

**IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN
TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN *VOLTAGE SAG*
MENGUNAKAN *SOFTWARE* PSCAD/EMTDC**

SKRIPSI



AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA
NIM. 11.12.026

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015**

1954

THE UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR
BUREAU OF LAND MANAGEMENT
WASHINGTON, D. C. 20250

OFFICE OF THE ASSISTANT ATTORNEY GENERAL
WASHINGTON, D. C. 20540

1954

THE UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR
BUREAU OF LAND MANAGEMENT
WASHINGTON, D. C. 20250

LEMBAR PERSETUJUAN

IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN *VOLTAGE SAG* MENGUNAKAN *SOFTWARE* PSCAD/EMTDC


SKRIPSI


*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan
guna mencapai gelar Sarjana Teknik*

Disusun oleh :
AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA
NIM : 11.12.026

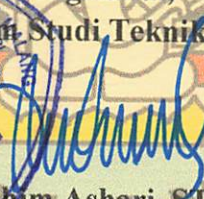
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y. 1018800189


Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP.Y. 1018800188

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1


M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP. P. 1030100358

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Agrian Firdaus Indrajaya

NIM : 11.12.026

Program Studi : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan in saya buat, dan apabila dikemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, 5 Oktober 2015

Yang membuat pernyataan,



AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA

NIM. 11.12.026

ABSTRAK

IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN *VOLTAGE SAG* MENGUNAKAN *SOFTWARE* PSCAD/EMTDC

Agrian Firdaus Indrajaya

NIM. 11.12.026

Dosen Pembimbing :

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT dan Ir. M. Abdul Hamid, MT

Salah satu gejala yang umum terjadi pada suatu sistem jaringan distribusi tenaga listrik yaitu adanya gangguan penurunan tegangan (*voltage sag*). Banyak penyebab terjadinya *voltage sag*, salah satunya akibat hubung singkat. *Voltage sag* biasanya ditandai dengan besaran dan durasi, dimana besaran *voltage sag* yaitu tegangan RMS (*root main square*) dalam persen atau per unit (pu) sedangkan waktu *voltage sag* berdasarkan durasi interval. Didefinisikan *voltage sag* adalah penurunan tegangan dari tegangan efektif sebesar 0,1 (pu) sampai (0,9) pu yang berdurasi selama 0,5 siklus sampai 1 menit. Untuk mengatasi permasalahan ini digunakanlah suatu alat kompensasi yaitu *Distribution Static Compensator* (D-STATCOM). Pada jaringan distribusi penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan, D-STATCOM dipasang secara paralel dengan beban. Untuk mensimulasikan dan memodelkan sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM menggunakan bantuan *software* PSCAD/EMTDC. Dari hasil simulasi didapatkan hasil perbandingan nilai tegangan akibat gangguan *voltage sag* sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM. Hasil *voltage sag* bernilai 0.29 (pu) pada durasi 0,3 sampai 0,6 detik sebelum implementasi D-STATCOM, sedangkan sesudah implementasi D-STATCOM tegangan menjadi 0.97 (pu) pada durasi 0,31 detik sampai 0,6 detik.

Kata kunci : *Distribution Static Compensator* (D-STATCOM), *Voltage Sag*, Jaringan Sistem Distribusi 20 kV.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami selaku penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul **“IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN *VOLTAGE SAG* MENGGUNAKAN *SOFTWARE PSCAD/EMTDC*”** dapat terselesaikan.

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik ITN Malang.

Sebagai pihak penyusun penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas rahmad dan karunia-Nya.
2. Kedua Orang Tua yang telah memberi doa, semangat, dan materil.
3. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Ir. Anang Subardi, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
5. M. Ibrahim Ashari, ST. MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
6. Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Dosen Pembimbing satu Tugas Skripsi.
7. Ir. M. Abdul Hamid, MT selaku Dosen Pembimbing dua Tugas Skripsi.
8. Rekan – rekan Asisten Laboratorium Konversi Tenaga Elektrik ITN Malang.
9. Rekan – rekan Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik
10. Sahabat-sahabat dan rekan-rekan yang tidak kami sebutkan satu-persatu, kami mengucapkan banyak terima kasih.

Usaha ini telah kami lakukan semaksimal mungkin, namun jika ada kekurangan dan kejanggalan dalam penyusunan, kami mohon saran dan kritik yang sifatnya membangun. Begitu juga sangat kami perlukan untuk menambah kesempurnaan laporan ini dan dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Malang, 3 Agustus 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Metode Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II KAJIAN PUSATAKA	6
2.1 Tinjauan Umum.....	6
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	7
2.1.2 Sistem Distribusi Primer.....	8
2.1.3 Sistem Distribusi Sekunder.....	9
2.3 Tegangan Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	9
2.3.1. Kestabilan Tegangan.....	9
2.3.2. Sumber Ketidak Stabilan Tegangan.....	10
2.4 Pengaruh Ketidak Stabilan Tegangan Terhadap Faktor Daya.....	11
2.5 Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik.....	12
2.5.1 Gangguan Simetris Pada Sistem Tenaga Listrik.....	13
2.6 <i>Voltage Sag</i>	14
2.7 Perhitungan <i>Voltage Sag</i>	15
2.8 Peralatan – peralatan yang Sensitif Terhadap <i>Voltage Sag</i>	16

2.9	<i>Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) Devices</i>	17
2.10	<i>Distribution Static Compensator (D-STATCOM)</i>	18
2.11	Model D-STATCOM.....	18
2.12	Prinsip Kerja D-STATCOM.....	19
2.13	<i>Voltage Source Converter (VSC)</i>	21
2.14	<i>Sinusoidal Pulse Width Modulation</i>	22
2.15	Propositional Integral (PI) <i>controller</i>	22
BAB III IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN		
TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN VOLTAGE SAG		
3.1	<i>Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation</i>	24
3.2	Sistem Jaringan 20 kV Penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan.....	25
3.3	Metode Pengendalian D-STATCOM.....	30
3.4	Mekanisme Pengendalian D-STATCOM Terhadap Perbaikan Tegangan.....	28
3.5	Alur Perbaikan Tegangan Akibat Gangguan <i>Voltage Sag</i>	31
3.6	<i>Voltage Source Converter (VSC)</i>	32
3.7	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i> Pada Rangkaian VSC.....	33
3.8	Kontrol Pengendali Proporsional, Integral (PI).....	35
3.9	Implementasi D-STATCOM Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan.....	36
3.10	<i>Flowchart</i> Hasil Simulasi Menggunakan <i>Software</i> PSCAD/EMTDC.....	39
3.10.1	<i>Flowchart</i> Penyelesaian Masalah.....	39
BAB IV HASIL dan ANALISIS HASIL		
4.1	Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan.....	38
4.2	Data Sistem Distribusi Penyulang Banyu Biru.....	39
4.3	Solusi Perbaikan Tegangan Akibat Gangguan <i>Voltage Sag</i>	39
4.4	<i>Single Line Diagram</i> Dengan Implementasi D-STATCOM.....	40

4.5 Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah Implementasi	
D-STATCOM.....	41
4.6 Analisa Hasil Simulasi.....	44
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema penyaluran tenaga listrik.....	7
Gambar 2.2	Skema penyaluran tenaga listrik jaringan distribusi.....	8
Gambar 2.3	Stabilitas tegangan.....	10
Gambar 2.4	Koreksi faktor daya.....	11
Gambar 2.5	Hubung singkat 3 fasa.....	13
Gambar 2.6	<i>Voltage sag</i>	15
Gambar 2.7	Model pembagi tegangan untuk <i>voltage sag</i>	15
Gambar 2.8	Diagram blok fungsional D-STATCOM.....	19
Gambar 2.9	<i>Single line diagram</i> implementasi D-STATCOM.....	20
Gambar 2.10	Hubungan Vs dan Vc untuk pengiriman daya aktif.....	21
Gambar 2.11	PI Controller.....	23
Gambar 3.1	Tampilan utama <i>software</i> PSCAD/EMTDC.....	25
Gambar 3.2	Tampilan <i>master library</i> pada <i>software</i> PSCAD/EMTDC....	25
Gambar 3.3	<i>Single line diagram</i> jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan.....	26
Gambar 3.4	<i>Single line diagram</i> 21 trafo distribusi sistem jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan pada <i>software</i> PSCAD/EMTDC.....	27
Gambar 3.5	Grafik profil tegangan dalam kondisi normal.....	31
Gambar 3.6	Grafik Profil daya nyata dan daya reaktif dalam kondisi normal.....	31
Gambar 3.7	Grafik tegangan dalam kondisi gangguan 3 fasa.....	32
Gambar 3.8	Grafik profil daya nyata dan daya reaktif dalam kondisi gangguan 3 fasa.....	32
Gambar 3.9	Rangkaian VSC pada D-STATCOM.....	33
Gambar 3.10	Rangkaian modulasi lebar pulsa pada VSC.....	35
Gambar 3.11	Dasar pengendali PI.....	36
Gambar 3.12	<i>Single Line Diagram</i> jaringan tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan	

	setelah implementasi D-STATCOM.....	37
Gambar 3.13	Grafik profil tegangan saat terjadi gangguan <i>voltage sag</i> setelah implementasi D-STATCOM.....	37
Gambar 3.14	Grafik profil daya nyata (P) dan daya reaktif (Q) saat Terjadi gangguan <i>voltage sag</i> setelah implementasi D-STATCOM.....	38
Gambar 3.13	Flowchart penyelesaian masalah.....	39
Gambar 4.1	<i>Single line</i> sistem tenaga listrik dengan D-STATCOM di jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru dalam <i>software</i> PSCAD.....	40
Gambar 4.2	Grafik profil tegangan pada saat gangguan <i>voltage sag</i> sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM.....	42
Gambar 4.3	Grafik profil tegangan pada saat gangguan <i>voltage sag</i> Sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM.....	43
Gambar 4.4	Grafik profil daya pada saat gangguan <i>voltage sag</i> Sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klarifikasi <i>voltage sag</i> menurut standar IEEE.....	14
Tabel 3.1	Data trafo pada penyulang banyu biru.....	27
Tabel 3.2	Data report gangguan penyulang banyu biru.....	29
Tabel 4.1	Data trafo distribusi penyulang Banyu Biru.....	41
Tabel 4.2	Hasil perbaikan tegangan akibat gangguan <i>voltage sag</i> sebelum dan sesudah implemantasi D-STATCOM.....	44
Tabel 4.3	Hasil profil daya akibat gangguan <i>voltage sag</i> sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM.....	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di masa sekarang ini perkembangan akan teknologi terus meningkat diantaranya dalam hal penggunaan peralatan listrik berkapasitas besar yang banyak dipakai dalam industri - industri maupun rumah tangga, dengan semakin berkembangnya peralatan listrik yang mempunyai kapasitas besar maka harus diimbangi juga dengan penyediaan kualitas tegangan yang baik. Agar mendapatkan kualitas tegangan yang baik maka diperlukan suatu penyaluran tenaga listrik yang baik juga sehingga nantinya energi listrik yang dikirim atau disalurkan ke konsumen mempunyai kualitas tegangan yang baik.

Penyulang Banyu Biru merupakan salah satu dari beberapa penyulang yang berada dalam lingkup gardu induk Gondang Wetan Pasuruan. Penyulang Banyu Biru merupakan penyulang yang melayani kebutuhan listrik dari wilayah Gondang Wetan sampai desa Sibon. Dalam data *report* gangguan harian pada penyulang Banyu Biru dalam pada tahun 2014, terdapat banyak jenis gangguan seperti gangguan permanen dan gangguan temporer.

Gangguan *voltage sag* merupakan masalah yang penting pada kualitas daya yang ada pada sistem tenaga listrik. Didefinisikan *voltage sag* adalah penurunan tegangan sebesar 0,1 pu sampai 0,9 pu dari tegangan efektif atau tegangan RMS (*root mean square*) dan gangguan tersebut terjadi berdurasi dari 0,5 *cycle* sampai 1 menit. Banyak penyebab terjadinya *voltage sag*, salah satunya adalah akibat dari gangguan hubung singkat.

Banyak cara untuk menghilangkan *voltage sag*, seperti metode konvensional dengan menggunakan *capasitor bank*, atau pemasangan *uninterruptible power supplies* (UPS). *Distribution static compensator* (D-STATCOM) telah muncul sebagai perangkat yang dapat mengatasi gangguan *voltage sag*, selain untuk mengatasi gangguan *voltage sag*, D-STATCOM juga dapat mengatasi permasalahan kualitas daya seperti koreksi faktor daya, stabilisasi tegangan, dan lain-lain.

Fenomena yang terjadi pada jaringan distribusi diatas juga terdapat atau dialami oleh sistem jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, maka untuk mengatasi permasalahan kondisi *voltage sag* yang diakibatkan oleh adanya gangguan hubung singkat 3 fasa tersebut salah satunya dengan mengimplementasikan peralatan FACTS (*flexible AC transmission system*) *devices* berupa D-STATCOM (*distribution static compensator*) pada suatu sistem jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru. Sehingga kedepannya dengan implementasi D-STATCOM permasalahan kondisi *voltage sag* yang diakibatkan gangguan hubung singkat dapat diminimalisir dan kualitas tegangan yang disalurkan menjadi baik.

Maka dari itu penelitian ini membahas mengenai perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag* dengan mengimplementasikan D-STATCOM dengan bantuan *software* PSCAD/EMTDC (*Power System Computer Audit Design*) V.4.2.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diangkat pada penulisan skripsi ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana profil tegangan di jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru saat terjadi gangguan *voltage sag* ?
2. Bagaimana profil tegangan di jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru saat terjadi gangguan *voltage sag* dengan sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan diatas, maka tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Melihat dan menganalisa profil tegangan di jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru saat terjadi gangguan *voltage sag*.

