2.8 visualisasi dengan transistor

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.

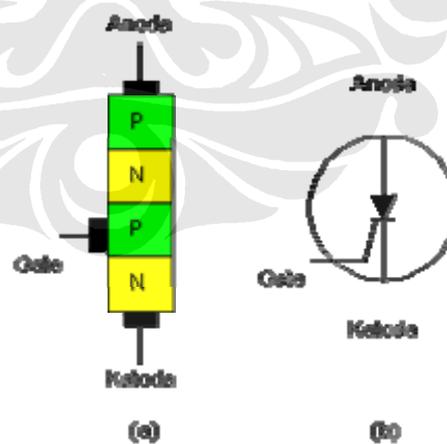
Jika misalnya ada arus sebesar I_b yang mengalir pada base transistor Q2, maka akan ada arus I_c yang mengalir pada kolektor Q2. Arus kolektor ini merupakan arus base I_b pada transistor Q1, sehingga akan muncul penguatan pada arus kolektor transistor Q1. Arus kolektor transistor Q1 tidak lain adalah 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

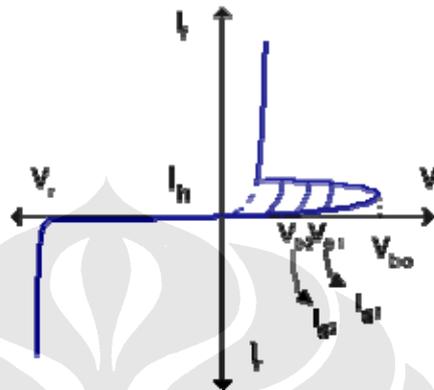
Bagaimana kalau pada tiristor ini kita beri beban lampu dc dan diberi suplai tegangan dari nol sampai tegangan tertentu seperti pada gambar 2.9. Apa yang terjadi pada lampu ketika tegangan dinaikkan dari nol. Tentu saja lampu akan tetap padam karena lapisan N-P yang ada ditengah akan mendapatkan *reverse-bias* (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.



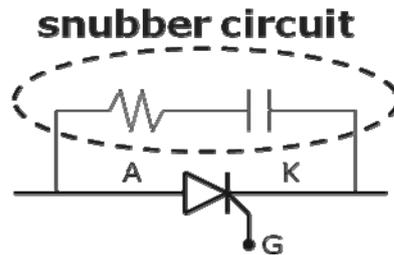
Gambar 2.11 Karakteristik kurva I-V SCR

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



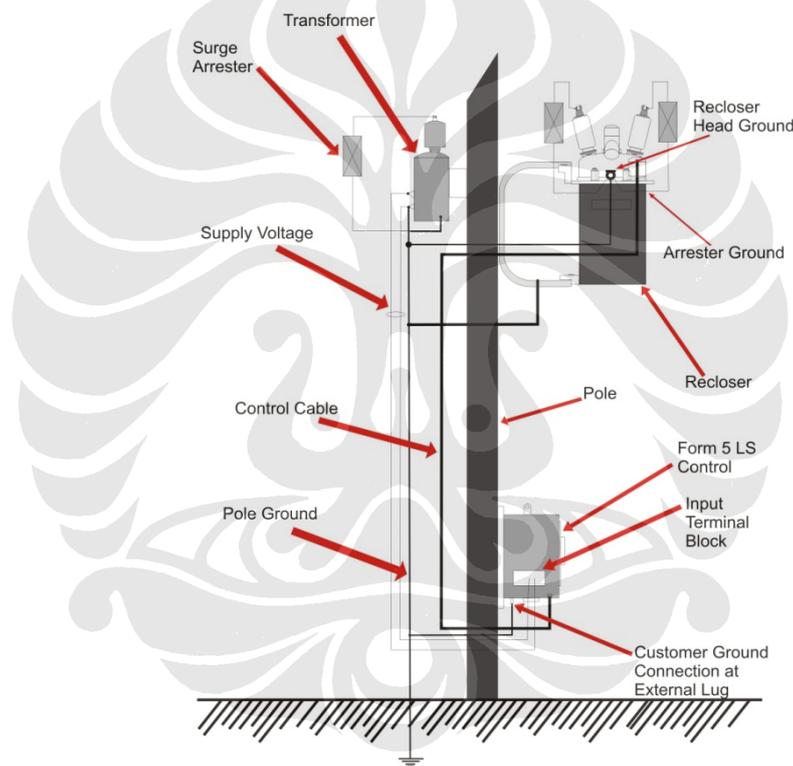
Gambar 2.13 *Recloser*

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 phasanya akan terbuka. Arus

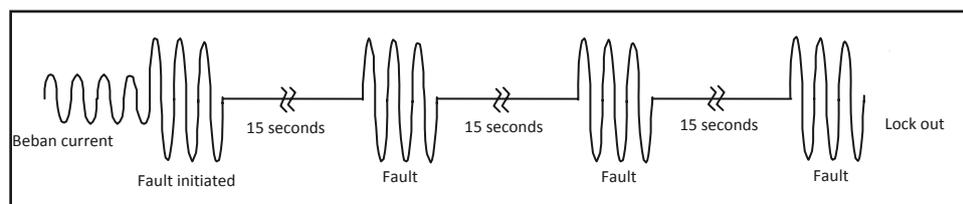
lebih yang terjadi akibat gangguan akan masuk ke *vaccum interrupter* dan busur api yang terjadi akan diredam pada *vaccum interrupter* tersebut sehingga tidak menimbulkan kerusakan akibat bunga api. Minyak recloser berguna untuk mendinginkan atau menstabilkan suhu didalam recloser.

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:

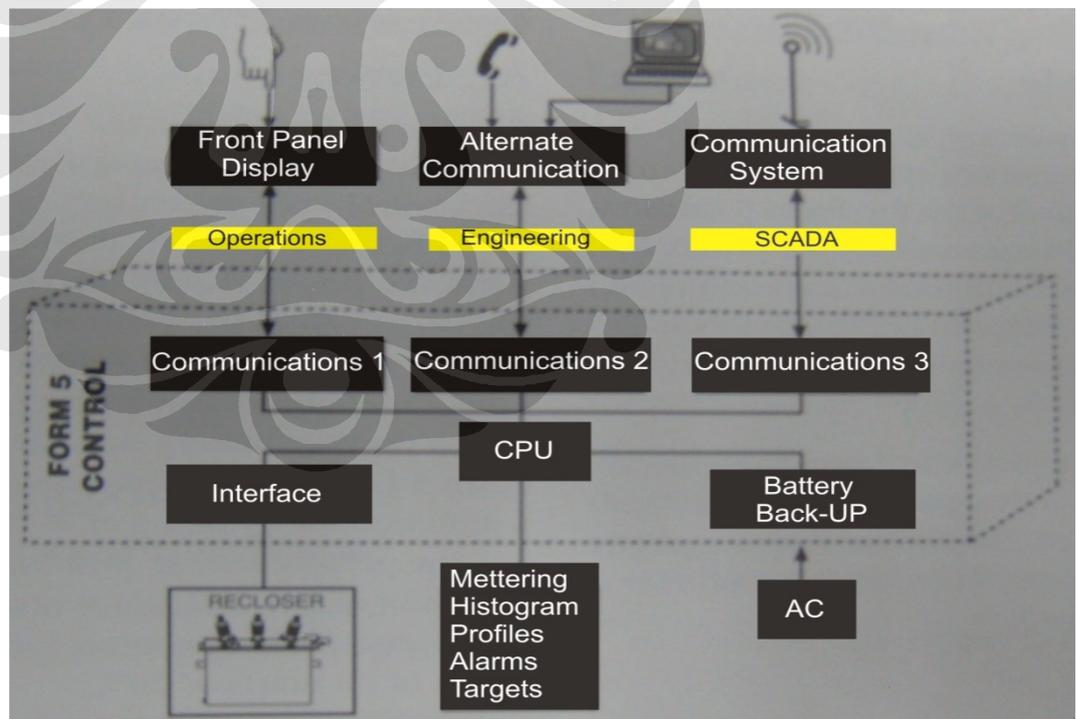
1. Unit Power Recloser, yang didalamnya terdapat:
 - a. *Switch* dengan *interrupter* dan mekanismenya serta minyak sebagai isolasi. Ada 2 jenis *interrupter* yang biasanya digunakan, yaitu vacuum dan oil.
 - b. *Closing* dan *Tripping Solenoid* untuk menggerakkan *switch* serta transformator arus (CT) 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

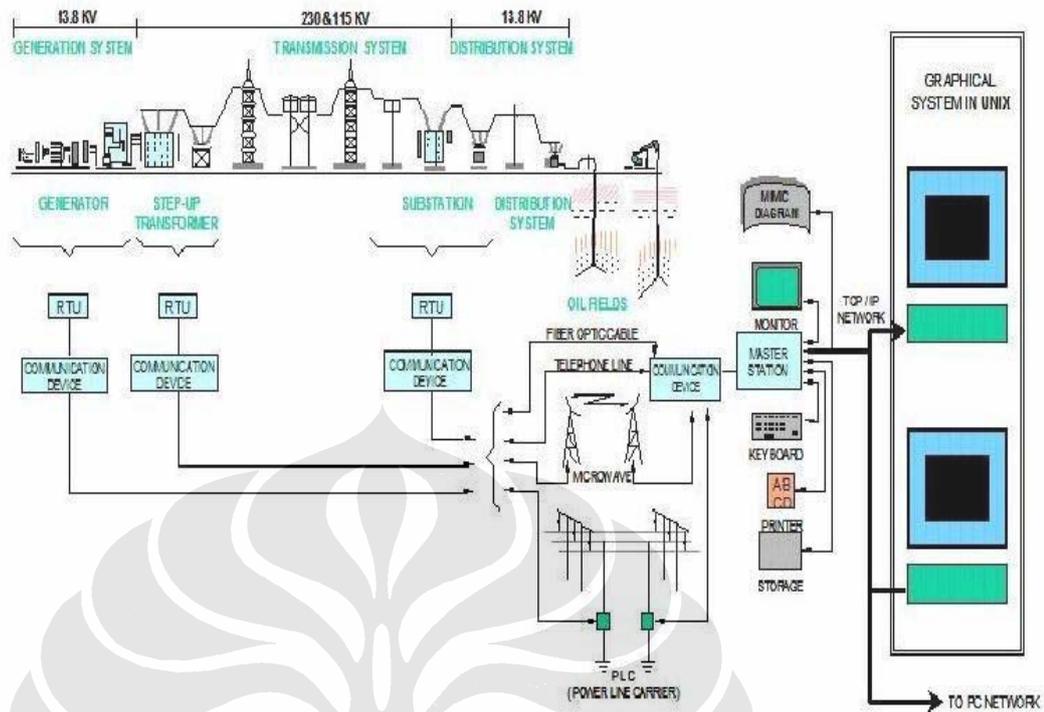
Sistem Scada menghubungkan dua environment :

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,

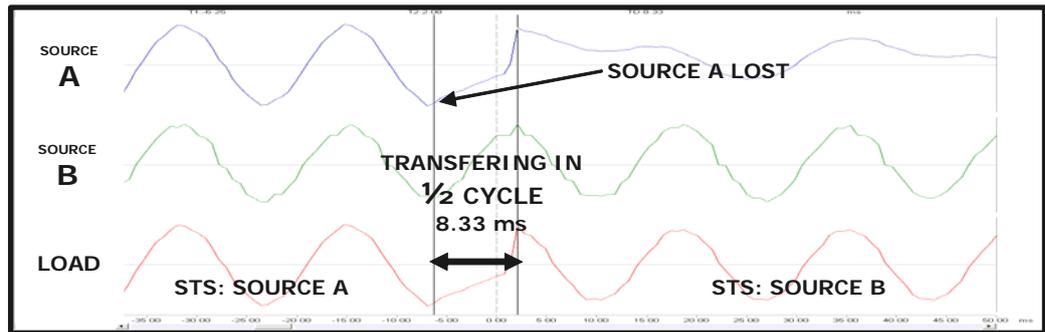
1. 5 lemari / *cells*:
 - 3 - *single-phase switching cells* (no.1,2,3)
 - 1 - *transformer cell* (no.4)
 - 1 - *kontrol cell* (no.5)
2. *Switchgear* untuk hubung singkat dan isolasi (S&C 5-way *Vista Switch*)



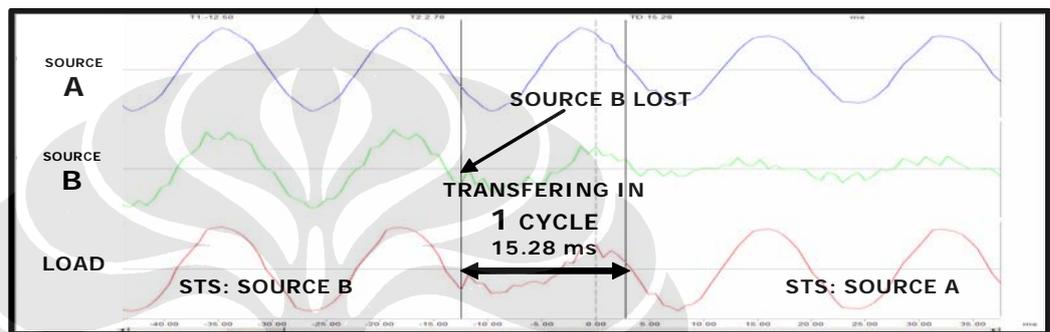
Gambar 2.18 Komponen STS

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:



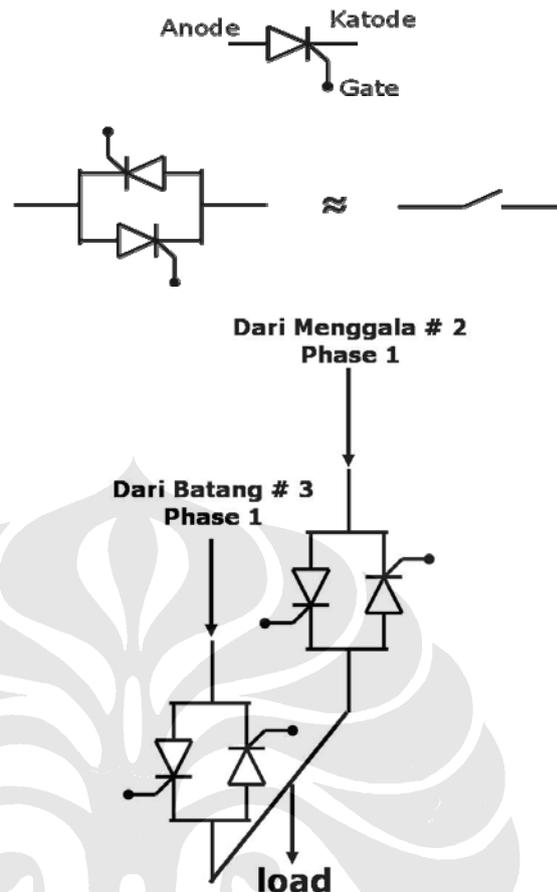
Gambar 2.19 (a) Kecepatan perpindahan beban ketika tiga fasa hilang



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

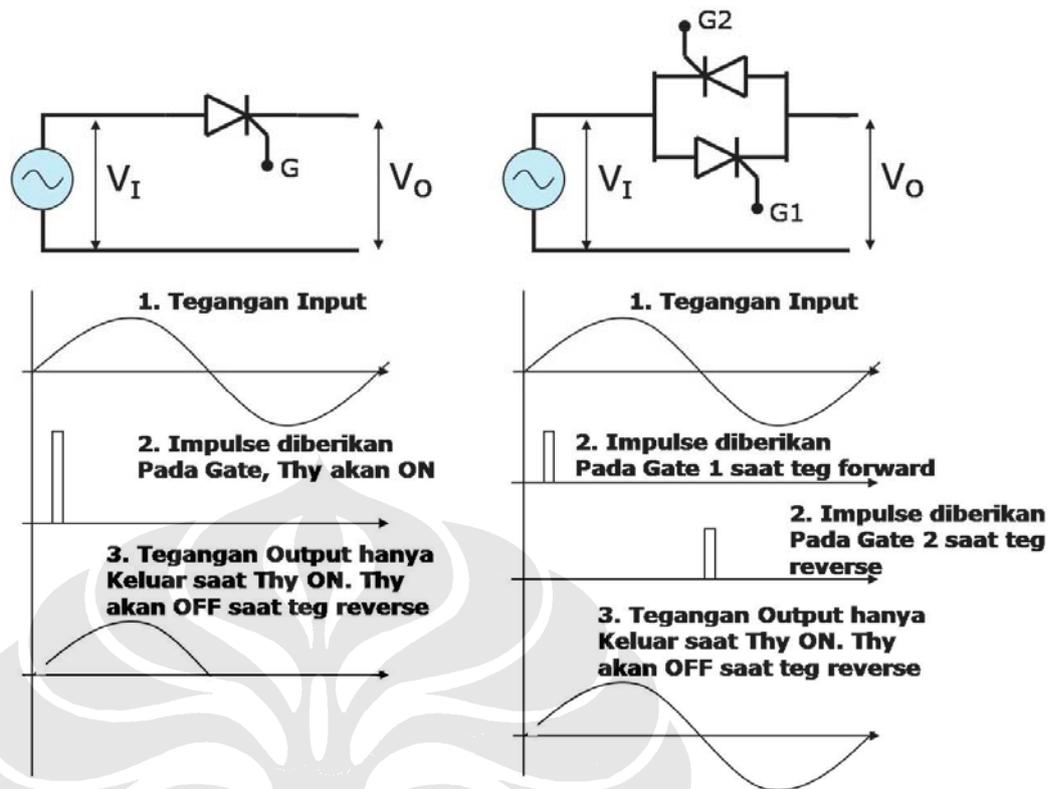
Pada kasus hilangnya 1 fasa, transfer yang terjadi lebih lama karena yang bekerja pada STS adalah backup pengaturannya. Ketika satu fasa hilang, jatuh tegangan yang terjadi tidak sebesar tiga fasa hilang. Hal ini karena ketika beban berpindah, sumber akan mendapatkan beban yang lebih banyak dari yang 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.

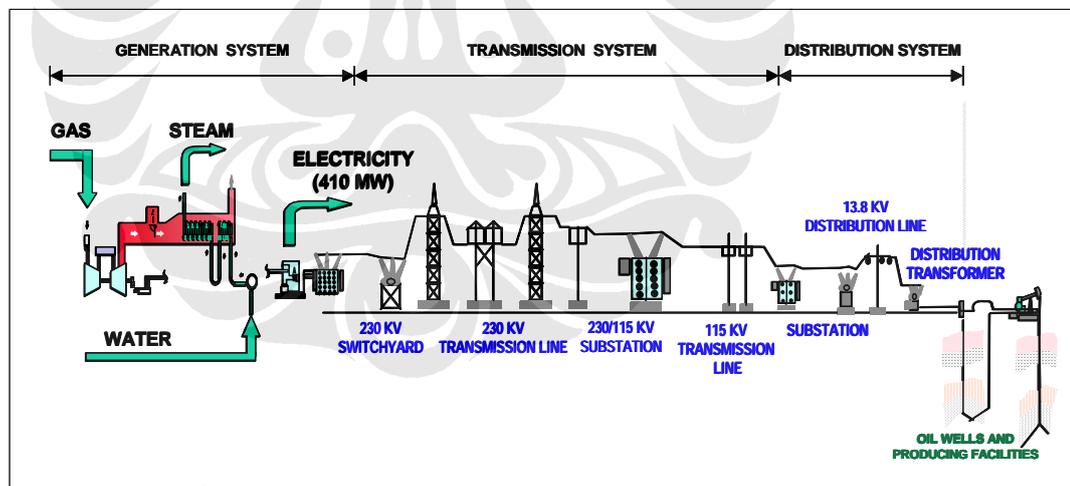
BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT. CHEVRON

3.1 SISTEM LISTRIK PT.CPI

PT. Chevron Pacific Indonesia (PT.CPI) memiliki sumber listrik sendiri untuk memenuhi kebutuhan energi mereka. Power Generation and Transmission (PG&T) bertanggung jawab terhadap pembangkitan tenaga listrik yang dilakukan menggunakan generator turbin yang menggunakan uap air. Setelah listrik dihasilkan oleh generator turbin gas, kemudian listrik ini ditransmisikan ke beban. Dalam penyaluran listrik ini, perlu dilakukan perubahan tegangan agar sistem berjalan dengan efisien. Sistem yang baik ditandai dengan rugi-rugi yang kecil, biaya pembuatan yang tidak terlalu mahal, dan tingkat keamanan dan kenyamanan yang tinggi. Sebelum sampai ke beban, sistem transmisi melewati *gardu* untuk perubahan tegangan dan sistem distribusi untuk penyaluran daya ke beban.

Berikut adalah keterangan lebih lanjut mengenai sistem-sistem tersebut.



Gambar 3.1. Sistem listrik di PT. CPI

Kebutuhan listrik PT. CPI dipasok dari pusat pembangkit listrik yang berada di *Minas Power Plant*, *Central Duri Power Plant*, *Duri Power Plant*, dan *North Duri Power Plant*. Listrik dibangkitkan dari generator turbin gas yang terdapat di masing-masing *power plant* tersebut. Generator turbin gas adalah

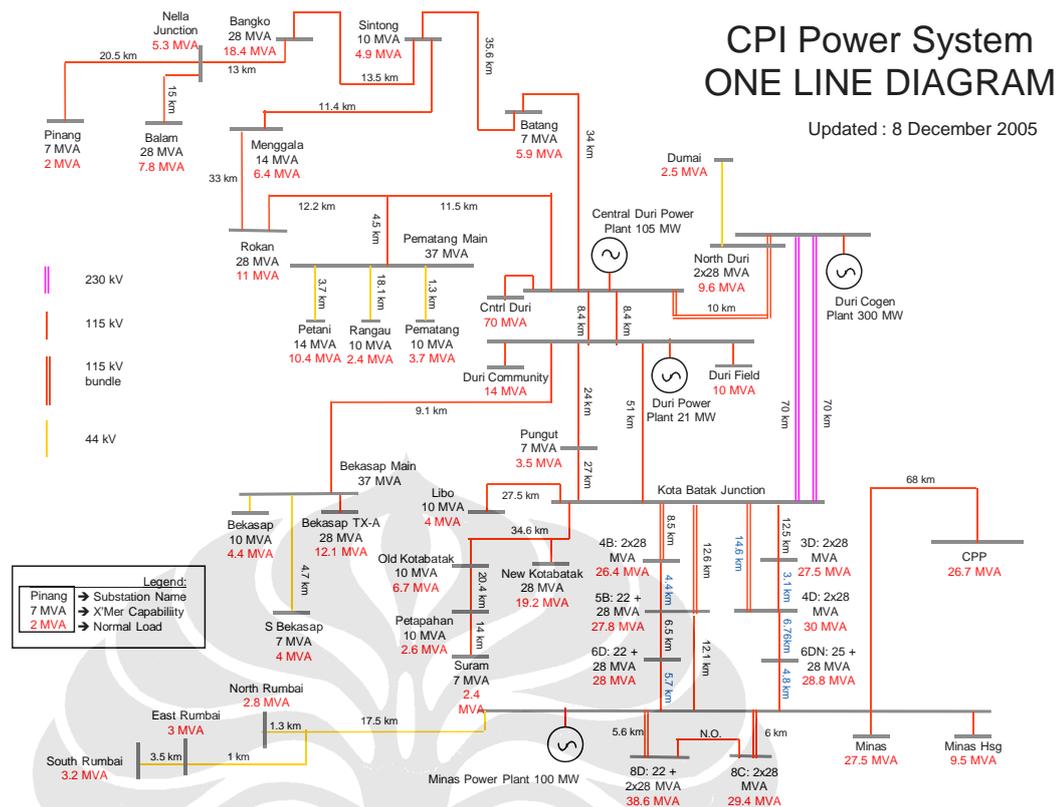
peralatan mekanikal yang terdiri dari turbin gas sebagai pemutar pada satu poros dan generator sebagai poros lain yang diputar.