2. Menganalisa pengaruh profil tegangan di jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru saat terjadi gangguan *voltage sag* dengan sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak menyimpang dari pokok perumusan masalah dan tujuan dalam penyusunan skripsi ini maka penulis memberi batasan sebagai berikut :

1. *Study case* yang akan di analisa adalah PT. PLN (PERSERO) AREA. PASURUAN, jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan.
2. Terjadinya gangguan *voltage sag* akibat gangguan hubung singkat 3 fasa.
3. Analisa serta simulasi dilakukan dengan *software* PSCAD/EMTDC V.4.2 *Power Simulation*.
4. Mekanisme kerja D-STATCOM dalam mengatasi permasalahan *voltage sag*.
5. Pada rangkaian VSC (*voltage source converter*) menggunakan 6 pulsa yang terdiri dari 6 GTO (*gate turn off thyristor*).
6. Tidak membahas tentang harmonisa dan *switching transient* D-STATCOM terhadap sistem.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Bagi Masyarakat
 - Membantu masyarakat untuk mengetahui permasalahan yang terjadi pada sistem kelistrikan di jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan dan meningkatkan kontinuitas dari permasalahan tersebut, sehingga kehandalan pengiriman tegangan pada konsumen dapat terjaga dengan baik.
 - Membantu masyarakat untuk mendapatkan keandalan pengiriman listrik yang disuplai dari penyulang Banyu Biru selama 24 jam penuh

2. Bagi Penulis

- Untuk menambah wawasan dan ilmu pengetahuan diluar lingkungan kampus yang berhubungan dengan program studi yang dipilih.
- Untuk menambah pengetahuan sebelum terjun langsung di dunia kerja dan ditengah masyarakat untuk mengabdikan ilmu yang dipelajari selama di bangku kuliah.

3. Bagi Ilmu Pengetahuan

- Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu di bidang energi listrik.
- Menggali solusi alternatif dan menambah kepustakaan ilmu di bidang energi listrik.

1.6 Metode Penelitian

Metodelogi yang digunakan pada penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Kajian literatur.

Kajian literatur yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan. Studi literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal ilmiah, beberapa *user* manual peralatan dan dari nara sumber yang kompeten.

2. Pengumpulan data.

Bentuk data yang digunakan adalah :

- Data kuantitatif, yaitu berupa data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka guna mempermudah proses pengerjaan skripsi yaitu data *grid*, data trafo, data gangguan dan data beban.
- Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini berupa *single line diagram* jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan.

3. Menganalisa data – data yang telah di kumpulkan pada sistem jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan.

4. Menganalisa sistem jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan pada saat terjadi gangguan *voltage sag* sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM.
5. Kesimpulan.

Menarik kesimpulan dari hasil analisa data.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan skripsi ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Sistematika penyusunannya adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Pengertian tentang teori sistem tenaga listrik, *voltage sag*, dan penjelasan tentang D-STATCOM.

BAB III : METODE PENYELESIAN MASALAH

Bab ini menjelaskan tentang implementasi D-STATCOM untuk perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag*.

BAB IV : HASIL dan ANALISIS HASIL

Pada bab ini berisi data dan hasil simulasi dari *software* PSCAD/EMTDC V.4.2 *Power Simulation*.

BAB V : KESIMPULAN dan SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Sebagian energi yang dibutuhkan masyarakat sekarang dipenuhi oleh energi listrik, melalui sistem tenaga listrik yang terbagi dalam tiga subsistem sebagai berikut:

- a. Sistem pembangkitan
- b. Sistem transmisi
- c. Sistem distribusi

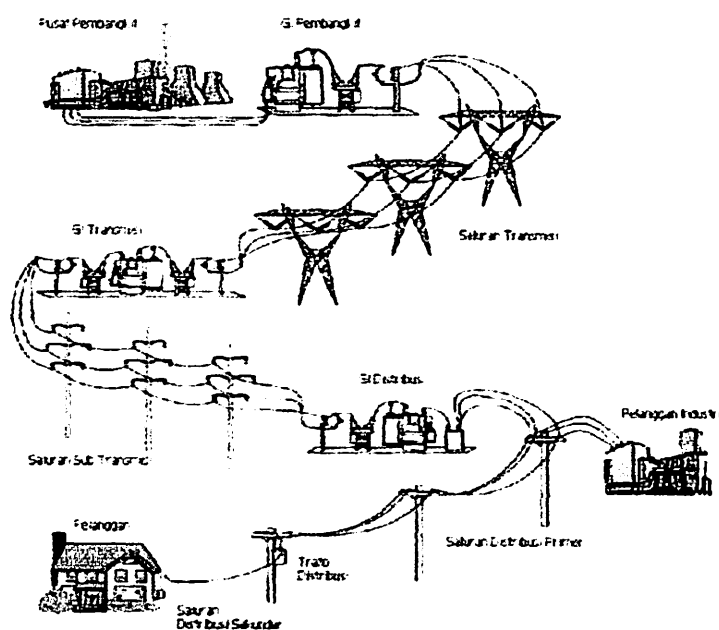
Sistem pembangkitan tenaga listrik berfungsi membangkitkan energi listrik melalui berbagai macam pembangkit tenaga listrik. Pada pembangkit tenaga listrik ini sumber - sumber energi alam diubah oleh penggerak mula menjadi energi mekanis yang berupa kecepatan atau putaran yang selanjutnya energi mekanis tersebut diubah menjadi energi listrik oleh generator.

Sistem transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui saluran transmisi, karena ada kalanya pembangkit tenaga listrik dibangun di tempat yang jauh dari pusat-pusat bebannya, seperti misalnya pembangkit listrik tenaga air di bangun dekat sumber energi alam misalnya berupa air terjun yang jauh di pedalaman, sedangkan pusat beban atau konsumen tenaga listrik misalnya pabrik, industri, komersial, perumahan dan sebagainya kebanyakan di perkotaan. Saluran transmisi ini akan mengalami rugi - rugi tenaga, maka untuk mengatasi hal tersebut tenaga yang dikirim dari pusat pembangkit ke pusat beban harus ditransmisikan dengan tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi.

Sistem distribusi berfungsi mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen yang berupa pabrik, industri, perumahan dan sebagainya. Transmisi tenaga dengan tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi pada saluran transmisi diubah pada gardu induk menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer, yang selanjutnya tegangannya

dapat diubah lagi menjadi tegangan untuk konsumen. Energi listrik pada sisi konsumen ini dapat diubah lagi menjadi energi mekanis yang terpakai melalui motor listrik untuk menggerakkan mesin - mesin pabrik baik di pabrik maupun di industri, dan peralatan listrik di rumah tangga seperti pompa air, kipas angin, mesin pendingin dan penyejuk ruangan, untuk kompor, strika, penerangan dan sebagainya.

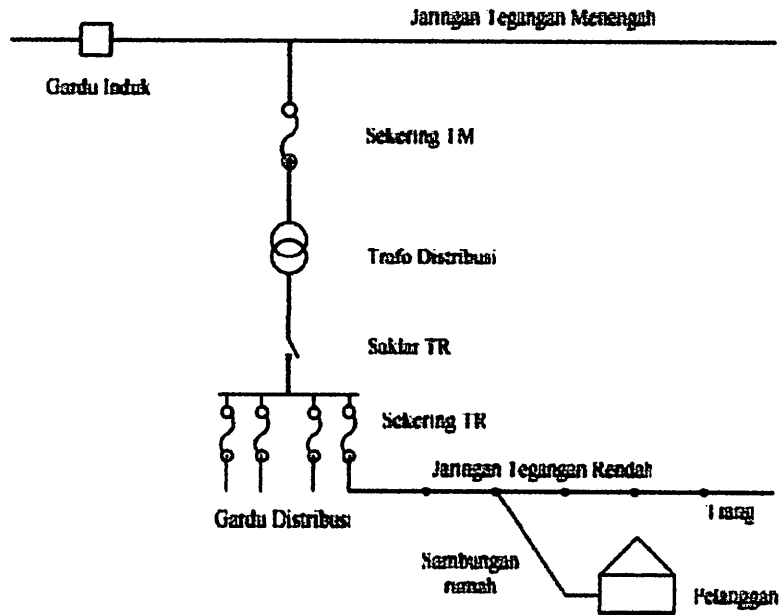
Sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi ini dapat digambarkan secara sederhana seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.1
Skema penyaluran tenaga listrik

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi pada sistem tenaga listrik merupakan salah satu bagian pada penyaluran tenaga listrik dari gardu induk sampai konsumen tenaga listrik. Menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban (konsumen) dengan mutu yang memadai merupakan fungsi dari sistem distribusi tenaga listrik.



Gambar 2.2
Skema penyaluran tenaga listrik jaringan distribusi

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem, yaitu :

1. Sistem distribusi primer
2. Sistem distribusi sekunder

Klasifikasi sistem distribusi tenaga listrik terbagi menjadi dua ini berdasarkan tingkat tegangan distribusinya.

2.2.1 Sistem Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan bagian dari sistem tenaga listrik antar gardu induk dan gardu distribusi dengan tegangan kerja 20 kV atau 6 kV. Pada jaringan distribusi primer umumnya terdiri dari jaringan tiga - fasa dengan menggunakan tiga atau empat kawat sebagai penghantar. Didalam penyalurannya pada jaringan distribusi primer menggunakan saluran kawat udara, kabel udara dan sistem kabel tanah dimana penggunaannya sesuai dengan tingkat keandalan yang dibutuhkan.

2.2.2 Sistem Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder merupakan bagian dari jaringan distribusi dimana jaringan ini berhubungan langsung dengan konsumen tenaga listrik. Pada umumnya tegangan pada jaringan distribusi sekunder 220 / 380 volt.

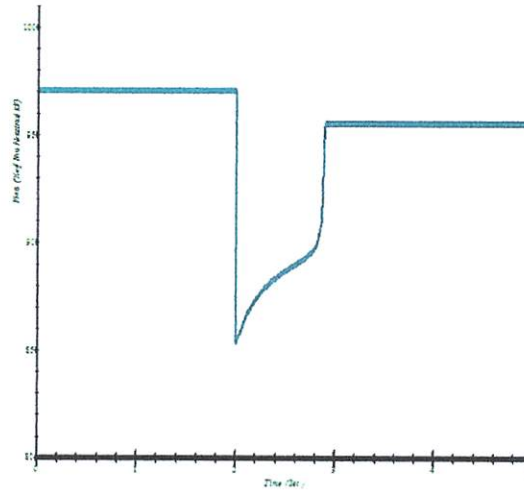
2.3 Tegangan Sistem Tenaga Listrik

Tegangan adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan volt. Pengendalian Tegangan diperlukan untuk menghindari kerusakan peralatan yang terhubung ke jaringan transmisi, baik oleh tegangan yang terlalu rendah maupun yang terlalu tinggi, serta untuk menjamin bahwa tegangan disisi pelanggan berada dalam tingkat yang dapat diterima. Selain itu, ketidak seimbangan tegangan harus dikendalikan pula untuk memberi pelayanan yang memuaskan ke pelanggan.

2.3.1 Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk selalu siap mempertahankan tegangan yang diterima di setiap bus dalam sistem tersebut saat beroperasi normal dan atau setelah mengalami gangguan. Suatu sistem memasuki situasi ketidak stabilan tegangan ketika terjadi gangguan, meningkatnya permintaan beban atau perubahan dalam kondisi sistem yang mengakibatkan perubahan yang drastis dan tidak terkontrolnya penurunan tegangan. Penyebab utama ketidak stabilan tegangan adalah ketidak mampuan suatu sistem tenaga untuk memenuhi permintaan daya reaktif. Inti dari permasalahannya adalah penurunan tegangan yang terjadi ketika daya aktif mengalir melalui reaktansi induktif yang dihubungkan dengan jaringan.

Kriteria kestabilan tegangan dapat dipenuhi jika tegangan pada setiap bus dalam suatu sistem yang sedang beroperasi akan meningkat besarnya seiring dengan meningkatnya injeksi daya reaktif pada bus yang sama. Ketidakstabilan tegangan dapat terjadi dalam beberapa cara yang berbeda, salah satunya ditunjukkan seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3
Stabilitas tegangan

Ilustrasi gambar diatas menunjukkan bahwa terjadi jatuh tegangan RMS (*root main square*) selama 1 detik saat terjadi gangguan *voltage sag* yang diluar di luar rating standar tegangan (0,95 pu – 1,05 pu). Oleh karena itu perlu selalu dijaga keadaan stabilitas tegangan agar dapat beroperasi pada stabilitas yang disarankan.

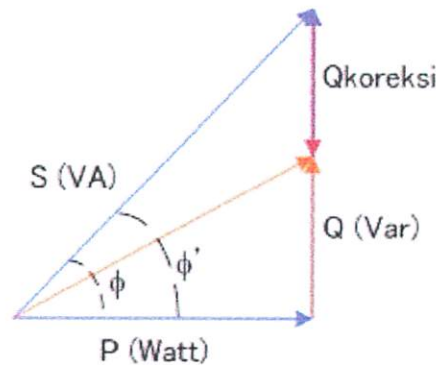
2.3.2 Sumber Ketidak Stabilan Tegangan

Pada dasarnya tegangan yang dikirim tidak sama dengan tegangan yang diterima, karena rugi-rugi tegangan tidak dapat dihindari selama proses penyaluran melalui saluran transmisi dari sumber ke pelanggan. Reaktansi induktif (X_L) sepanjang saluran transmisi menyebabkan sumber kelebihan mensuplai daya reaktif ke sistem, sehingga mengakibatkan rugi-rugi tegangan pada saluran transmisi besar dan tegangan pada sisi terima mengalami penurunan terhadap tegangan sumbernya.