Central Duri Power Plant dan *North Duri Power Plant* disamping menghasilkan energi listrik juga menghasilkan *steam*. *Steam* yang dihasilkan ini dialirkan ke ladang minyak Duri untuk diinjeksikan. Sistem pembangkitan terdiri dari dua komponen utama, yaitu turbin dan generator.

Di sekitar *generator* pembangkit biasanya terdapat *switchyard* dimana di dalamnya terdapat *switchgear* (ruang kontrol) dan *substation* (gardu induk). Di ruang kontrol (*switchgear*) ini kita bisa melihat tegangan, arus, faktor daya dan komponen listrik lainnya pada trafo, saluran listrik, dll dan kita bisa memonitor kualitas listrik setiap saat.

Tegangan yang keluar dari pembangkit sebesar 13.8 kV akan dinaikkan oleh trafo daya menjadi 230 kV. Tegangan 230 kV ini ada yang ditransmisikan ke *gardu* yang lain yang jaraknya cukup jauh dan ada yang diturunkan ke 115 kV oleh trafo 230/115 kV di dalam gardu di dekat pembangkit. Kemudian tegangan 115 kV akan diturunkan lagi menjadi 13.8 kV untuk disuplai ke *saluran*.

Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa elemen penting, yaitu sistem pembangkit, sistem transmisi, sistem sub-transmisi, dan sistem distribusi. PT Chevron Pacific Indonesia (PT. CPI) menggunakan sistem pembangkit sendiri dengan jaringan tenaga listrik 60 Hz sesuai dengan sistem Amerika Serikat, yang terinterkoneksi di seluruh wilayah operasi yang meliputi Rumbai, Minas, Duri, dan Dumai.



Gambar 3.2 Diagram Satu Garis Sederhana sistem transmisi kelistrikan PT. CPI 115 kV

Metode pembangkitan tenaga listrik yang digunakan adalah generator turbin gas. Generator turbin gas digunakan karena tersedianya gas alam sebagai bahan bakar dalam jumlah melimpah sebagai produk sampingan dari lapangan minyak Chevron.

Perencanaan sistem tenaga listrik dimulai dari *study beban forecasting* (perkiraan beban), berdasarkan hasil perhitungan beberapa beban yang harus disediakan barulah dipikirkan sistem pembangkitan yang digunakan. Setelah perancangan sistem pembangkitan maka dilakukan persiapan untuk menyalurkan energi listrik ke beban. Maka diperlukan perancangan sistem transmisi dan distribusi.

Untuk perancangan ketiga sistem tenaga listrik ini, dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer, dimana dalam simulasi ini dapat digambarkan bagaimana seandainya beban yang harus disediakan bertambah atau bagaimana apabila salah satu pembangkit tidak beroperasi, namun sistem harus tetap stabil. Salah satu software yang digunakan adalah simulasi sistem tenaga listrik ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*)

Hal-hal yang mendorong PT. CPI menggunakan sistem pembangkit turbin gas adalah tersedianya gas alam dalam jumlah yang memadai yang didapatkan dari hasil sampingan ladang minyak Chevron. Selain itu juga didorong oleh adanya keunggulan lainnya dari turbin gas yang dapat segera dioperasikan dengan waktu awal kurang dari 15 menit, dibandingkan dengan turbin uap yang membutuhkan waktu berjam-jam karena harus memasak air dalam boiler terlebih dahulu.

PT. CPI mempunyai 4 buah pusat pembangkit yang terdiri dari 26 unit generator turbin gas dengan kapasitas terpasang adalah 664 MW. Pusat pembangkit yang berada di PT. CPI adalah sebagai berikut:

1. Pusat Pembangkit Minas (224 MW)

Terdiri dari 11 turbin gas, dengan kapasitas masing-masing:

- a. GT 1-5 @ 13 MW
- b. GT 6-8 @ 20 MW
- c. GT 9 -11 @ 33 MW

2. Pusat Pembangkit *Central* Duri (100 MW)

Terdiri dari 5 turbin gas dengan kapasitas masing-masing 20 MW.

3. Pusat Pembangkit Duri (20 MW)

Terdiri dari 7 turbin gas dengan kapasitas masing-masing:

- a. GT 1-2 Junk
- b. GT 3-6 Pemda
- c. GT 7 20 MW

Saat ini pusat pembangkit Duri tidak dioperasikan lagi karena pembangkit yang baru di *North* Duri sudah mencukupi kekurangan yang ada.

4. Pusat pembangkit *North* Duri (300 MW)

Terdiri dari 3 turbin gas dengan kapasitas @ 100 MW

Sistem transmisi merupakan sistem penyaluran energi listrik dari stasiun pembangkit ke jalur distribusi. Pada operasinya, terdapat 3 jenis tegangan transmisi yakni 230 kV, 115 kV, dan 44 kV. Hal ini dapat dibedakan dari *tower*/menara saluran transmisinya.



Gambar 3.3. Sistem transmisi di Duri *Field*

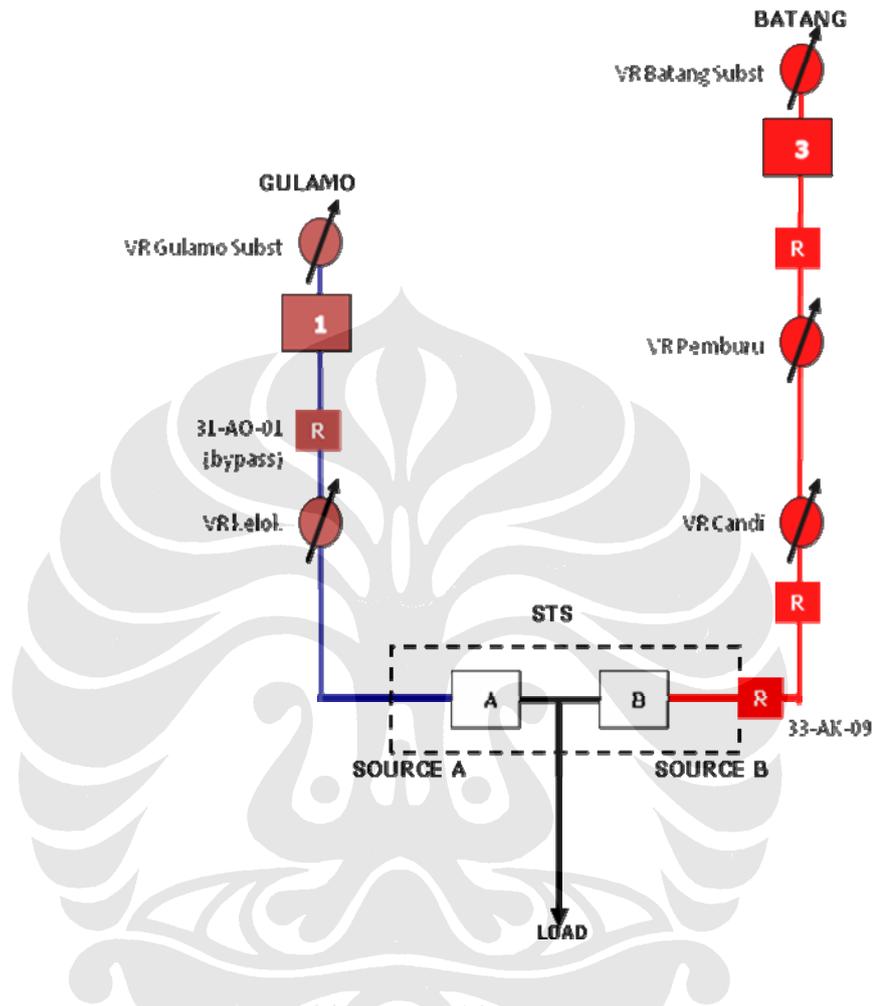
Untuk transmisi digunakan tegangan yang besar karena untuk daya/kapasitas yang sama, tegangan yang besar menyebabkan arus yang mengalir menjadi kecil. Karena arus yang mengalir kecil, maka luas/jari-jari penampang konduktor yang diperlukan tidak terlalu besar. Hubungan luas konduktor dengan besar arus yang mengalir dijelaskan dengan formula Daya (VA) = $I^2 \cdot R \cos \phi$, dimana arus akan berkontribusi terhadap *losses* berupa panas pada konduktor. Dari formula tersebut, dapat disimpulkan jika arus listrik *magnitudenya* besar maka kehilangan panas akan besar pula, oleh karena itu dibutuhkan kabel berdiameter besar untuk menahan panas tersebut.

3.2 APLIKASI STS DI PT.CPI

Static Transfer Switch adalah sebuah alat elektronik yang dapat memindahkan secara cepat sumber tenaga listrik dari satu sumber ke sumber lainnya tanpa harus mematikan beban. Kecepatan waktu perpindahan dapat diartikan, jika satu sumber mati, maka STS mengalihkan sumber ke sumber cadangan dengan sangat cepat sehingga beban tidak dapat merasakan pengalihan tersebut. STS dapat melakukan transfer antara dua sumber dengan kecepatan kerja empat sampai 20 milidetik sehingga dapat digunakan untuk mengamankan beban dalam jumlah besar dan beberapa fasilitas lainnya dari gangguan singkat. Kedua buah sumber harus memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda, sehingga beban akan benar-benar tidak terganggu.

STS merupakan solusi dalam sistem tenaga listrikan yang membutuhkan sebuah reliabilitas tinggi. STS juga diyakini dapat meningkatkan produksi bagi

para penggunanya. PT. Chevron merupakan salah satu pelopor penggunaan STS di Indonesia, karena banyaknya kasus kehilangan tenaga yang terjadi di daerah Kelok-Tilan Riau.



Gambar 3.4 One line diagram sederhana dari STS

STS diletakkan jauh dari sumber tenaga pada PT. Chevron. Berada pada jarak kurang lebih 30 km dari batang gardu dan 20 km dari gulamo *gardu*. Profil tegangan pada area STS di Kelok-Tilan ini mengalami drop yang sangat besar. Karena mayoritas beban pada PT. Chevron adalah motor. Sehingga digunakan banyak voltage regulator pada salurannya untuk menaikkan tegangan pada kondisi normal, yaitu 13,8 kV. *Capasitor bank* tidak digunakan lagi sebagai alat utama untuk menjaga tegangan, karena capasitor memiliki karakteristik yang buruk jika diletakkan pada saluran yang sangat panjang.

Sebelum dipasang STS, daerah Kelok-Tilan merupakan daerah yang sering terjadi jatuh tegangan yang mengakibatkan pengaturan pada motor-motor pompa

disana mematikan motor karena tegangan yang lebih rendah daripada pengaturan kontrolnya. Sumur pada daerah Kelok-Tilan merupakan primadona PT. Chevron, karena menghasilkan minyak dalam jumlah yang besar dengan kualitas yang sangat baik. Sebelum dipasang STS, area ini dialiri sumber dari gulamo saluran 1.