Penurunan tegangan akan menyebabkan tegangan menjadi kritis saat terjadi berbagai macam gangguan, baik gangguan *internal* maupun *external*. Gangguan *internal* seperti injeksi beban-beban berkapasitas besar, komponen peralatan listrik yang tidak bekerja secara optimal, dll. Sedangkan gangguan eksternal seperti sambaran petir dan pohon tumbang pada jaringan yang mengakibatkan terjadinya *short circuit* baik seimbang maupun tidak seimbang.

2.4 Pengaruh Kestabilan Tegangan Terhadap Faktor Daya

Tegangan sistem tenaga listrik memiliki hubungan yang erat terhadap koreksi faktor daya khususnya daya reaktif. Kondisi tegangan yang tidak stabil memberikan koreksi faktor daya yang kurang baik kualitasnya. Hal ini dapat dijelaskan dengan metode segitiga daya seperti penjelasan berikut ini:



Gambar 2.4
Koreksi faktor daya

Dari gambar 2.4 di dapatkan persamaan – persamaan seperti berikut :

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots (2.1)$$

$$P = V \cdot I \cos \phi \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Q = V \cdot I \sin \phi \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

S	= Daya Total (VA)	P	= Daya Aktif (Watt)
Q	= Daya Reaktif (Var)	V	= Tegangan (Volt)
I	= Arus (Ampere)	ϕ	= Sudut daya

Pada persamaan 2.3 menunjukkan bahwa tegangan memiliki hubungan terhadap daya reaktif (Q). Jika terdapat Q koreksi akibat injeksi daya reaktif dari komponen elektronika daya, sehingga ϕ akan semakin kecil dan faktor daya ($\cos \phi$) akan naik. Peristiwa ini dapat disebut sebagai kompensasi daya reaktif.

2.5 Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari luar sistem disebabkan oleh sentuhan daun/pohon pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain - lain. Sedangkan gangguan yang datang dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan pemutus beban dan kesalahan pada alat pendeteksi.

Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dibedakan dari dua segi yaitu :

A. Dari jenis gangguannya

- Gangguan tiga fasa
- Gangguan fasa ke fasa
- Gangguan dua fasa ke tanah
- Gangguan satu fasa ke tanah atau gangguan tanah

B. Dari lamanya gangguan

- Gangguan temporer

Gangguan yang bersifat temporer ini apabila terjadi gangguan, maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat normal kembali. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutus sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Kemudian disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

Salah satu contoh gangguan yang bersifat temporer adalah gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat binatang seperti burung kelelawar, ular dan layang-layang.

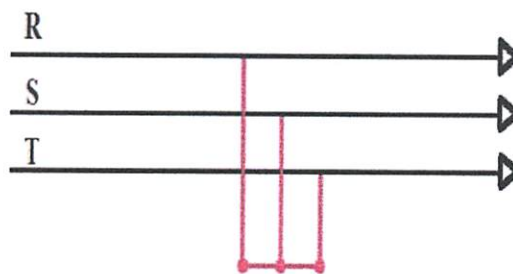
- Gangguan permanen

Gangguan permanen tidak akan dapat hilang sebelum penyebab gangguan dihilangkan terlebih dahulu. Gangguan yang

bersifat permanen dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan ini diperbaiki atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen. Untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Terjadinya gangguan ditandai dengan jatuhnya pemutus tenaga, untuk mengatasinya operator memasukkan tenaga secara manual. Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus, terjadinya gangguan hubung singkat, dahan yang menimpa kawat fase dari saluran udara.

2.5.1 Gangguan Simetris Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan tiga fasa merupakan jenis gangguan hubung singkat simetris karena ke tiga fasa tersebut mengalami gangguan, penyebab dari adanya gangguan tiga fasa ini yaitu adanya gangguan hubung singkat atau adanya injeksi/penambahan beban-beban yang mempunyai daya besar secara tiba-tiba yang menyebabkan tegangan dan arus dalam sistem menjadi tidak stabil, selain gangguan tiga fasa disebut gangguan tak seimbang.



Gambar 2.5
Hubung singkat 3 fasa

Gangguan yang terjadi ini dapat menimbulkan arus yang sangat besar yang melewati kapasitas arus yang diijinkan serta dapat menyebabkan drop tegangan. Akibat yang ditimbulkan dari gangguan ini yaitu : Rusaknya peralatan-peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus yang besar serta tegangan yang rendah, Berkurangnya stabilitas daya sistem, Terhentinya kontinuitas pelayanan

listrik kepada konsumen apabila gangguan hubung singkat tersebut sampai mengakibatkan bekerjanya CB (*circuit breaker*) yang biasa disebut dengan pemadaman listrik.

2.6 Voltage Sag

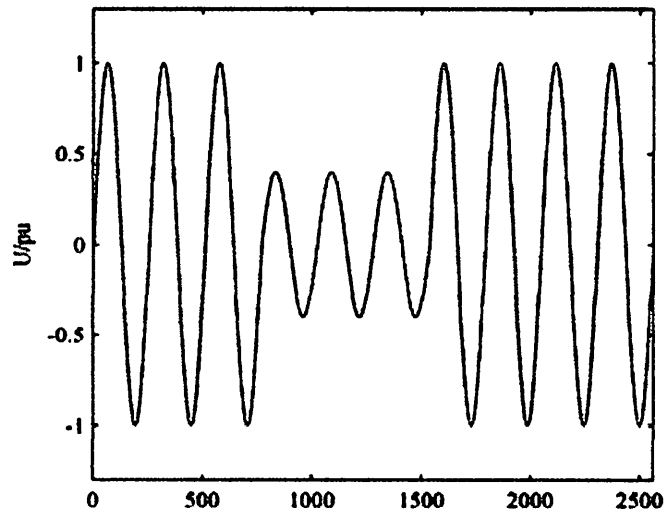
Menurut standar IEEE Std 1159 (1995) *voltage Sag* adalah penurunan tegangan efektif atau tegangan RMS (*root mean square*) secara tiba-tiba dari 0,1 pu sampai 0,9 pu pada suatu titik dalam sistem tenaga listrik, dan berlangsung selama 0,5 *cycle* sampai 1 menit^[1]. Gambar 2.6 menunjukkan gelombang yang menggambarkan *voltage sag*.

Tabel 2.1 Klarifikasi *voltage sag* menurut standar IEEE

Tipe Voltage Sag	Durasi	Magnitude
<i>Instantaneous</i>	0.5 – 30 <i>cycles</i>	0.1 – 0.9 pu
<i>Momentary</i>	30 <i>cycles</i> – 3 detik	0.1 – 0.9 pu
<i>Temporary</i>	3 detik – 1 menit	0.1 – 0.9 pu

Voltage sag dapat disebabkan oleh operasi beralih terkait dengan pemutusan sementara pasokan, aliran arus deras yang terkait dengan mulai dari motor listrik besar atau aliran arus kesalahan atau transfer beban dari satu sumber listrik yang lain. Penyebab *voltage sag* diantaranya yaitu :

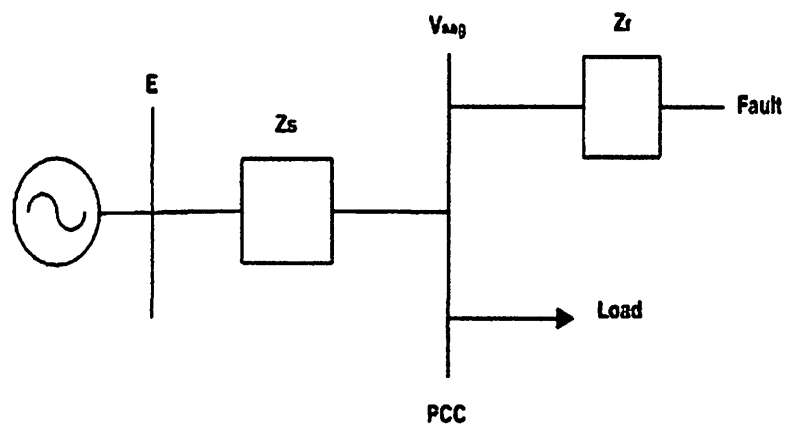
- a. Starting beban-beban yang besar seperti motor listrik.
- b. Gangguan hubung singkat.



Gambar 2.6
Voltage sag

2.7 Perhitungan *Voltage Sag*

Untuk menghitung besaran *voltage sag* pada sistem radial dapat dilihat pada contoh gambar di bawah ini :



Gambar 2.7
Model pembagi tegangan untuk *voltage sag*

Dari gambar diatas dapat dilihat adanya 2 impedansi yaitu : Z_s (impedansi sumber pada titik kopling bersama [Ω]) dan Z_f (impedansi antara titik kopling bersama dan gangguan [Ω])^[2].

Titik kopling bersama (*point of common coupling/PCC*) adalah titik dimana cabang-cabang arus beban dalam posisi *off* dari arus gangguan. jadi besaran *voltage sag* dinyatakan dengan persamaan :

$$V_{sag} = \frac{Z_f}{Z_s + Z_f} \times E \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

Z_s = Impedansi sumber termasuk transformator

Z_f = Impedansi antara PCC dan gangguan, termasuk gangguan dan impedansi jaringan

2.8 Peralatan – Peralatan yang Sensitif Terhadap *Voltage Sag*

Kesensitifan peralatan terhadap kedip tegangan sangat tergantung pada jenis beban, seting pengaturan dan aplikasi. Karakteristik kedip tegangan yang paling berpengaruh pada peralatan-peralatan sensitif adalah waktu dan besaran kedip tegangan, meskipun untuk beberapa peralatan karakteristik seperti pergeseran fasa dan ketidakseimbangan juga mempengaruhi pada saat terjadi kedip tegangan.

Secara umum kesensitifan peralatan terhadap kedip tegangan dapat dibagi menjadi 3 kategori yaitu :

- Peralatan yang sensitif hanya terhadap besaran kedip tegangan.
Peralatan yang termasuk kategori ini seperti *relay under voltage*, peralatan kontrol proses, pengaturan motor dan mesin - mesin otomatis.
- Peralatan yang sensitif terhadap besaran dan lama kedip tegangan.
Peralatan yang termasuk pada kategori ini adalah peralatan - peralatan yang menggunakan komponen elektronika daya.
- Peralatan yang sensitif terhadap karakteristik lain
Beberapa peralatan seperti motor induksi, dapat dipengaruhi oleh karakteristik kedip tegangan selain daripada besaran dan lama terjadinya kedip tegangan, seperti ketidak seimbangan fasa selama terjadinya kedip tegangan dan osilasi *transient* selama terjadinya gangguan.

2.9 *Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) Devices*

FACTS *devices* merupakan perangkat kontrol elektronik terpadu yang mengontrol variabel - variabel saluran transmisi seperti impedansi saluran, tegangan sistem dan sudut tegangan secara cepat dan efektif. Dengan demikian FACTS *devices* juga sangat berperan untuk menjaga operasi sistem tenaga listrik yang optimal.

Peralatan FACTS *devices* sudah banyak digunakan pada sistem tenaga modern untuk menangani masalah penyaluran daya dimana sebagai peralatan elektronika daya terpadu, FACTS *devices* sangat mungkin diaplikasikan pada saluran transmisi untuk meningkatkan kemampuan penyaluran daya saluran. Dengan biaya investasi yang relatif dan waktu pemasangan yang cepat dibanding dengan membangun saluran transmisi baru, menyebabkan aplikasi peralatan FACTS *devices* banyak menjadi pertimbangan utama oleh perusahaan penyedia listrik. Selain pertimbangan biaya investasi, penggunaan FACTS *devices* juga didasarkan pada kemampuannya untuk meningkatkan kestabilan transmisi tenaga listrik, memperbaiki profil tegangan dan keseimbangan daya reaktif serta memperbaiki pembagian beban pada saluran paralel.

FACTS *devices* mempunyai kemampuan untuk menjadikan suatu sistem tenaga listrik dapat beroperasi dengan cara lebih fleksibel, aman, dan ekonomis. Pola pembangkitan tenaga listrik yang mengarah pada pembebanan saluran yang terlampaui berat, akan mengakibatkan rugi - rugi saluran yang lebih tinggi, dan memperlemah keamanan serta stabilitas dari sistem tenaga listrik tersebut. Dalam kondisi demikian, FACTS *devices* bisa digunakan untuk meningkatkan kemampuan sistem, dengan cara mengontrol aliran daya pada saluran transmisi. Di antara beberapa jenis FACTS *devices* salah satunya adalah D-STATCOM (*distribution static compensator*) yang berfungsi mengatur aliran daya reaktif ke sistem untuk memperbaiki profil tegangan dan koreksi faktor daya ($\cos \phi$), sehingga drop tegangan pada sistem dapat ditekan sekecil mungkin.

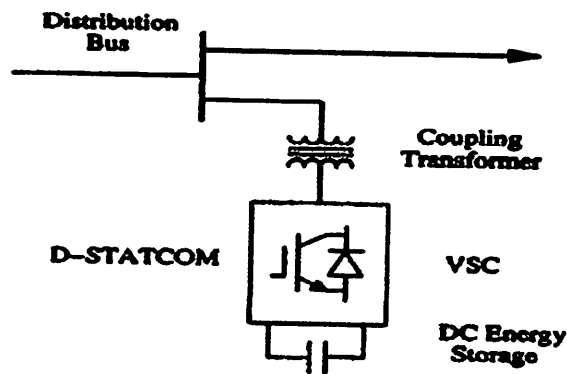
2.10 *Distribution Static Compensator (D-STATCOM)*

D-STATCOM dikategorikan sebagai teknologi baru dalam bidang kompensator daya reaktif. Pada rangkaiannya, D-STATCOM menggunakan rangkaian *converter* yang terdiri dari komponen elektronika daya, media penyimpanan energy, dan *capasitor* untuk pengaturan daya reaktif. Pada sisi pengendalian, D-STATCOM sudah menerapkan skema pengendalian secara digital sehingga memungkinkan kinerja yang optimal dan penerapan teknik pengendalian dengan nilai operasi lebih tinggi^[3].