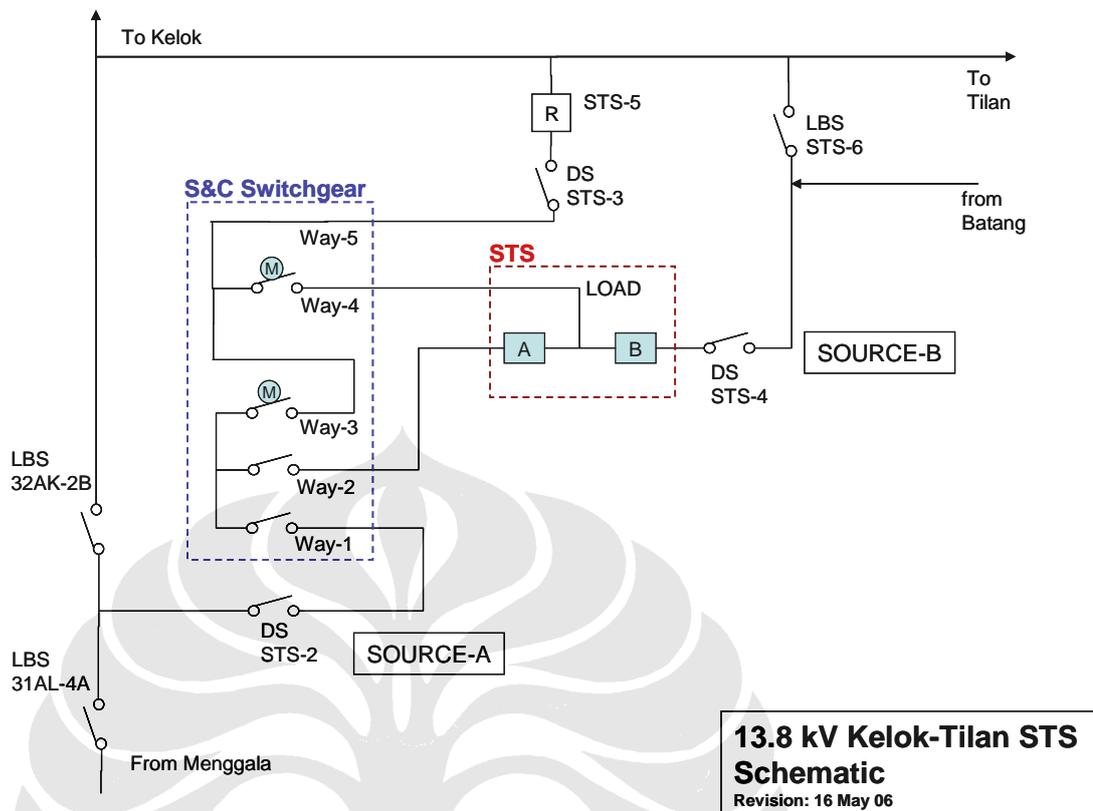
Beban yang dipasang pada STS sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data beban pada area Kelok-Tilan

ID Pompa	Jenis_Pompa	Merk_Pompa	Motor_HP	Kondisi
TE001	538P62	centrilift	228	ON
TY001	538P31	centrilift	63	ON
TY008	FC1200	centrilift	57	OFF
TY010	400P16	centrilift	76	ON
TY011	538P21	centrilift	228	ON
TY015	538P37	centrilift	180	ON
TY017	GC4100	centrilift	133	ON
TY018	538P31	centrilift	228	ON
TY019	400P6	centrilift	50	OFF
TY022	400P10	centrilift	95	ON
TY023	GC6100	centrilift	304	ON
TY025	400P4	centrilift	57	OFF

Mayoritas beban yang akan terhubung pada gardu induk Paketigul berupa motor listrik untuk memompa dan menyalurkan minyak dan air yang membutuhkan daya dan tegangan yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan pompa. Selain itu, terdapat juga sebagian kecil beban berupa lampu untuk penerangan jalan yang tidak dimasukkan dalam data (diabaikan).

3.3 *STANDARD OPERATION PROCEDURE (SOP) STS DI PT. CHEVRON*



Gambar 3.5 Skema pemasangan STS di Kelok-Tilan

Kondisi normal di *power line system*:

1. *Source* yang dipilih dari Menggala Saluran #2 (*Source A*)
2. LBS 31-AL-4A dalam kondisi *Close*
3. LBS 32-AK-2B dalam kondisi *Open*
4. LBS STS #6 dalam kondisi *Open*
5. *Recloser* STS #5 dalam kondisi *Close*

Kondisi normal STS beroperasi:

1. Way 1, Way 2 dan Way 4 dalam kondisi *Close*
2. Way 3 (*bypass switch*) dalam kondisi *Open*
3. DS STS-2, DS STS-3 dan DS STS-4 dalam kondisi *Close*
4. *Beban* yang terbaca di STS sekitar 100-112 Ampere

Jika terjadi gangguan atau *failure* maka:

1. Jika terjadi gangguan di salah satu *Saluran*, maka STS secara otomatis akan memindahkan *beban* ke *Saluran* yang sehat.
2. Jika terjadi *Failure* di STS, maka STS secara otomatis akan *bypass* (Way 3 *Close* dan Way 4 *Open*)
3. *Pengaturan* untuk transfer adalah jika tegangan sistem di bawah 9.5 KV, dan *pengaturan* untuk mentransfer kembali adalah di atas 13 KV.
4. Jika terjadi gangguan, misalnya Menggala *Saluran*#2 Trip, maka otomatis beban akan dialihkan ke Batang *Saluran*#3. Bila kemudian Menggala *Saluran*#2 kembali normal, maka jika STS membaca tegangan 13 KV, *beban* akan secara otomatis mentransfer kembali ke Menggala *Saluran*#2. Jika tegangan Menggala *Saluran*#2 masih di bawah 13 KV, *beban* akan tetap dipasok oleh Batang *Saluran*#3.
5. *Delay time* untuk mentransfer kembali adalah 25 detik.
6. Dalam proses Transfer-Retransfer ini, biasanya tetap ada *beban mati* di *Saluran* yang sehat. Dalam hal ini kita perlu berkomunikasi terus dengan SCADA PG&T.
7. *Pengaturan VR Kelok 116 Volt (13.9 KV)*, *pengaturan VR Candi 114 Volt (13.68 KV)*
8. *Pengaturan kelebihan beban STS 200A dan pengaturan kelebihan beban Recloser STS-5 250A*

Jika terjadi gangguan yang menyebabkan STS shutdown maka dilakukan:

1. Gangguan bisa disebabkan karena Menggala *Saluran* #2 dan Batang *Saluran* #3 trip dalam waktu yang bersamaan. Untuk kondisi ini, bila salah satu *saluran* kembali normal, maka STS akan hidup kembali/beroperasi secara otomatis.
2. Jika terjadi gangguan, dan ternyata STS tidak kembali beroperasi, maka langkah terbaik adalah menghubungi singkat STS.
3. Bila *Saluran* yang sehat dari Menggala *Saluran* #2, maka *bypass* dilakukan dengan *Close LBS 32-AK-2B* dan *Open Recloser STS-5*.

4. Bila *Saluran* yang sehat dari Batang *Saluran* #3, maka hubung singkat dilakukan dengan menutup LBS STS-6 dan Open Recloser STS-5.
5. Untuk mengetahui bahwa STS tidak kembali beroperasi secara normal, kita bisa mengetahui dari informasi SCADA. Jika STS di bawah Menggala #2, *beban* di Menggala *Saluran* #2 sekitar 280-290A dan *beban* Batang *Saluran* #3 sekitar 110-120A. Jika STS di bawah Batang *Saluran* #3, *beban* di Batang sekitar 240-250A dan *beban* di Menggala sekitar 140-150A.
6. *Beban* STS dalam kondisi normal, sekitar 100-112A.
7. Segera melaporkan kepada SCADA jika STS gagal kembali beroperasi normal dan hubung singkat dilakukan.
8. Mencatat *Alarm* dan *Failure* di STS, lampu-lampu apa saja yang menyala.

3.4 KRONOLOGIS UJI COBA STS

STS merupakan sebuah proyek besar di divisi PG&T. Proyek ini dimulai pada tahun 2005 dengan membeli satu unit STS pada PT.SatCon. Nantinya jika sukses akan menjadi proyek lanjutan untuk wilayah lain. Tujuannya adalah mengurangi kegagalan daya pada daerah yang jauh dari kantor operasional PG&T.

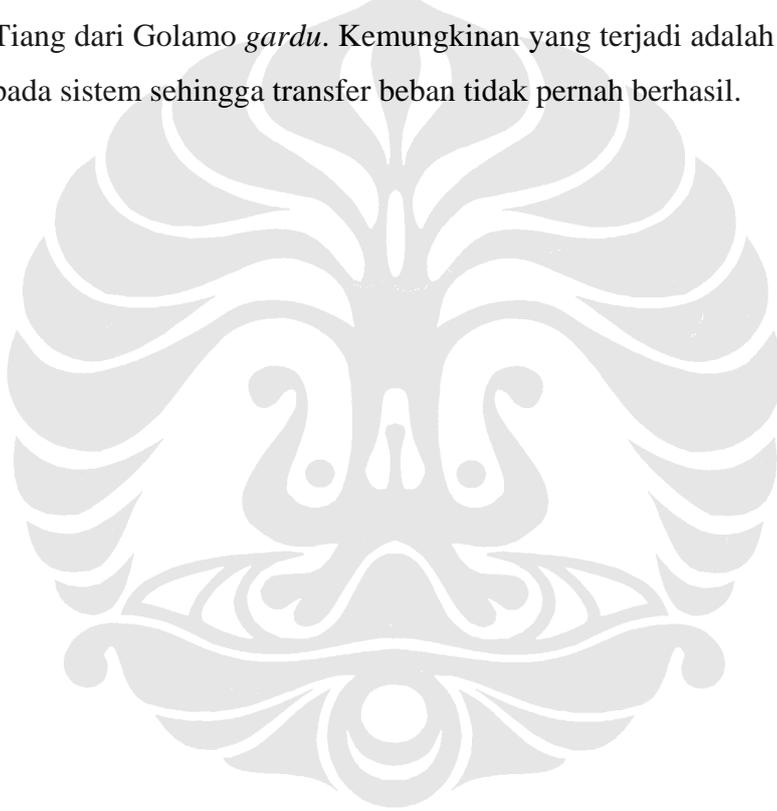
Uji coba dilakukan pada tanggal 27 oktober 2008 pada pukul 15.00 WIB. disaksikan oleh pihak PT. Chevron dan pihak PT. SatCon. Pada saat kejadian terjadi gangguan yang dilaporkan oleh SCADA PG&T, bahwa recloser STS-5 tidak dapat dioperasikan dari pusat. Kemudian beberapa orang pergi untuk melakukan perbaikan. Setelah 15 menit, pihak SatCon memutuskan untuk melakukan ujicoba dengan *recloser* STS-5 dihubung singkat.

Semua dalam kondisi siap. Awalnya dilakukan beberapa test untuk memastikan sumber STS dalam keadaan “sehat”. Selanjutnya semua berjalan baik, pada saat uji coba perpindahan beban dari sumber-A ke sumber-B terjadi beberapa hal:

- Pada saat transfer terjadi:
 - Sumber-A naik 33% (11,8kV – 15,69kV)
 - Sumber-B turun 22% (13,15kV – 10,25kV)

- Kehilangan salah satu fasa diikuti dengan matinya beban
 - Tidak ada data yang terrekam, *disturbance recorder* gagal untuk merekam data.
 - Kontrol VR, tiristor, *snubber*, *varistor* rusak
 - Akan terjadi efek ferro resonance jika satu fasa open
 - *Fuse station service* TX putus

Setelah proses ini, dilakukan perbaikan dan mengembalikan seluruh sistem ke keadaan semula. Tidak menggunakan STS dan suplai daya untuk daerah Tilan-Tiang dari Golamo *gardu*. Kemungkinan yang terjadi adalah letak STS yang salah pada sistem sehingga transfer beban tidak pernah berhasil.



BAB 4

ANALISIS KEGAGALAN PROSES PEMINDAHAN PASOKAN LISTRIK

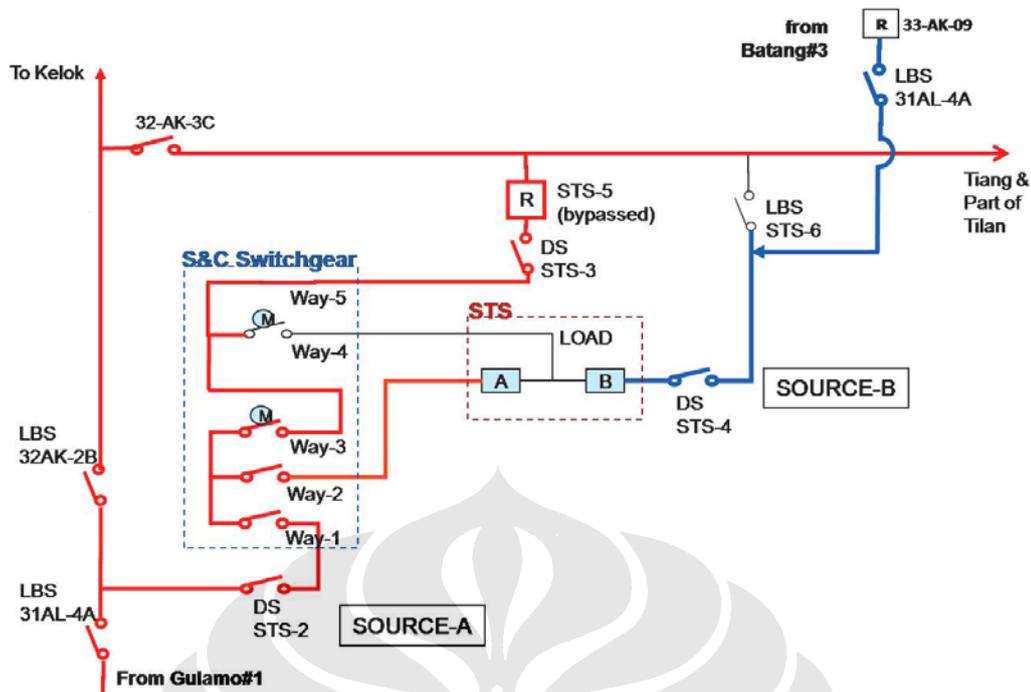
Static Transfer Switch merupakan suatu alat yang dimiliki oleh PT. Chevron untuk mengatasi masalah banyaknya kegagalan pasokan di area kelok dan tilan. Karena area ini berjarak kurang lebih 40 km dari PG&T pusat, maka area ini sering menimbulkan kerugian dalam jumlah besar setiap tahunnya. Maka pada tahun 2005, *General Manager* PG&T, Noor Bambang Siswoyo berinisiatif melakukan pembelian STS yang saat itu merupakan teknologi baru di bidang *power reliability* (reliabilitas daya).

Mengutip pernyataan GM PG&T Noor Bambang Siswoyo, “ Dengan STS, kami berharap dapat mencegah 20 hingga 30 kegagalan pasokan setiap tahunnya yang berarti dapat menaikkan produksi minyak sampai 30.000 barel setiap tahunnya”. Sementara *President of Chevron Energy Solution*, Jim Davis mengatakan “ Seiring dengan pertumbuhan permintaan untuk meningkatkan produksi pada daerah operasi minyak, maka alat ini merupakan inovasi yang dapat menjanjikan untuk mengatasi masalah pada daerah yang jauh yang terhubung pada jaringan listrik tetapi memiliki masalah pada *reliability*”.

Hal diatas mendasari proyek pembelian STS yang harganya sangat mahal, karena merupakan teknologi yang baru. Penulis sangat tertarik pada alat STS ini karena selain masih jarang dibahas, STS ini mengalami kegagalan uji coba pengoperasian. Padahal awalnya STS ini bertujuan untuk menjaga daerah-daerah yang jauh, dari masalah kegagalan pasokan.

4.1 ANALISIS SESUAI URUTAN KRONOLOGI UJI COBA STS

Pada tahap pertama, penulis akan menjelaskan beberapa kondisi yang terjadi ketika STS akan dihidupkan. Kondisi ini dapat digunakan sebagai analisa kegagalan sistem pada tahap paemasangan STS. Penulis melakukan pengambilan data bertepatan dengan uji coba STS yang dilakukan oleh pihak penyedia alat yaitu PT. SatCon. STS yang terletak di area Kelok-Tilan telah dibeli oleh PT. Chevron pada tahun 2005, dan telah di uji coba sebelum ini, namun masih



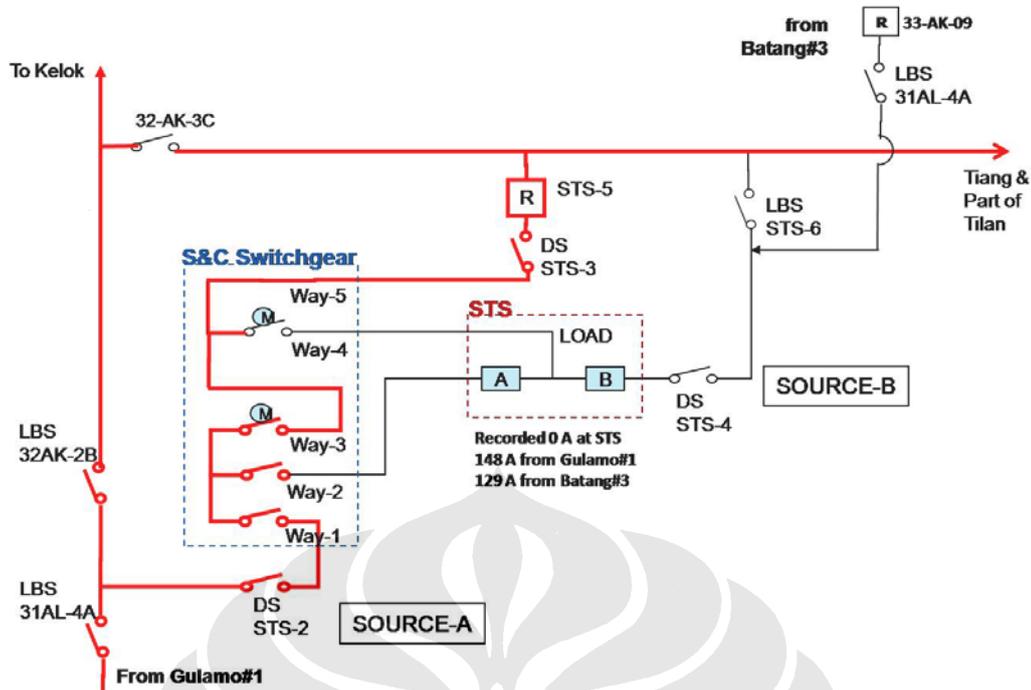
Gambar 4.2 uji coba sumber STS

Awalnya dilakukan pengujian terhadap sumber-A dan sumber-B serta mengecek kondisi *bypass recloser*. Tegangan (*phase to phase*) yang tercatat oleh control STS adalah:

- Sumber-A = 13 kV
- Sumber-B = 13,15 kV

kedua sumber telah di gunakan sebagai sumber bagi daerah Kelok-Tilan sebelumnya. Jika terjadi masalah yang pada Gulamo #1 maka secara manual LBS STS-6 di close sehingga sumber yang digunakan dari Batang #3. Karena Jarak yang cukup jauh dan memakan waktu, maka dipasanglah STS diarea ini. Pada kondisi normal, tegangan pada kedua sumber yang dibebani :

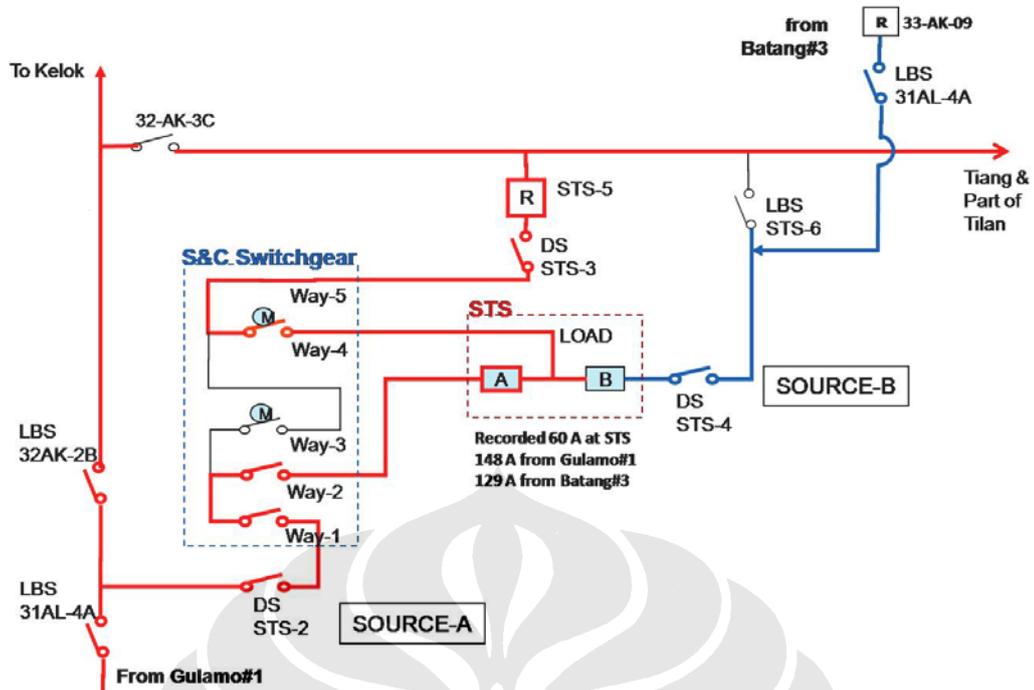
- Sumber-A (normal load) = 11,8 kV
- Sumber-B (normal load) = 11,3 kV



Gambar 4.3 Uji coba switchgear

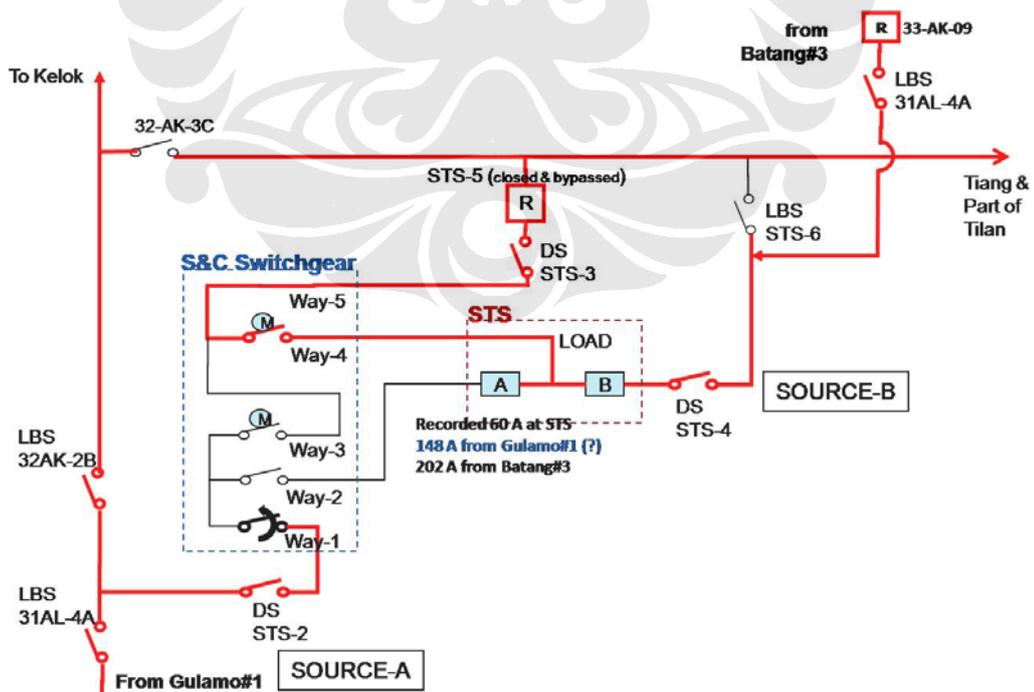
Pada saat ini, switchgear STS digunakan untuk mengalirkan daya ke beban STS. Hal ini dilakukan untuk mengecek apakah switchgear dalam kondisi baik atau tidak. Setelah memastikan switchgear dalam keadaan baik, maka STS siap untuk di hidupkan. Jika terjadi masalah di dalam STS, beban tidak akan mati, karena switchgear secara otomatis akan bekerja mem-bypass sumber-A langsung ke beban.