Selain memiliki fungsi sebagai pengendalian daya reaktif, D-STATCOM juga memiliki fungsi dalam memperbaiki parameter lain yang berhubungan dengan kualitas daya listrik dan stabilitas sistem tenaga.

2.11 Model D-STATCOM

Pada sisi aplikasi konfigurasi umum yang digunakan D-STATCOM adalah rangkaian yang menggunakan sumber tegangan (VSC). Hal ini dikarenakan VSC (*voltage source converter*) memiliki kelebihan dibandingkan CSC (*current source converter*) pada sisi biaya dikarenakan penggunaan komponen yang lebih sederhana. Konfigurasi D-STATCOM dengan struktur ini menggunakan media penyimpanan energi yang digunakan dalam pengaturan daya reaktif melalui teknik konverter. Rangkaian konverter yang digunakan umumnya tersusun atas kombinasi dari komponen elektronika daya yang mampu berfungsi sebagai saklar otomatis (IGBT, GTO, IGCT, dan lain-lain) dengan diode yang dihubungkan secara paralel. Kombinasi ini memungkinkan dilakukan teknik *converter* AC/DC dan DC/AC untuk mengubah sinyal AC menjadi DC dan sebaliknya.



Gambar 2.8
Diagram blok fungsional D-STATCOM

Bentuk umum dari D-STATCOM terdiri dari suatu gabungan dua level VSC, suatu sumber DC dan trafo penggabungan yang dihubungkan secara *shunt* dengan sistem arus bolak-balik dan unit kontrol yang terhubung. Bentuknya dapat dirancang lebih canggih menggunakan *multipulse* atau konfigurasi *multilevel*.

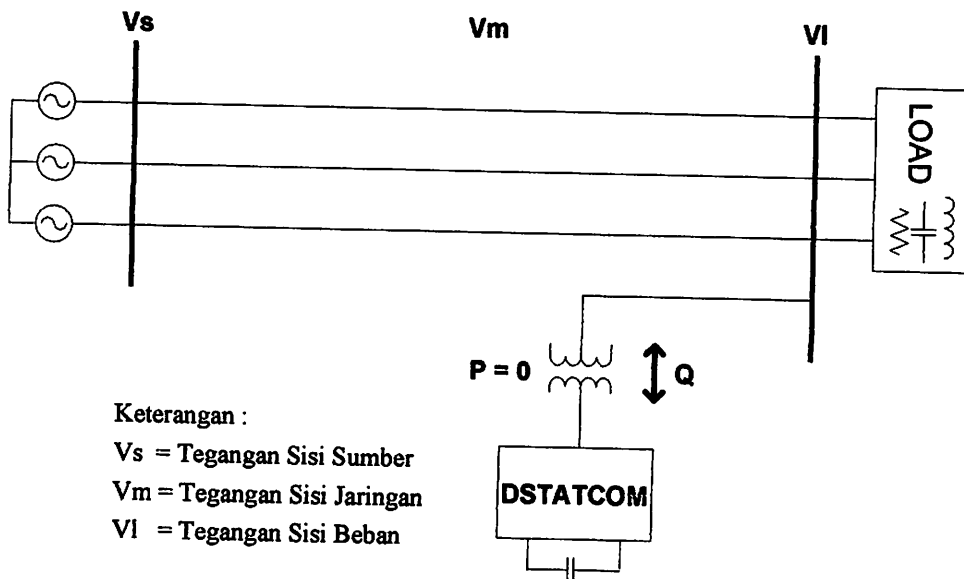
Komponen utama yang terdapat pada *distribution static compensator* (D-STATCOM) antara lain : Trafo Injeksi (*Injection/coupling transformer*), *voltage source converter* (VSC), *energy storage*, dan *control series*.

2.12 Prinsip Kerja D-STATCOM

Pengaturan daya reaktif oleh D-STATCOM dengan cara membandingkan besarnya tegangan terminal antara D-STATCOM dengan sistem. Apabila tegangan D-STATCOM bernilai lebih besar dari pada sistem, maka D-STATCOM akan menginjeksi daya reaktif ke sistem. Sementara apabila tegangan D-STATCOM bernilai lebih kecil dari pada sistem, maka D-STATCOM akan menyerap daya reaktif dari sistem. Dengan pengaturan ini D-STATCOM mampu untuk mengkompensasi jumlah daya reaktif yang ada pada sistem^[4].

Secara terstruktur dapat diamati pada gambar 2.9 menunjukkan diagram blok fungsional D-STATCOM, dimana VSC mengkonversi tegangan DC melewati peralatan sampai ke dalam satu keluaran arus bolak-balik tiga fasa. Tegangan ini digabungkan dengan sistem arus bolak-balik

melalui reaktansi trafo penggabung. Penyesuaian terhadap keluaran tegangan D-STATCOM memberikan kontrol yang efektif terhadap daya reaktif dan daya aktif dari D-STATCOM dan sistem arus bolak-balik. Secara umum *single line* blok diagram D-STATCOM dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9
Single line diagram implementasi D-STATCOM

Persamaan aliran daya pada sistem yang menggunakan D-STATCOM dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

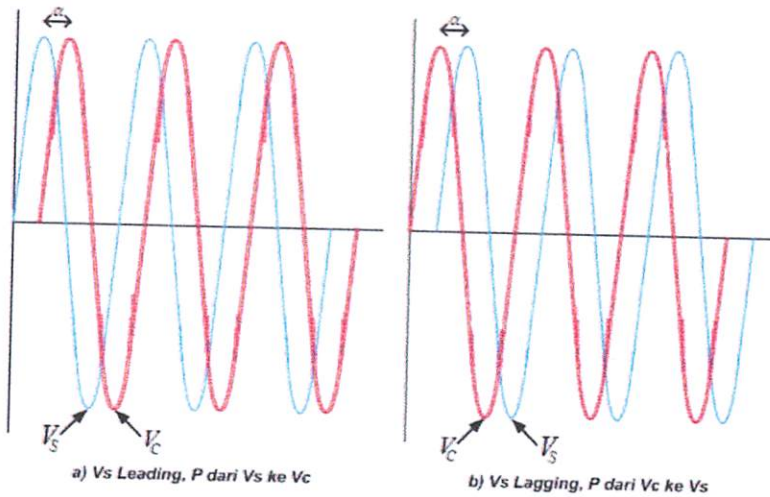
$$S = 3 \frac{V_s}{V_c} \sin \alpha - j3 \left(\frac{V_s V_c}{X_L} \cos \alpha - \frac{V_s^2}{X_L} \right) = P - jQ \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- | | |
|------------------------------|--|
| S = Daya Total (VA) | V_c = Tegangan Terminal D-STATCOM |
| P = Daya Aktif (Watt) | X_L = Reaktansi Kebocoran (kabel) = ωL |
| Q = Daya Reaktif (Var) | α = Beda Fasa Antara V_s dan V_c |
| V_s = Tegangan dari Sistem | |

Pada persamaan tersebut variasi α akan memengaruhi aliran daya aktif antara sistem dengan D-STACOM. Untuk menilai α tertinggal (*lagging*), maka daya aktif akan mengalir dari V_c ke V_s . Sementara untuk nilai α

mendahului (*leading*) maka daya aktif akan mengalir dari V_s ke V_c . Pada keadaan V_s memiliki fasa yang sama dengan V_c ($\alpha = 0$), maka daya aktif akan bernilai nol.



Gambar 2.10
Hubungan V_s dan V_c untuk pengiriman daya aktif

Nilai ($\alpha = 0$) akan didapatkan ketika sistem dalam keadaan stabil (*steady-state*). Dari sini kita mendapatkan persamaan untuk menentukan besarnya nilai daya reaktif yang bekerja :

$$Q = \frac{V_s}{X_L} (V_c - V_s) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dari persamaan di atas dapat kita lihat bahwa nilai daya reaktif yang ada pada sistem ditentukan dari besarnya nilai V_s , V_c , dan X_L . Ketika V_c bernilai lebih besar dari pada V_s , maka daya reaktif yang ada pada sistem akan bernilai positif. Hal ini mengindikasikan bahwa daya reaktif bersifat induktif. Sementara apabila nilai V_s bernilai lebih besar dari pada V_c , maka daya reaktif akan bernilai negatif yang menandakan sistem memiliki daya reaktif yang bersifat kapasitif.

2.13 Voltage Source Converter (VSC)

Voltage Source Converter adalah perangkat elektronik listrik, terdiri dari perangkat penyimpanan dan perangkat *switching* yang dapat

menghasilkan tegangan sinusoidal, frekuensi dan fase sudut yang diperlukan. Dalam aplikasi D-STATCOM, VSC digunakan untuk menggantikan tegangan atau menginjeksi tegangan yang hilang. *Converter* biasanya didasarkan pada beberapa jenis penyimpanan energi, yang akan memasok *converter* dengan tegangan DC. Elektronik *solid-state* dalam *converter* kemudian beralih untuk mendapatkan tegangan *output* yang diinginkan^[5].

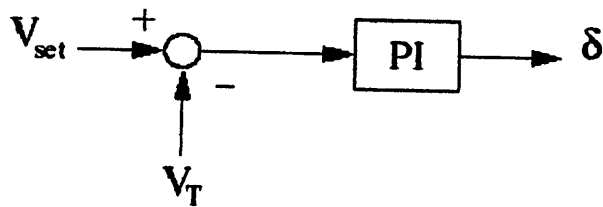
2.14 Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) Controller

Tujuan dari skema kontrol yaitu untuk mempertahankan besarnya tegangan yang konstan pada titik, dimana beban sensitif tersambung pada saat terjadi gangguan pada sistem. Sistem kontrol hanya mengukur tegangan efektif (V_{rms}) pada titik beban. *Switching* VSC yang berdasarkan pada teknik SPWM (*sinusoidal pulse width modulation*) yang lebih sederhana dan memberikan respon yang baik^[6]. Kontrol ini untuk menjaga tegangan yang konstan pada titik beban yang sensitif yang terhubung pada saat terjadi gangguan di dalam sistem. Sistem kontrol mengarah pada kontrol tegangan, beban RMS dan tegangan RMS terus dimonitoring dan dibandingkan dengan besarnya tegangan referensi yang akan menghasilkan sinyal kesalahan. Sinyal kesalahan tersebut akan diproses melalui kontroler PI yang akan menghasilkan sudut penundaan (δ) yang mengarahkan kesalahan tersebut ke nol. Dalam pembangkit SPWM, sinyal $V_{control}$ merupakan fasa yang dimodulasi oleh sudut penundaan (δ) yang dihasilkan oleh kontroler PI. Kontrol tegangan ini, $V_{control}$ dibandingkan dengan sinyal segitiga (*carrier signal*) dan menghasilkan sinyal *switching* yang diperlukan untuk VSC.

2.14 Proporsional Integral (PI) Controller

Kontroler PI merupakan gabungan fungsi dari kontroler Proporsional dan Integral. Penggabungan ini untuk menutupi kekurangan kontroler P yang relatif lambat responnya, sementara kontroler P digunakan untuk mempertahankan agar kontroler masih merespon meskipun untuk nilai selisih yang kecil. PI kontroler memiliki peningkatan kecepatan respon dan juga dapat menghilangkan *error steady state* yang menyesuaikan *input* proses

control. Aksi *control* proporsional memiliki keluaran yang sebanding dengan besarnya sinyal kesalahan. Sedangkan aksi *control* integral dapat menghasilkan *respon* sistem yang memiliki kesalahan (*error steady state* = 0).



Gambar 2.11
PI Controller

BAB III

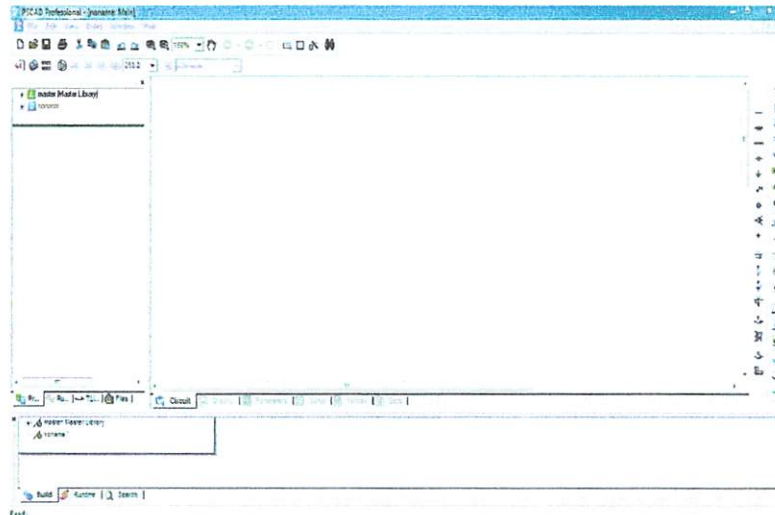
IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN *VOLTAGE SAG*

3.1. *Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation*

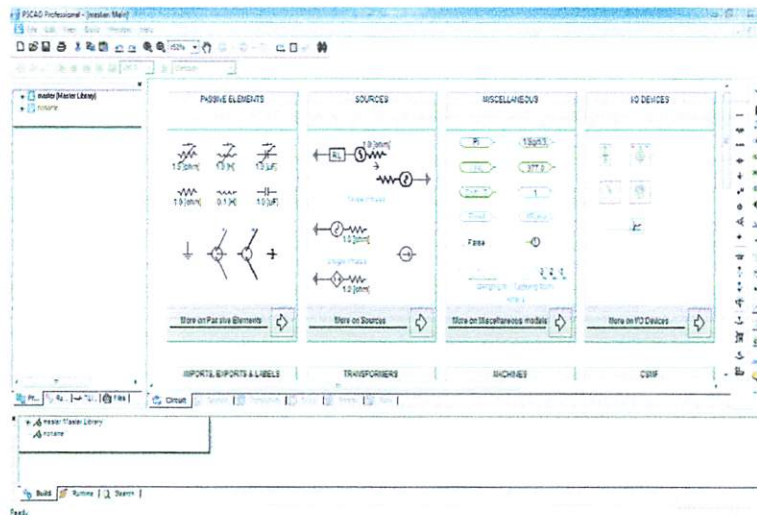
Software PSCAD/EMTDC (power system computer audit design) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. *Software PSCAD/EMTDC* memungkinkan pengguna menggambar mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah simulasi, analisa hasil dan manajemen data terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga tersedia, jadi pengguna dapat mengubah parameter sistem, menjalankan simulasi dan melihat hasil secara langsung.

Dibawah ini adalah model umum yang terdapat di dalam studi sistem menggunakan *software PSCAD/EMTDC* :

- *Resistors, inductors, capacitors.*
- *Mutually coupled windings, such as transformers.*
- *Frequency dependent transmission lines and cables (including the most accurate time domain line model in the world).*
- *Current and voltage sources.*
- *Switches and breakers.*
- *Protection and relaying.*
- *Diodes, thyristors, GTO, IGBT.*
- *Analog and digital control functions.*
- *AC and DC machines, exciters, governors, stabilizers and inertial models.*
- *Meters and measuring functions.*
- *Generic DC and AC controls.*
- *HVDC, SVC, and other FACTS controllers.*
- *Wind source, turbines and governor.*



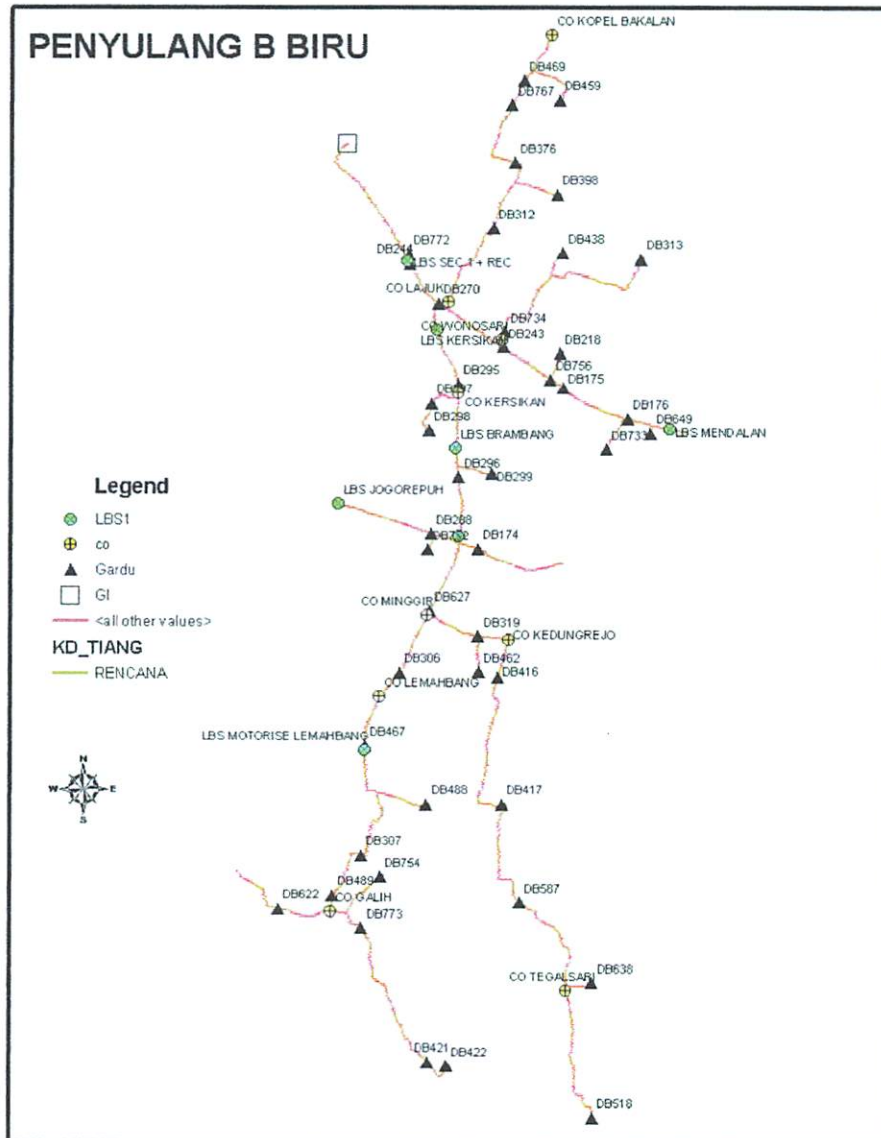
Gambar 3.1
Tampilan utama *software* PSCAD/EMTDC



Gambar 3.2
Tampilan *master library* pada *software* PSCAD/EMTDC

3.2. Sistem Jaringan 20 kV Penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan

Jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru adalah salah satu penyulang yang ada di G.I Gondang Wetan Pasuruan. Wilayah jangkauan penyulang Banyu Biru yaitu dari wilayah Gondang Wetan sampai daerah desa Sibon. Gambar 3.3 adalah *single diagram* jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan.

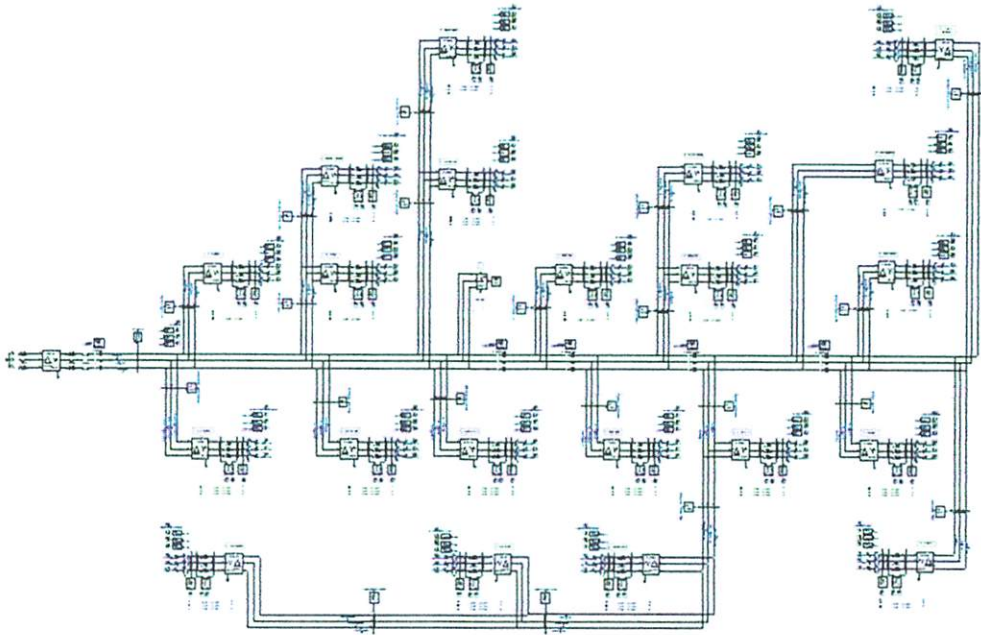


Gambar 3.3

Single Diagram jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan.

Gambar 3.3 menunjukkan sistem jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan., yang terdiri dari satu trafo penyulang dengan tegangan primer dan sekunder 150 kV/20kV, dan terdapat 45 trafo distribusi dengan tegangan primer dan sekunder 20 kV/380V yang di hubungkan secara paralel pada trafo penyulang. Karena terbatasnya *node* pada *software* PSCAD/EMTDC yang berjumlah maksimal 200 *nodes*, maka dilakukan penjumlahan kapasitas dan beban trafo dari 45 trafo menjadi 21 trafo. Gambar 3.4 menunjukkan *single*

line diagram 21 trafo distribusi jaringan 20 kV Penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan yang telah digambar pada *software* PSCAD/EMTDC



Gambar 3.4

Single line diagram 21 trafo distribusi sistem jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan pada *Software* PSCAD/EMTDC

Tabel 3.1 Data Trafo Pada Penyulang Banyu Biru

No	Nama Trafo	Kapasitas	Beban
		kVA	Watt
1	Gondang Wetan	200	35.2114
2	Gayam	200	1.20853
3	Lajuk	360	150.604
4	Karang Pandan	360	88.2263
5	Wonosari	360	131.086
6	Pateguhan	260	60.2682
7	Wonojati	200	59.7406
8	Tenggilis	420	165.243
9	Kersikan	300	77.4123
10	Brambang	200	51.3005
11	Bayeman	300	41.8052
12	Jogo Repuh	250	64.8839
13	Tambak Rejo	150	13.5834
14	Minggir	210	45.8935
15	Kedung Rejo	150	43.3878
16	Tegal Sari	200	42.8603

17	Lemahbang	200	83.7424
18	Klakah	150	39.8271
19	Kebon Candi	150	52.6192
20	Sibon	300	97.9852
21	Sibon Selatan	200	58.9494

Tabel 3.2 Data report gangguan penyulang Bayu Biru

JURNAL GANGGUAN								PENYULANG	GARDU INDUK	CUACA	PENYEBAB < PENYEBAB HARUS DI ISI DENGAN JELAS atau TIDAK DIKETAHUI >
TANGGAL	JAM				TEMPORER/ PERMANEN	RELE KERJA	KV - NOL				
	LEPAS	PMT MASUK	MASUK TOTAL	LAMA PADAM							
15-01-2014	16:26	16:26	16:26	0	Temporer	DGR	20	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat jumperan in co lost kontak di co lajuk arah kersikan phasa RS
10-02-2014	15:50	15:50	15:50	0	Temporer	OCR Instan	7	Banyu Biru	Gondang Wetan	Angin	Terdapat benang layang - layang pada saluran GTT Sibon
05-03-2014	13:31	13:31	13:31	0	Temporer	OCR Instan	5	Banyu biru	Gondang Wetan	Angin	Terdapat pohon Lamtoro tumbang ke jaringan di desa Tenggilis GTT 312 dan benang layang - layang nempel ke jaringan sebelum LBS Kersikan
17-03-2014	15:12	15:12	15:12	0	Temporer	OCR & DGR	18	Banyu Biru	Gondang Wetan	Hujan Angin Petir	Tidak diketemukan
01-04-2014	12:46	12:46	12:46	0	Temporer	DGR	20	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat pin isolator flash over phasa S di ds. Ranggeh GTT 244 D2 dan LBS Brambang flash over phasa S
03-06-2014	02:38	06:36	07:06	268	Permanen	DGR	12	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat arrester trafo tembus phasa RT di GTT 438 ds. Rojogunting
04-06-2014	17:07	17:58	20:28	201	Permanen	DGR	14	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat arester rusak di GTT.421 Ds galih (arrester type lama keramik)
11-06-2014	12:24	12:41	14:16	112	Permanen	OCR	0	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat 1 tiang TM patah tertimpa pohon randu dan trek skur putus di ds. Sibon pesaan GTT. 307 B1
24-06-2014	14:40	15:26	17:37	177	Permanen	OCR Instan	0	Banyu Biru	Gondang Wetan	Angin	Terdapat jumperan co branch arah kersikan lost kontak phasa ST di ds kersikan
07-08-2014	15:16	15:31	15:45	29	Permanen	OCR Instan	0	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat pohon sengon roboh ke jaringan SUTM di TM GTT Wonojati
25-09-2014	10:59	11:35	12:44	36	Permanen	OCR		Banyu biru	Gondang Wetan	Angin Kencang	Tidak ditemukan

3.3. Metode Pengendalian D-STATCOM

Pada dasarnya, metode pengendalian D-STATCOM bertindak sebagai pengatur tegangan terminal D-STATCOM untuk menyesuaikan kondisi tegangan pada sisi jaringan. Dengan demikian, D-STATCOM akan mampu melakukan proses pengendalian daya reaktif pada sistem secara tepat.

Dalam menentukan pengendalian D-STATCOM terdapat beberapa faktor yang menjadi pertimbangan. Hal ini terkait dengan konfigurasi rangkaian dan kebutuhan operasi D-STATCOM. Faktor – faktor tersebut terdiri dari tipe aplikasi, konfigurasi sistem, kebutuhan operasi kerja, dan optimasi kerugian. Dengan demikian faktor – faktor tersebut akan mempengaruhi perancangan metode pengendalian D-STATCOM, sehingga memungkinkan banyak metode pengendalian pada D-STATCOM. Salah satu metode tersebut adalah metode *pulse width modulation* (PWM) yaitu metode yang digunakan dalam studi ini untuk pengendalian kerja *converter*.

Pada pengendalian D-STATCOM dengan metode PWM, parameter utama untuk mengendalikan tegangan D-STATCOM adalah sudut fasa (α) dan indeks modulasi (m). metode ini akan mengatur nilai tegangan AC pada terminal D-STATCOM.