SCADA PG&T mencatat arus pada Gulamo #1 sebesar 148A sedangkan Batang #3 sebesar 129A. Sementara arus yang tercatat pada STS adalah 0 karena STS belum di hidupkan.



Gambar 4.4 Menghidupkan STS

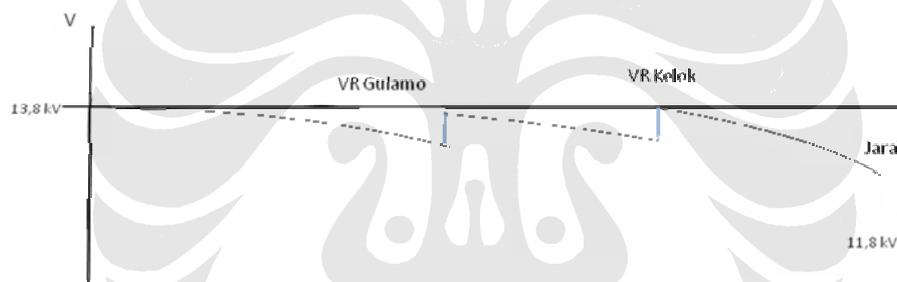
STS dihidupkan, maka secara otomatis way-2 close dan way-3 open. Tercatat beban sebesar 60A berada di bawah STS. Tegangan sumber-A bernilai 11,8 kV sedangkan tegangan sumber-B bernilai 13,5 kV.



Gambar 4.5 simulasi gangguan pada sumber utama

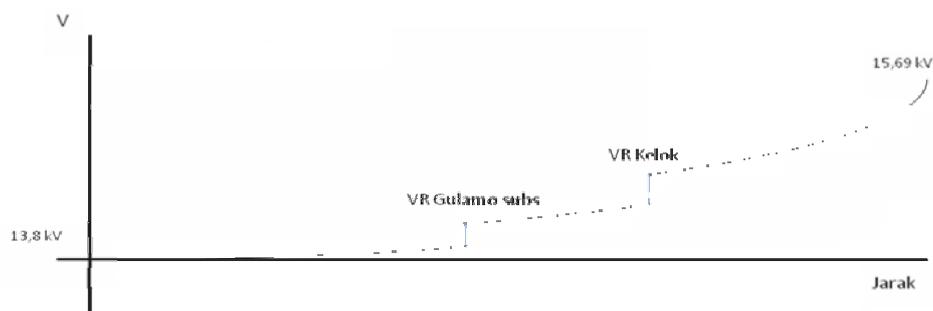
Ini merupakan simulasi pemindahan beban jika terjadi gangguan pada sumber utama. Sebelum simulasi ini dimulai, reclooser sudah dapat dihidupkan. Namun untuk kelancaran test maka bypass tetap close. Tercatat arus pada sumber-A masih tetap 148A, seharusnya nilai ini mengalami penurunan karena beban sudah lepas. Kemungkinan yang terjadi adalah kesalahan pada metering SCADA. Sementara pada sumber-B terjadi lonjakan arus menjadi 202A. Hal ini benar karena beban senilai 60A berpindah ke sumber-B. Jika daya yang disalurkan tetap, maka tegangan akan turun secara drastis sesuai peningkatan arus. Pada saat ini tegangan turun hingga 22%.

Tegangan source-A naik 40% sehingga terjadi overvoltage pada jaringan tersebut, beberapa beban mati karena overvoltage proteksi pada beban. Hal ini disebabkan oleh :



Gambar 4.6 Ilustrasi drop tegangan akibat beban

Ketika masih bebahan, tegangan pada ujung saluran mengalami penurunan karena loss yang diakibatkan beban. Tercatat tegangan normal 11.8 kV, keluaran dari VR Kelok adalah 13.8 kV.



Gambar 4.7 Ilustrasi Naiknya tegangan ketika beban putus

Pihak SatCon mematikan STS dan melakukan pengecekan menyeluruh kepada panel STS. kerusakan yang terjadi :

- Seluruh thyristor di cell-B rusak (hangus) dikedua sumbernya
- 2 buah thyristoh hangus di cell A dan C
- 1 buah fuse di transformator A putus – phase B

sementara pihak Chevron mengembalikan pasokan daya untuk beban di Tilan kembali melewati LBS 32-AK-3C dengan pasokan dari Gulamo #1.

4.2 ANALISIS TERJADINYA KEGAGALAN DENGAN SOFTWARE ETAP

Tabel 4.1 Tabel seluruh beban pada batang saluran #3

ID Pompa	Info Pompa	Merk Pompa	Motor (HP)	Kondisi
CA001	DN1400	Reda	30	ON
CA002	FC1200	centrilift	86	ON
CA003	TD750	centrilift	57	ON
CA004	400P12	centrilift	80	ON
CA005	538P21	centrilift	95	ON
CA006	DN1300	Reda	50	0
CA008	400P12	centrilift	50	OFF
CA009	FC1200	centrilift	57	ON
PR001	FC925	centrilift	38	ON
PR003	538P21	centrilift	80	ON
PR005	538P37	centrilift	120	ON
PR007	538P21	centrilift	38	ON
PR008	400P6	centrilift	57	ON
PR013	DN1300	Reda	50	ON
PR014	538P21	centrilift	57	ON
PR016	538P21	centrilift	76	ON
PR017	400P16	centrilift	57	ON
PR019	400P16	centrilift	57	ON
TY003	GC2900	centrilift	133	ON
TY006	GC4100	centrilift	160	ON
TY009	GC4100	centrilift	228	ON
TY012	GC2900	centrilift	160	ON
TY014	GC4100	centrilift	255	ON
TY016	538P62	centrilift	280	ON
TY020	400P6	centrilift	57	ON
TY021	538P62	centrilift	280	ON

Tabel 4.2 Tabel seluruh beban pada gulamo saluran #1

ID Pompa	Jenis Pompa	Merk Pompa	Motor (HP)	Kondisi
GL001	GC2200	centrilift	120	ON
GL002	400P12	centrilift	133	ON
GL003	GC2900	centrilift	120	ON
KL001	DN1300	Reda	80	0
KL002	GC4100	centrilift	228	ON
KL003	GN2000	Reda	80	ON
KL004	538P62	centrilift	342	ON
KL005	GC2200	centrilift	133	ON
KL006	GC2900	centrilift	228	ON
KL007	GC2200	centrilift	95	ON
KL008	FC1200	centrilift	76	ON
KL009	FC1200	centrilift	76	ON
RC001	538P37	centrilift	228	OFF

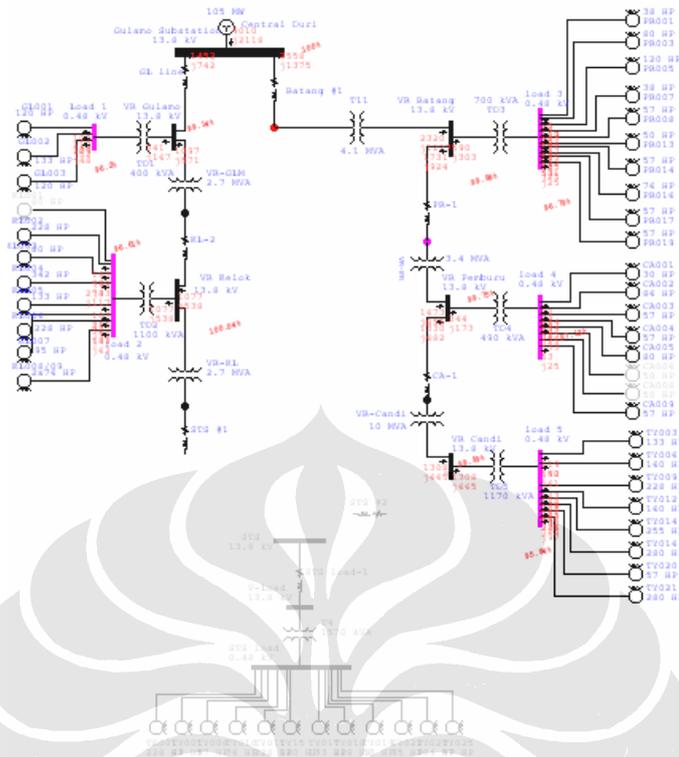
Tabel 4.3 Tabel beban pada STS yang di cover oleh gulamo saluran #1

ID Pompa	Jenis Pompa	Merk Pompa	Motor (HP)	Kondisi
TE001	538P62	centrilift	228	ON
TY001	538P31	centrilift	63	ON
TY008	FC1200	centrilift	57	0
TY010	400P16	centrilift	76	ON
TY011	538P21	centrilift	228	ON
TY015	538P37	centrilift	180	ON
TY017	GC4100	centrilift	133	ON
TY018	538P31	centrilift	228	ON
TY019	400P6	centrilift	50	OFF
TY022	400P10	centrilift	95	ON
TY023	GC6100	centrilift	304	ON
TY025	400P4	centrilift	57	OFF

Dari table data beban diatas, dan beberapa data pendukung sistem lainnya. Kita dapat membuat simulasi dengan software ETAP 4.0.0. Software ini memiliki kemampuan untuk analisis aliran beban, sehingga kita dapat mengetahui tegangan-tegangan pada suatu tempat.

Simulasi ini memberikan gambaran mengapa terjadi kegagalan pada saat transfer pasokan daya, dari sumber-A ke B.

4.2.1 Uji Coba sumber-A dan Sumber-B Sebagai Sumber Daya



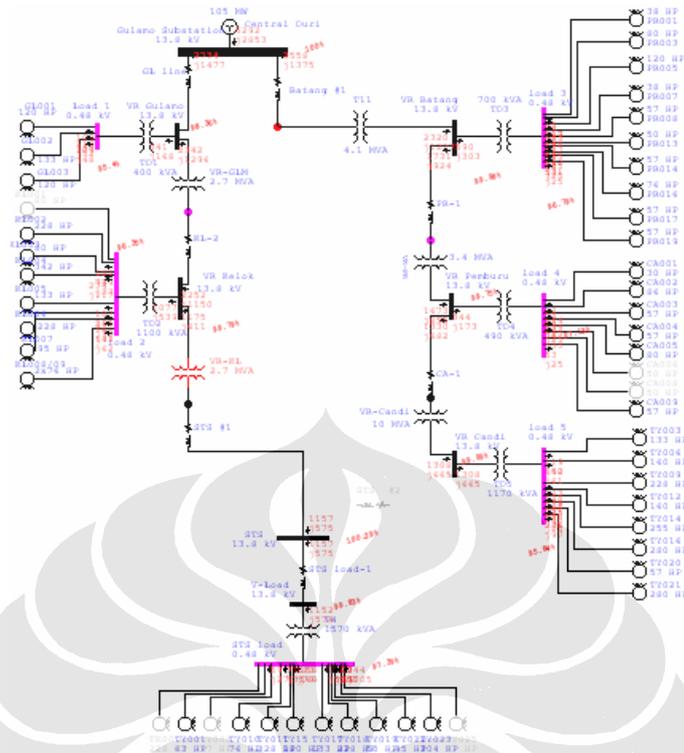
Gambar 4.10 Rangkaian yang menunjukkan tegangan pada kedua sumber saat kondisi tidak dibebani

Simulasi ini bertujuan mengetahui jika sistem ini dapat digunakan dengan baik sebagai sumber STS, karena profil tegangan pada kedua sumber yaitu 13,8 kV. Baik sumber-A maupun Sumber-B dalam kondisi normal (13,8 kV) jika tidak ada beban pada area kelok mampu menyuplai daya ke beban dengan bantuan VR.

Pada kondisi ini, VR Batang pada posisi raise 15, VR Pemburu pada posisi raise 6 dan VR Candi pada posisi raise 3.