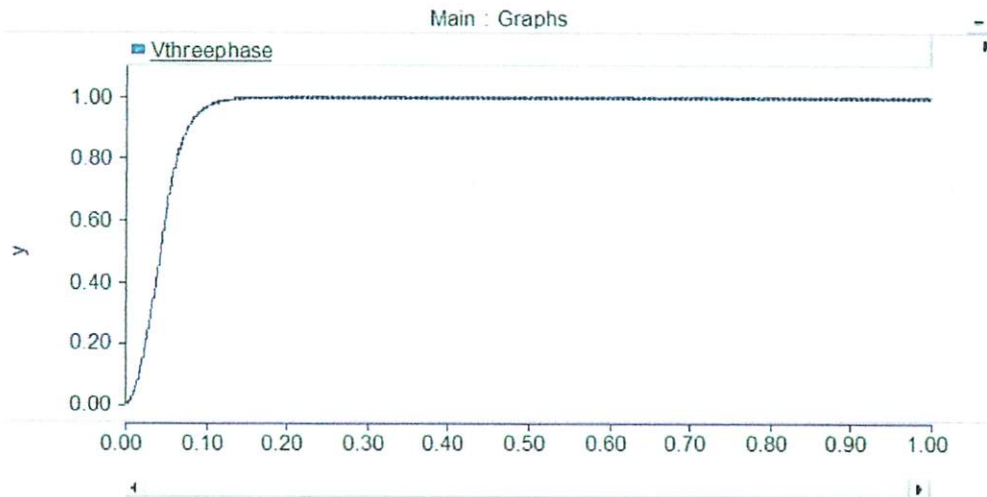
3.4. Mekanisme Pengendalian Daya Reaktif Terhadap Perbaikan Tegangan Akibat Gangguan *Voltage Sag*

Pada umumnya daya reaktif memiliki hubungan yang erat terhadap tegangan.. Implementasi D-STATCOM untuk perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag* dapat berfungsi sebagai kontrol perbaikan tegangan. Kontrol yang diberikan D-STATCOM untuk meningkatkan perbaikan tegangan yaitu melalui pengendalian daya reaktif.

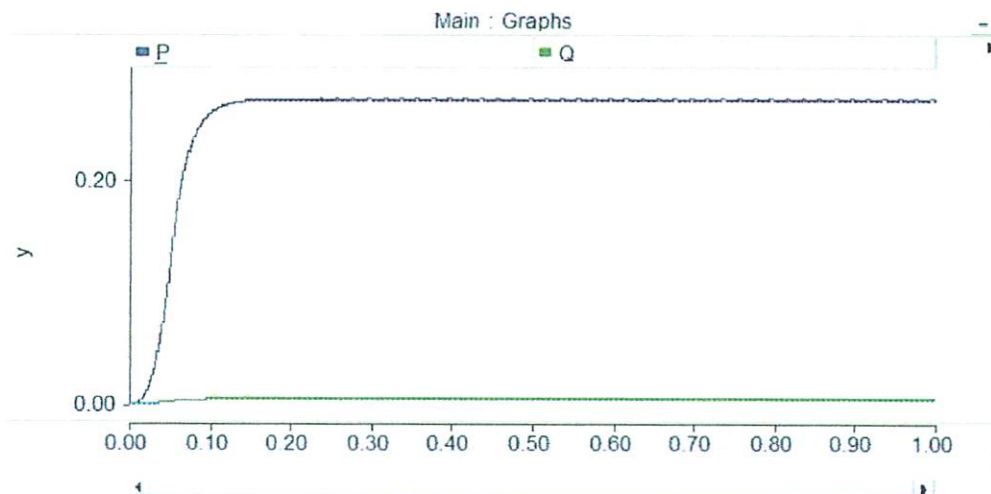
Pengendalian daya reaktif ke sistem akan memberikan pengaruh terhadap $\cos \phi$ dan tegangan sistem yang mengarah pada perbaikan profil tegangan akibat gangguan *voltage sag*. Oleh karena itu, dengan meningkatkan nilai $\cos \phi$ untuk stabilitas tegangan sistem melalui pengendalian daya reaktif, maka tegangan akan tetap berada pada *range* yang diijinkan ($0,95 pu - 1,05 pu$).

3.5. Alur Perbaikan Tegangan Akibat Gangguan *Voltage Sag*

Jika diketahui kondisi normal (tidak ada gangguan) pada beban total 1.500.477,44 VA dan tegangan sebesar 0,99 pu, maka profil tegangan seperti gambar berikut.

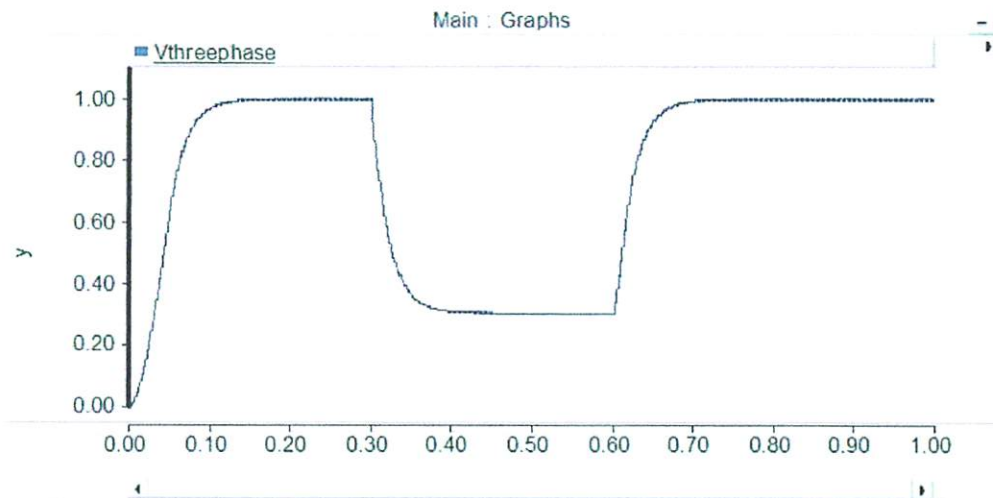


Gambar 3.5
Grafik profil tegangan dalam kondisi normal

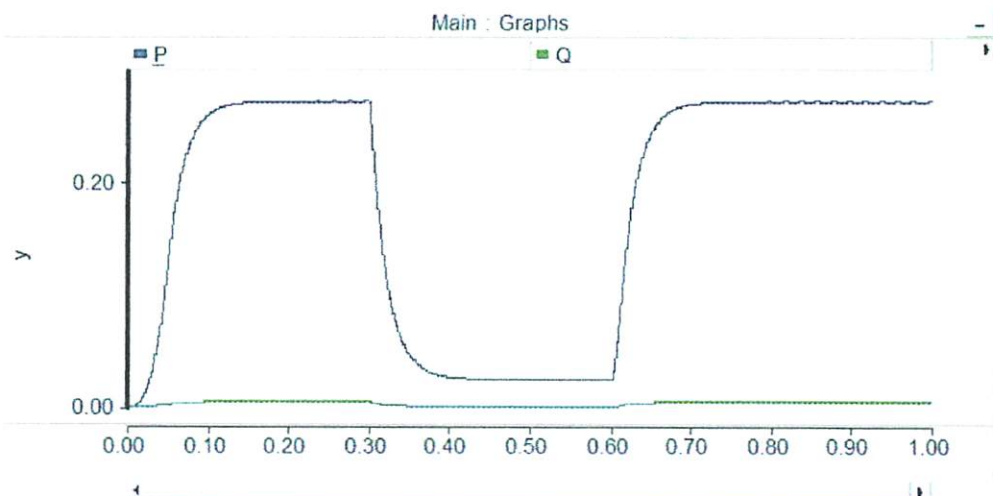


Gambar 3.6
Grafik Profil daya nyata dan daya reaktif dalam kondisi normal

Jika diketahui kondisi *up* normal (adanya gangguan hubung singkat 3 fasa) pada beban total 1.500.477,44 VA dan tegangan sebesar 0,29 pu pada durasi 0,3 detik sampai 0,6 detik seperti gambar dibawah ini



Gambar 3.7
Grafik profil tegangan dalam kondisi gangguan 3 fasa

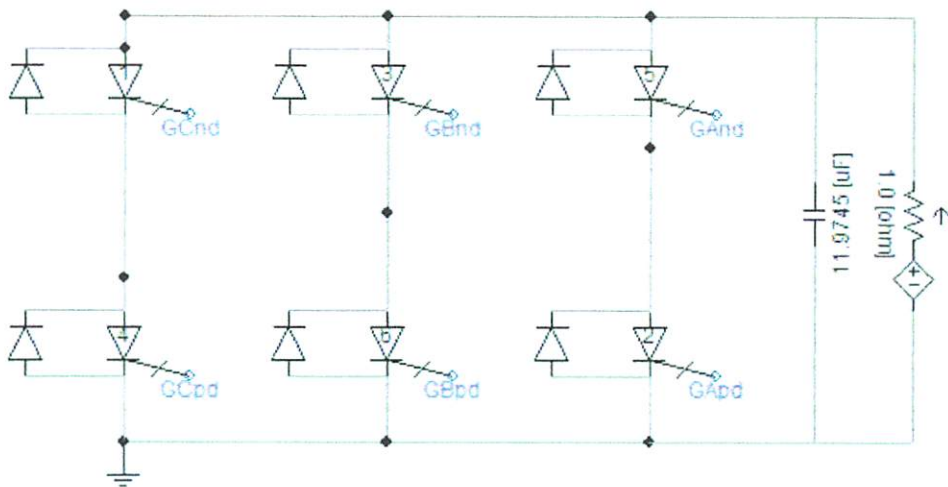


Gambar 3.8
Grafik profil daya nyata dan daya reaktif dalam kondisi gangguan 3 fasa

3.6. Voltage Source Converter (VSC)

Voltage source converter adalah sistem elektronik daya yang terdiri dari perangkat *switching* seperti : *metal oxide semiconductor field effect transistor* (MOSFET), *gate turn off thyristors* (GTO), *insulated gate bipolar transistors* (IGBT), dan *integrated gate commutated thyristors* (IGCT), dimana semua dapat menghasilkan tegangan sinusoidal pada frekuensi, magnitude, dan sudut fasa yang diperlukan. Biasanya *voltage source converter* tidak hanya digunakan untuk mitigasi *voltage sag*, tetapi juga untuk masalah kualitas daya lainnya, misalnya *flicker* dan harmonisa.

Untuk skripsi ini menggunakan *voltage source converter* (VSC) dengan perangkat *switching* yaitu *gate turn off thyristors* (GTO). Fungsi dasar dari VSC adalah untuk mengkonversi tegangan searah (DC) yang dihasilkan oleh piranti penyimpan energi (*energy storage device*) menjadi tegangan arus bolak-balik (AC) yang dibutuhkan oleh *injection/coupling* transformator untuk mengkompensasi tegangan pada saat terjadinya *voltage sag*.



Gambar 3.9
Rangkaian VSC pada D-STATCOM

3.7. *Pulse Wide Modulation* (PWM)

Pada pemodelan VSC yang berbasis PWM ini, dimana VSC terdiri dari komponen diode dengan GTO yang dirangkai secara *shunt*, akan dibangkitkan oleh sinyal PWM untuk mensaklar *gate signal* pada rangkaian VSC tersebut yang terhubung dengan sumber DC dan *capasitor*, mengingat D-STATCOM sebagai control tegangan dari proses pengendalian daya reaktif. Model VSC terdiri dari enam *pulse* GTO dan dioda (*shunt*) dengan sumber DC dan kapasitor yang telah ditentukan sebesar 11,9745 μF untuk menginjeksi daya reaktif agar tegangan menjadi normal dalam bats tegangan yang diijinkan. Besarnya sumber kapasitor untuk memperbaiki tegangan dapat direpresentasikan sebagai berikut :

Nilai *Capasitor* :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : Daya Aktif} &= 1.485.472,666 \text{ Watt} \\ \text{Daya Aktif} &= 1.500.477,44 \text{ VA} \\ \text{Frekuensi} &= 50 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Maka :

$$P = S \cdot \cos \theta \rightarrow \cos \theta = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\cos \theta = \frac{1.485.472,666 \text{ Watt}}{1.500.477,44 \text{ kVA}} = 0,99 \rightarrow \theta = 0,85$$

$$Q = S \cdot \sin \theta \dots \dots \dots (3.2)$$

$$Q = 1.500.477,44 \text{ VA} \times \sin 0,85 = 22.259,214 \text{ VAr}$$

$$S = V \times I \dots \dots \dots (3.3)$$

$$I = \frac{V}{X_c} \rightarrow X_c = \frac{1}{2\pi f C} \dots \dots \dots (3.4)$$

Dari substitusi persamaan 3.11 dan 3.12, maka didapatkan persamaan

$$S = V \times I \dots \dots \dots (3.5)$$

Dari substitusi persamaan 3.12 dan 3.13, maka didapatkan persamaan

$$Q = V \times \frac{V}{X_c} \sin \theta \dots \dots \dots (3.6)$$

Karena $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$ maka :

$$Q = V^2 \cdot \sin \theta \times 2\pi f C \dots \dots \dots (3.7)$$

Sehingga untuk menentukan besarnya kapasitor sebagai pengendalian kebutuhan daya reaktif sistem, dapat direpresentasikan melalui persamaan berikut:

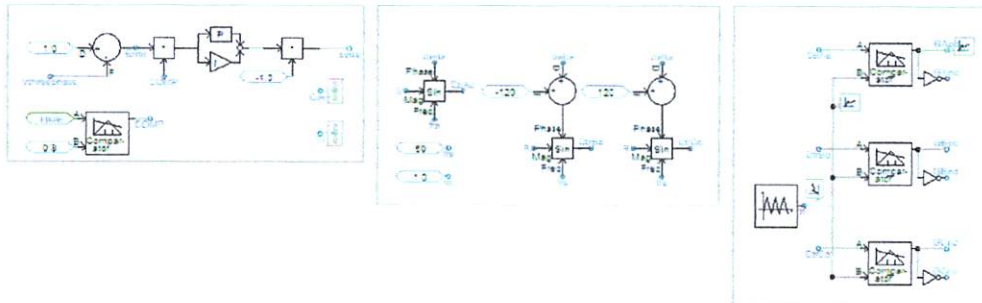
$$C = \frac{Q}{V^2 \cdot \sin \theta \times 2\pi f} \dots \dots \dots (3.8)$$

Jika tegangan terminal sistem 380 Volt, maka :

$$C = \frac{22.259,214}{20^2 \times \sin 0,85 \times 2 \times 3,14 \times 50} = 11,9745 \mu F$$

Hasil dari perhitungan diatas menyatakan bahwa besarnya *capasitor* pada D-STATCOM yang disediakan untuk menginjeksi daya reaktif agar dapat memperbaiki tegangan akibat gangguan *voltage sag* untuk total beban sebesar 1.485.472,666 Watt adalah 11,9745 μF .