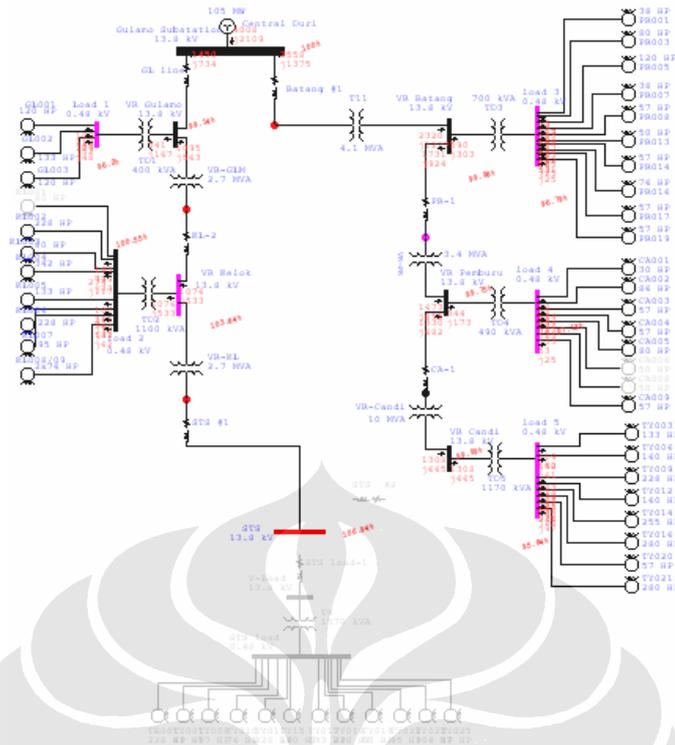
Pada saluran lainnya (Gulamo #1) VR Gulamo dalam keadaan raise 5, sedangkan VR Kelok dalam kondisi Netral.

4.2.2 Sumber-A Kehilangan Beban Pada Kondisi VR Bekerja Maksimum



Gambar 4.11 Rangkaian ketika sumber-A memasok beban dengan VR bekerja maksimum

Ini merupakan simulasi dari efek kenaikan tegangan yang timbul pada saat STS memindahkan sumber dari sumber-A ke sumber-B. Pada saat suplai daya normal, tercatat tegangan beban dapat mencapai 13,7765 dengan VR dikondisi tap normal yaitu VR Gulamo raise 11, sedangkan VR Kelok raise 4.



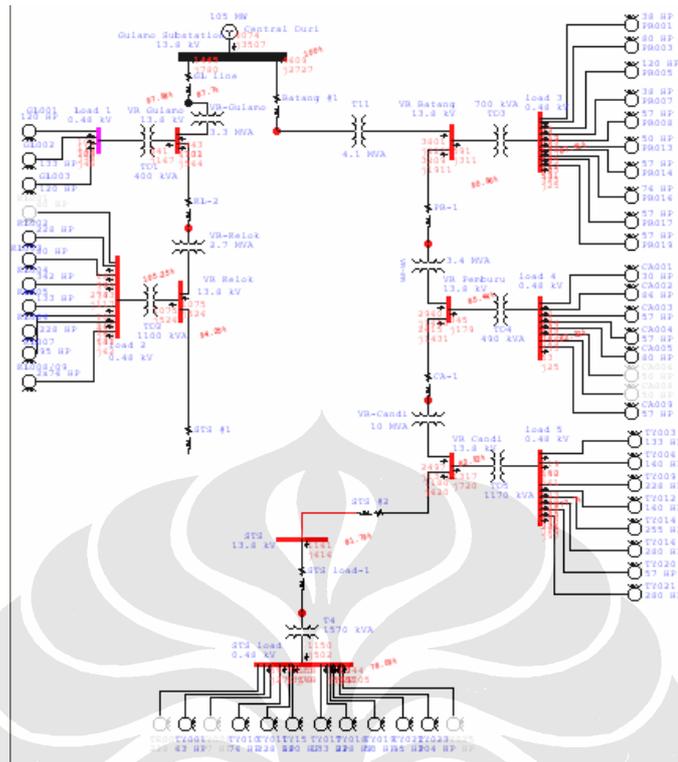
Gambar 4.12 Kondisi tegangan sumber-A ketika STS memindahkan sumber ke B

Kondisi ini merupakan simulasi kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh hilangnya beban STS. Jika kondisi ini terjadi maka pada saat simulasi terjadi lonjakan tegangan pada STS menjadi 14,8 kV atau naik 7%. Sedangkan pada beban kelok tegangan terukur sebesar 14,33 kV atau naik 4%.

Yang terjadi pada saat kejadian adalah kenaikan tegangan sebesar 33%. Jika setting over voltage beban adalah 15% maka pada saat kejadian beban akan mati dan control beban akan mendapat tegangan yang sangat besar yang dapat mengakibatkan control terbakar.

Hal inilah yang menjadi simulasi ketika terjadi gangguan sesaat pada beban STS. Dan sumber berpindah dari sumber-A ke sumber-B.

4.2.3 Sumber-B Ketika Dibebani Saat VR Dalam Kondisi Normal



Gambar 4.13 Kondisi Sumber-B saat perpindahan sumber

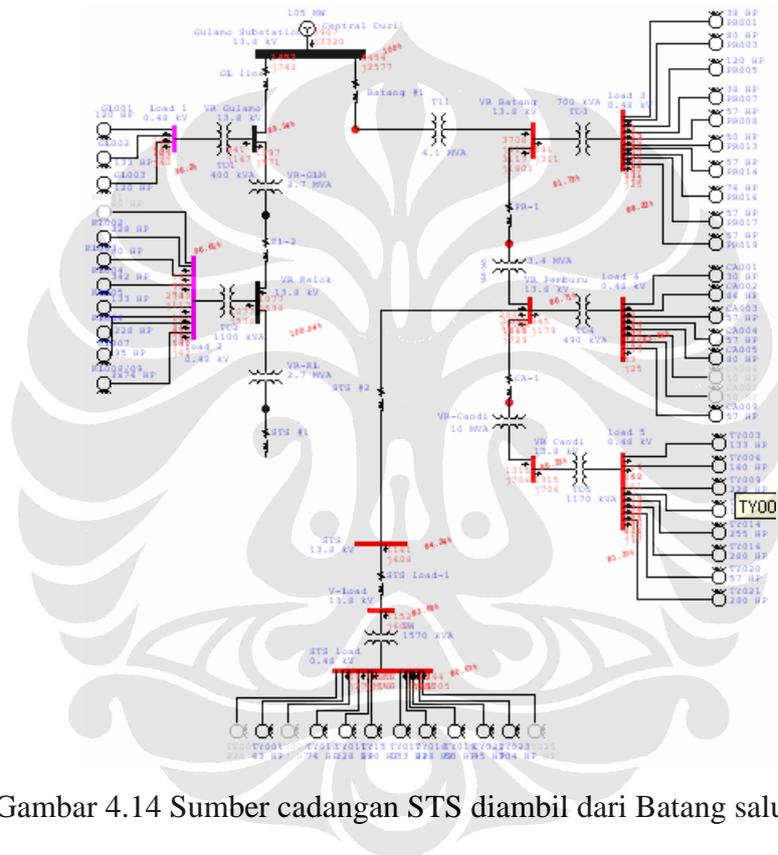
Pada kondisi ini tegangan pada bus beban sebesar 10,764 kV atau turun 22% dari kondisi normalnya 13,8 kV. Hal ini disebabkan pada kondisi normal VR bekerja sebelum motor hidup, karena pada setiap beban diberi control delay untuk mendelay hidupnya beban motor jika ada pasokan listrik. Namun, pada saat kejadian ini, motor dalam kondisi hidup, sedangkan VR bekerja 20 detik kemudian untuk menaikkan tegangan 0.625% sedangkan untuk menaikkan lebih dari itu, akan memakan waktu yang lebih lama.

Pada simulasi ini, VR Batang dalam kondisi raise 15, VR Pemburu raise 6, VR Candi raise 3. Kondisi VR ini merupakan kondisi VR pada saat beban belum masuk ke dalam sistem sumber-B. Ketika beban masuk ke sistem, maka VR akan bekerja lebih lama sehingga kita dapat mengabaikannya.

4.3 REKOMENDASI PEMASANGAN STS

Ketika Transfer terjadi, tegangan pada sumber cadangan mengalami drop hingga 22%. Hal ini tidak akan dapat digunakan lagi sebagai sumber STS karena VR yang bekerja pada sistem ini bekerja setelah 20 detik dibebani. Sehingga harus dibuatkan desain baru untuk meletakkan STS agar sistem bekerja dengan semestinya. Dan drop tegangan yang kita harapkan tidak lebih dari 12%.

4.3.1 Sumber Cadangan Berasal Dari Batang Saluran #3



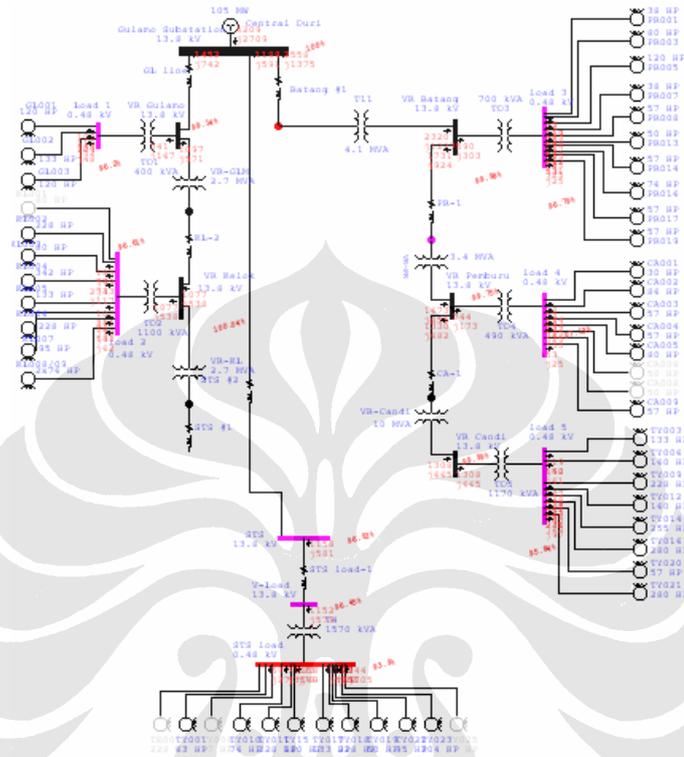
Gambar 4.14 Sumber cadangan STS diambil dari Batang saluran #3

Jika kita hubungkan saluran untuk STS dengan keluaran dari VR pemburu yang berjarak 9 km maka di dapat hasil seperti simulasi ini. VR di setting sama dengan kondisi Batang saluran#3 tanpa beban STS yaitu VR Batang raise 15, VR Pemburu raise 6 dan VR Candi raise 3.

Kondisi tegangan yang didapat masih dibawah setting under voltage beban yaitu 15%. Tegangan pada beban STS tercatat 11,55 kV atau mengalami drop sebesar 16,3 %. Hal ini menyebabkan, jika sumber yang dipilih dari batang

saluran#3 maka tegangan yang didapat masih jauh dari tegangan yang kita harapkan.

4.3.2 Sumber Cadangan Berasal Dari Saluran Express Gulamo substation

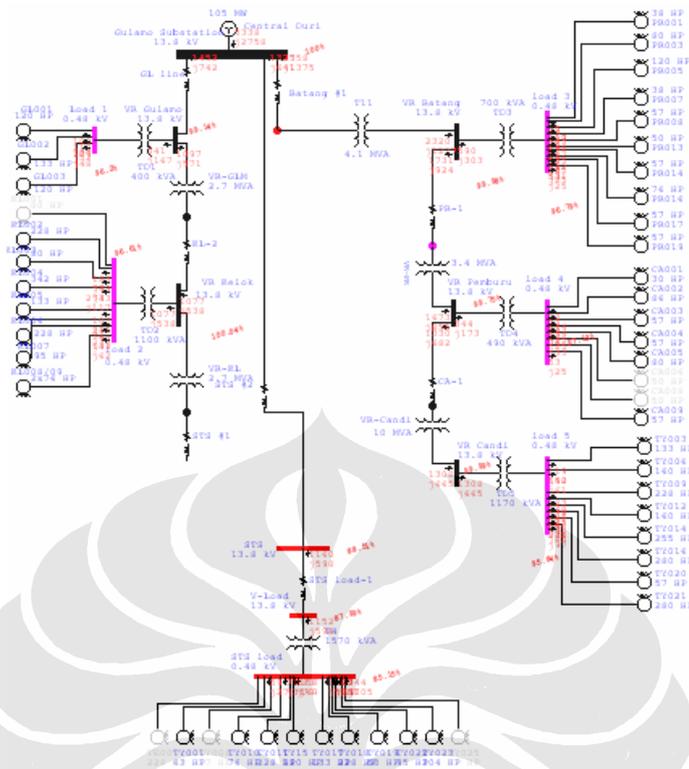


Gambar 4.15 Saluran express Gulamo substation

Salah satu cara yang dianjurkan untuk membuat alternative sumber daya adalah dengan membuat saluran express menuju STS langsung yang berjarak 13 km dari Gulamo substation. Dengan saluran express ini tegangan yang diperoleh sebesar 13,3 kV. atau hanya berkurang 3,5% dari tegangan normalnya pada saat sumber berpindah.

Namun, hal ini juga bukan mudah untk direalisasikan. Saluran express yang digunakan sebagai sumber cadangan ini akan membutuhkan biaya yang sangat mahal, karena membutuhkan beberapa komponen tambahan pada substation serta kawat transmisi yang sangat panjang mencapai 13 km.

4.3.3 Sumber Cadangan Berasal Dari Substation Lain

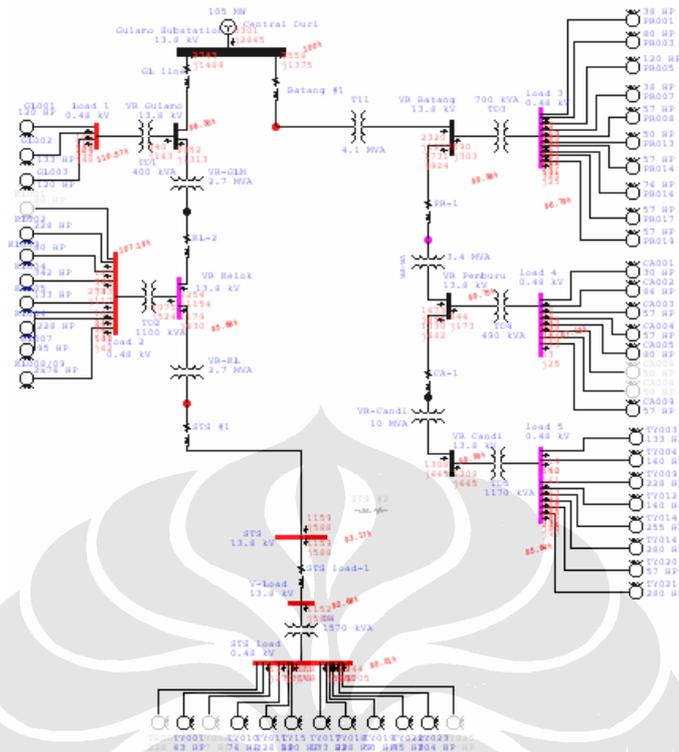


Gambar 4.14 maksimal jarak yang dapat digunakan sebagai sumber listrik

Cara ini menggunakan sumber dari substation lain dengan tegangan yang kita inginkan lebih baik dari 12,14 kV atau drop tegangan yang terjadi tidak lebih dari 12%. Dan dengan simulasi ETAP didapat jarak maksimum untuk membuat saluran express adalah 44 km.

Sama halnya dengan rekomendasi sebelumnya, saluran express memerlukan biaya tambahan dalam jumlah yang besar, semakin panjang jarak ke substation tersebut, maka semakin banyak biaya yang akan dikeluarkan.

4.3.4 Kemungkinan Pemindahan Sumber-A menjadi sumber cadangan



Gambar 4.15 Sumber-A sebagai sumber cadangan

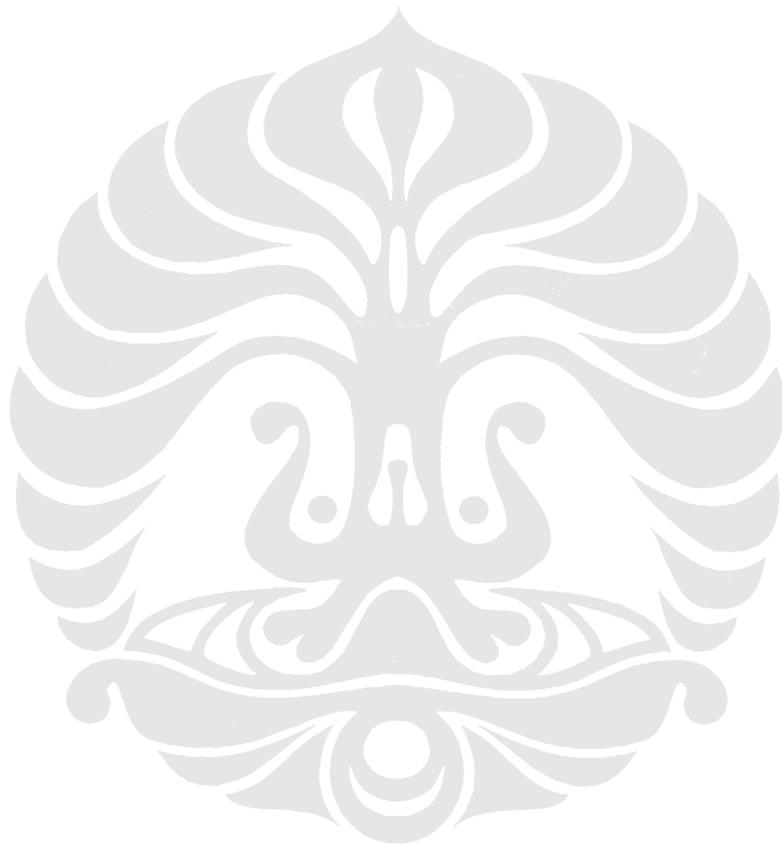
Jika memilih sumber-A sebagai sumber cadangan, maka pada saat perpindahan beban, didapat jatuh tegangan sebesar 7,32% atau didapatkan tegangan sebesar 12,79 kV. Hal ini masih masuk dalam range drop tegangan yang diijinkan oleh kontrol beban.

Dengan Pemindahan sumber utama ini, kekurangannya adalah sumber utama yang kita gunakan memiliki profil tegangan dan reliability yang rendah dibandingkan dengan Sumber-A karena jarak yang sangat jauh dari Batang. Namun, penulis menilai hal ini cocok diterapkan karena biaya yang akan dikeluarkan relative lebih kecil.

4.3.5 Rekomendasi Tambahan

- Pengaturan control STS diatur mengikuti kerja dari VR.
- Mencari alat yang dapat mengikuti kecepatan transfer STS yaitu $\frac{1}{2}$ cycle.

- Menyesuaikan pengaturan kontrol beban dengan jatuh tegangan yang terjadi, sehingga jika terjadi jatuh tegangan pada saat transfer, beban tetap hidup



BAB V

KESIMPULAN

1. Tegangan Sumber-B pada saat kondisi di PT. Chevron mengalami penurunan yang cukup drastis yaitu 22%. Sedangkan dari hasil simulasi ETAP didapatkan penurunan 22%. Dapat disimpulkan bahwa skripsi ini dapat digunakan sebagai acuan, karena kondisi simulasi sama dengan kondisi nyata dilapangan.
2. Sumber cadangan STS tidak dapat menggunakan sumber dari Batang saluran 3, hal ini dikarenakan tegangan jatuh yang terjadi pada saat transfer yaitu 16,3% masih diatas batas maksimum yang diizinkan oleh control beban yaitu 15%.
3. Sumber alternatif yang dapat digunakan adalah dengan membuat feeder express yang pasokannya didapat langsung dari Batang substation yang jaraknya dari STS lama adalah 13 km.
4. Sumber cadangan juga dapat diambil dari substation lain dengan jarak maksimal 44 km. Sehingga tegangan jatuh yang terjadi ketika proses transfer lebih kecil dari 12%.
5. Jika sumber utama diubah menjadi dari batang saluran 3 dan sumber cadangan diubah menjadi gulamo saluran 1, didapatkan jatuh tegangan yang terjadi pada saat transfer sebesar 7,32%. Masih dibawah batas tegangan jatuh pada kontrol beban, namun kekurangannya reliabilitas dari sumber utama akan sangat kecil yang diakibatkan jarak sumber yang jauh.

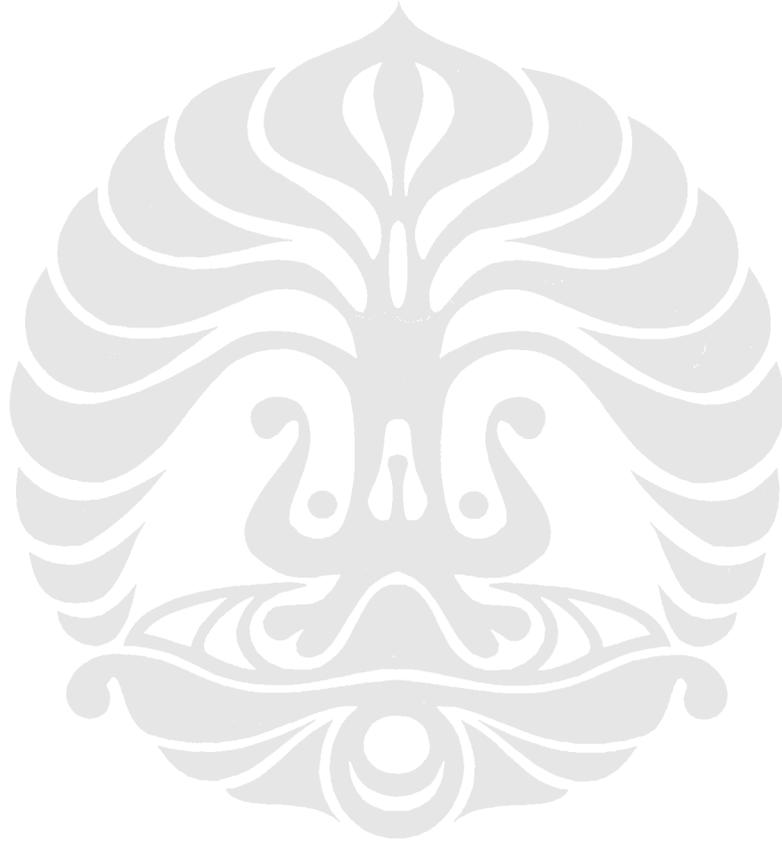
DAFTAR ACUAN

Manual book Static Transfer Switch. (2005)

One line diagram 115kV PT. Chevron Pacific Indonesia. (2007)

Well data kelok-tilan, gulamo feeder 1, batang feeder 3 PT. Chevron Pacific Indonesia. (2008)

Standard Operation Procedure (SOP) STS PT. Chevron Pacific Indonesia. (2005)



DAFTAR REFERENSI

Modul 3 PG&T PT.Chevron Pacific Indonesia. (2006) *voltage regulator*

Wikipedia (2008). *Tyhristor* . <http://en.wikipedia.org/wiki/Thyristors>

Manual book Static Transfer Switch. (2005)

Business Wire (2005), *Chevron, SatCon Pioneer Use of Static Transfer Switch Technology to Increase Oil Field Production; Project Will Ensure Reliable Power, Prevent Dozens of Power Outages Each Year*. October 25, 2005. http://findarticles.com/p/articles/mi_m0EIN/is_2005_Oct_25/ai_n15733134

Modul 3 PG&T PT.Chevron Pacific Indonesia. (2006) *capacitor bank*

Modul 3 PG&T PT.Chevron Pacific Indonesia. (2006) *Sistem operasi SCADA PG&T*