Tegangan DC dan kapasitor yang diperlukan sistem tersebut akan dikontrol melalui kontrol D-STATCOM yang kemudian menginjeksikan arus dan tegangan tiga fasa dari konverter ke sistem tiga fasa. Pemodelan tersebut ditunjukkan pada gambar 3.8 dibawah ini.



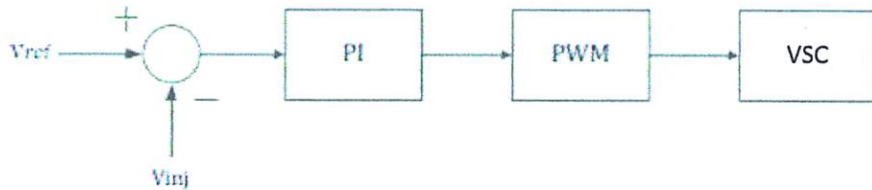
Gambar 3.10
Rangkaian modulasi lebar pulsa pada VSC

Integer Constan 1.0 adalah *integer* referensi untuk PWM dari kontrol D-STATCOM, sedangkan *Vthreephase* adalah sinyal *feed back* dari tegangan terminal sistem tiga fasa yang menjadi tegangan referensi input pada kontrol D-STATCOM. Kemudian sinyal – sinyal tersebut dilewatkan kontrol PI (*Propotional Integral*) untuk dipertahankan tegangan yang diperlukan oleh sistem tiga fasa sebelum melewati rangkaian *converter*. Setelah melewati kontrol PI sinyal akan dibandingkan oleh komparator yang selanjutnya digunakan untuk mensaklar enam *pulse* pada komponen VSC.

3.8. Kontrol Pengendali Proposional Integral (PI)

Tujuan dari sistem kontrol ialah untuk memelihara konstanta magnitud tegangan pada titik dimana beban sensitif terhubung, pada sistem yang terganggu. Sistem kontrol konfigurasi umum biasanya terdiri dari metode koreksi tegangan yang menentukan tegangan referensi yang harus diinjeksikan oleh D-STATCOM dan kontrol VSI dimana dalam proses ini terdiri dari PWM dengan pengendali PI. Masukan pengendali adalah sebuah sinyal *error* yang diberikan oleh tegangan referensi dan nilai dari tegangan yang terinjeksi. Kesalahan tersebut diproses oleh pengendali PI lalu *output* disediakan untuk PWM sinyal generator yang

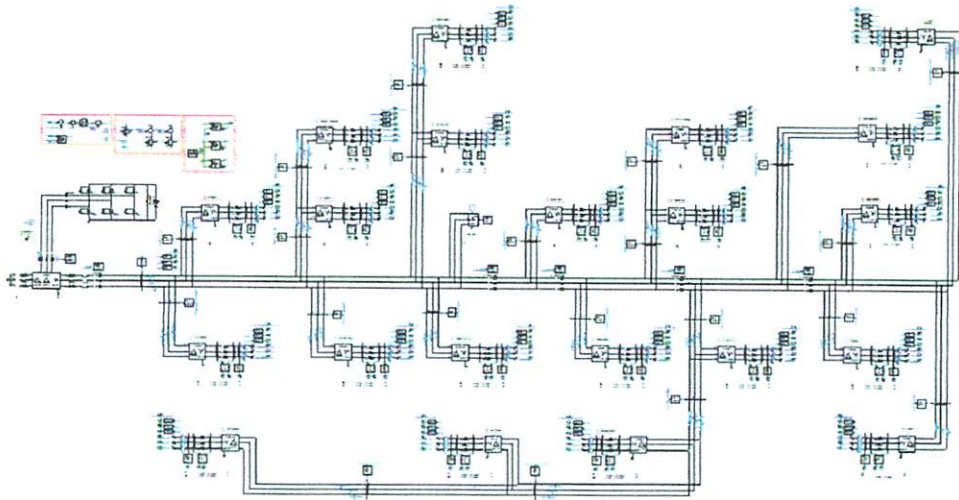
mengontrol *inverter* D-STATCOM untuk menghasilkan tegangan yang diperlukan



Gambar 3.11
Dasar pengendali PI

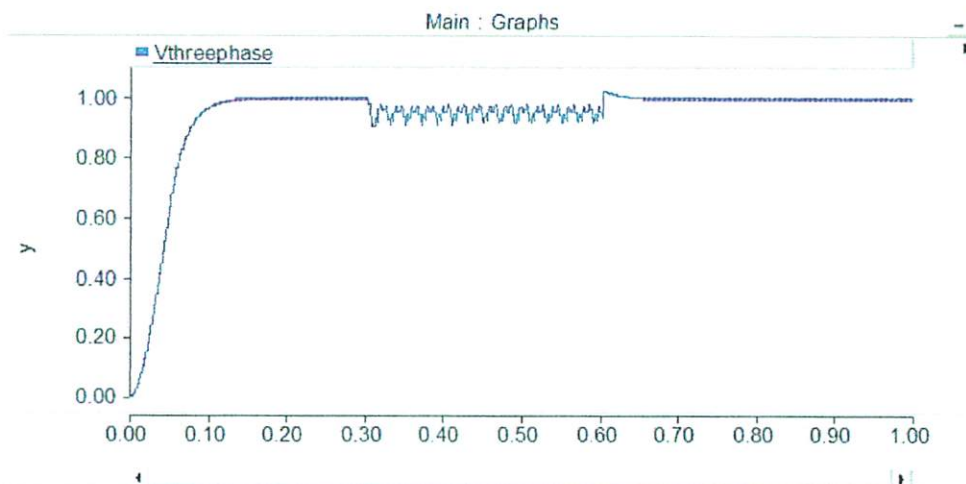
3.9. Implementasi D-STATCOM Pada Jaringan 20 kV Penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan

Implementasi D-STATCOM terhubung secara *shunt* dengan jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan.. Implementasi D-STATCOM berperan sebagai kontrol tegangan melalui injeksi daya reaktif untuk stabilitas tegangan yang mengarah pada perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag*. Implementasi D-STATCOM pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan. dapat digambarkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.12

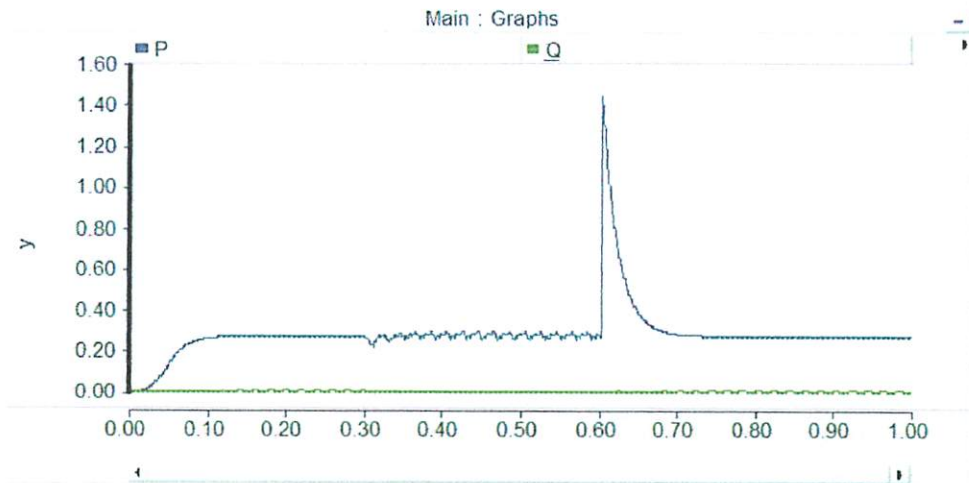
Single Line Diagram jaringan tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan setelah implementasi D-STATCOM



Gambar 3.13

Grafik profil tegangan saat terjadi gangguan *voltage sag* setelah implementasi D-STATCOM

Pada gambar 3.14 Terlihat bahwa D-STATCOM telah memperbaiki tegangan menjadi 0,97 pu, dimana D-STATCOM memperbaiki tegangan pada durasi 0,31 detik sampai 0,6 detik.

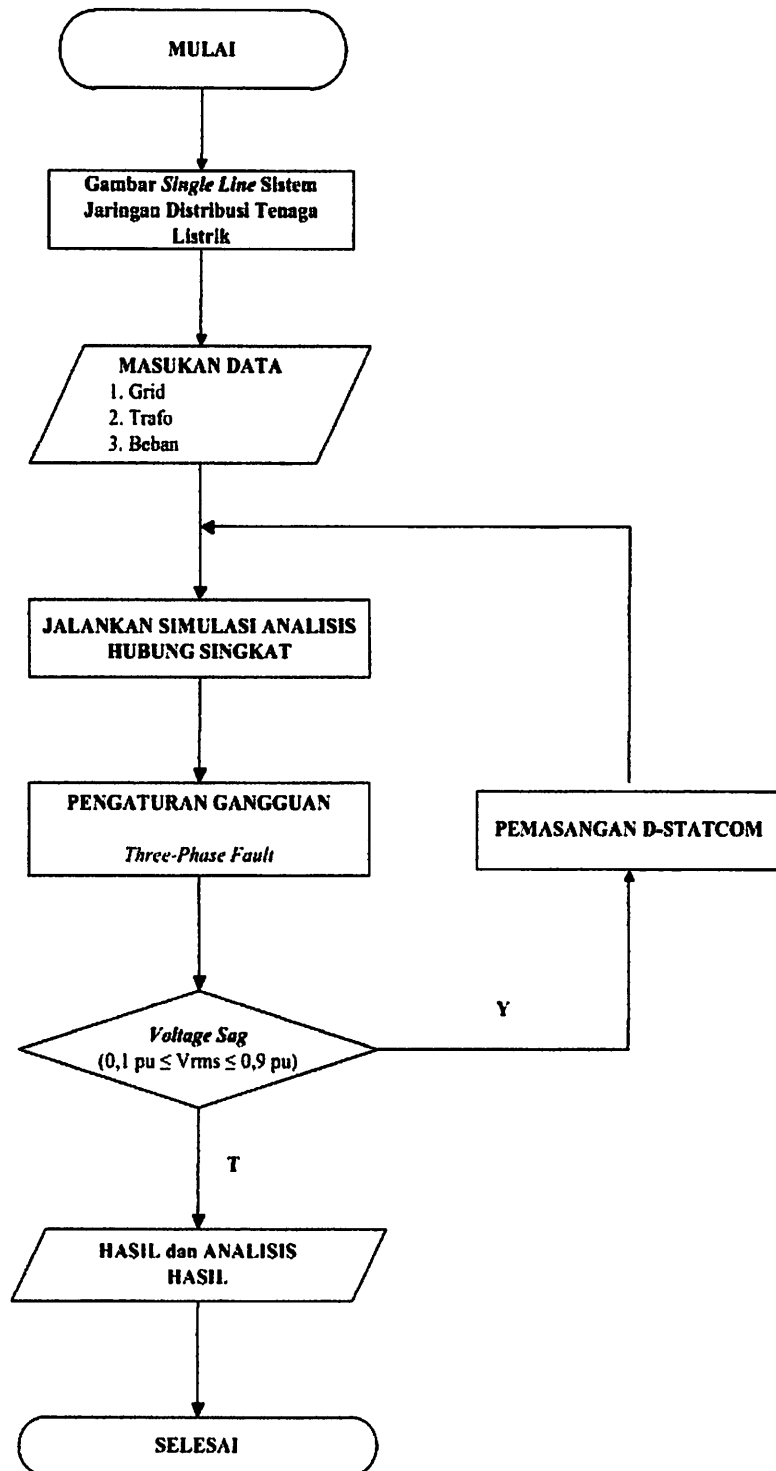


Gambar 3.14

Grafik profil daya nyata (P) dan daya reaktif (Q) saat terjadi gangguan *voltage sag* setelah implementasi D-STATCOM

3.10. Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD/EMTDC

3.10.1 Flowchart Penyelesaian Masalah



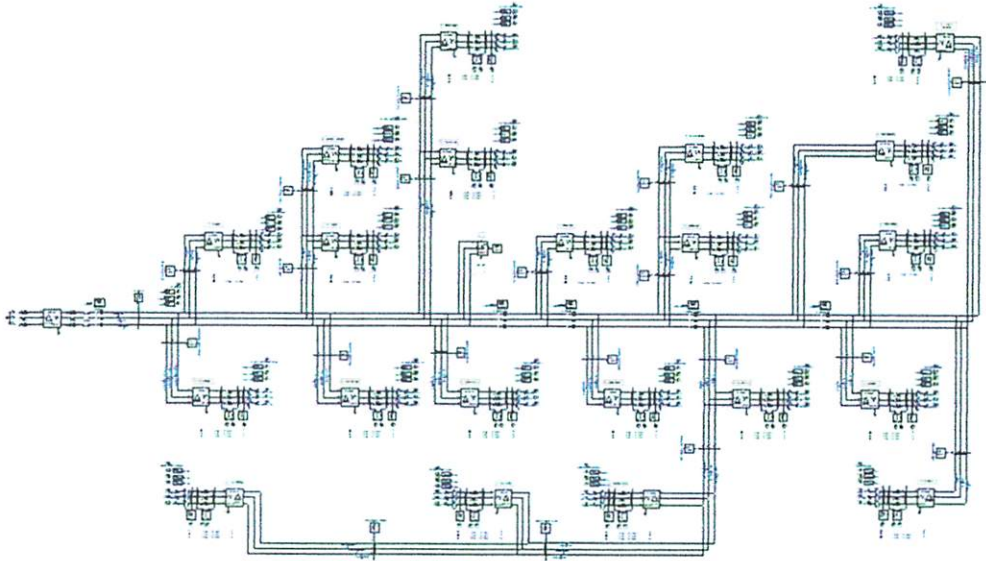
Gambar 3.15
Flowchart penyelesaian masalah

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS HASIL

4.1 Jaringan 20 kV Penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan

Pada simulasi akan dilakukan pengambilan data dengan perbandingan saat menggunakan D-STATCOM dan tanpa menggunakan D-STATCOM. Setelah itu hasil perbaikan tegangan akan dianalisa dan dapat dilihat seberapa besar kemampuan D-STATCOM dalam meningkatkan perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag*. Untuk mensimulasikan sistem dalam *software* PSCAD/EMTDC *Power Simulation* maka terlebih dahulu digambarkan *single line diagram* sistem jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan. Kemudian mensimulasikan sesuai dengan langkah kerja dan menganalisa hasilnya. Berikut *single line diagram* sistem jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan yang digambarkan menggunakan *software* PSCAD/EMTDC *Power Simulation*.



Gambar 4.1
Single line sistem tenaga listrik
di jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru dalam *software* PSCAD

4.2 Data Sistem Distribusi Penyulang Banyu Biru

Sebelum melakukan analisa hasil sangat diperlukannya data-data yang berasal dari hasil penelitian lapangan, setelah semua data tercukupi maka selanjutnya melakukan pengisian data pada rangkaian *single line* yang selesai digambarkan, berikut ini untuk data penyulang Banyu Biru

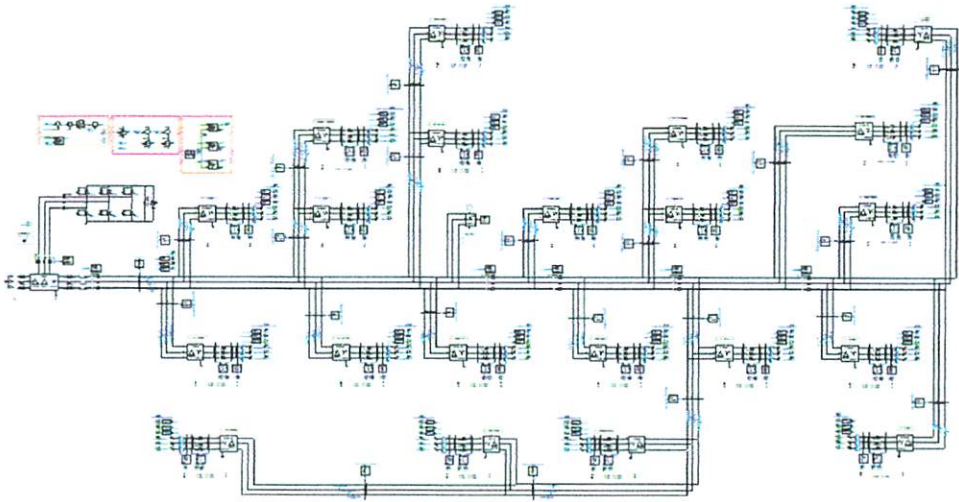
Tabel 4.1 Data trafo distribusi penyulang Banyu Biru

No	Nama Trafo	Kapasitas	Beban
		kVA	Watt
1	Gondang Wetan	200	35.2114
2	Gayam	200	1.20853
3	Lajuk	360	150.604
4	Karang Pandan	360	88.2263
5	Wonosari	360	131.086
6	Pateguhan	260	60.2682
7	Wonojati	200	59.7406
8	Tenggilis	420	165.243
9	Kersikan	300	77.4123
10	Brambang	200	51.3005
11	Bayeman	300	41.8052
12	Jogo Repuh	250	64.8839
13	Tambak Rejo	150	13.5834
14	Minggir	210	45.8935
15	Kedung Rejo	150	43.3878
16	Tegal Sari	200	42.8603
17	Lemahbang	200	83.7424
18	Klakah	150	39.8271
19	Kebon Candi	150	52.6192
20	Sibon	300	97.9852
21	Sibon Selatan	200	58.9494

4.3 Solusi Perbaikan Tegangan Akibat Gangguan *Voltage Sag*

Software PSCAD/EMTDC Power Simulation merupakan *graphical user interface* yang fleksibel dan *powerful*. Dengan *software* ini secara skematik kita dapat mengkonstruksi rangkaian, menjalankan simulasi, menganalisa hasil dan manajemen data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk kontrol dan alat-alat ukur. Dengan demikian permasalahan yang ada pada jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan menggunakan *software PSCAD/EMTDC*.

4.4 Single Line Diagram Dengan Implementasi D-STATCOM

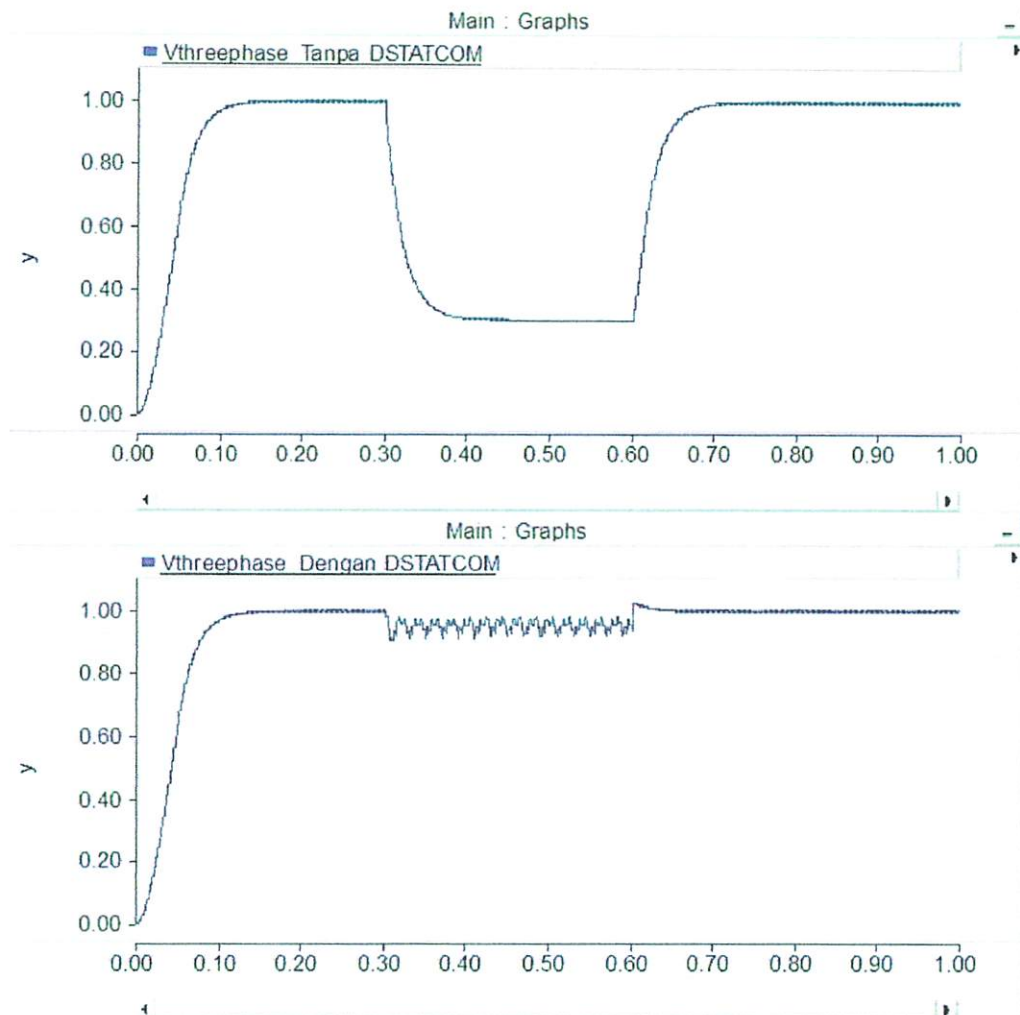


Gambar 4.2

Single line sistem tenaga listrik sesudah implementasi di jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru dalam software PSCAD

Pada gambar diatas menjelaskan bahwa *Distribution Static Compensator* (D-STATCOM) pemasangannya dihubungkan secara *shunt* pada jaringan sistem distribusi, dan untuk skripsi ini penempatan lokasi gangguannya ditentukan/ditempatkan pada bagian tengah jaringan sistem distribusi karena menyesuaikan dengan data gangguan. Letak gangguan berada pada wilayah LBS Kersikan, dimana profil tegangan sebesar 0,29 pu

4.5 Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah Implementasi D-STATCOM



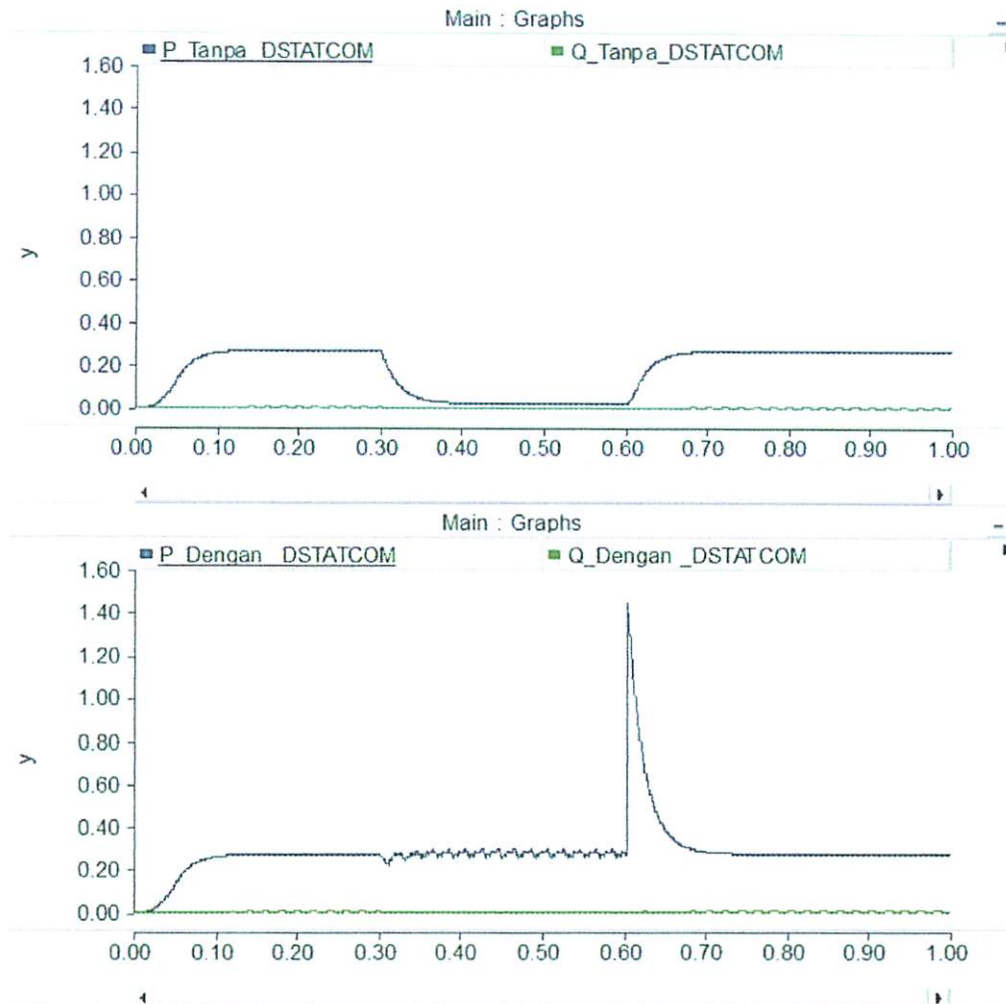
Gambar 4.3

Grafik profil tegangan pada saat gangguan *voltage sag* sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM

Gambar 4.2 menerangkan profil tegangan saat terjadi *voltage sag* di jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan. Terlihat pada grafik diatas profil tegangan saat terjadi gangguan *voltage sag* akibat hubung singkat 3 fasa sebesar 0,29 pu dalam durasi waktu 0,3 detik sampai 0,6 detik, sedangkan pada grafik paling bawah menerangkan saat terjadi gangguan *voltage sag* akibat hubung singkat 3 fasa dengan implemetasi D-STATCOM, profil tegangan naik menjadi 0,97 pu pada durasi 0,31 detik sampai 0,6 detik.

Tabel 4.2 Hasil perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag* sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM

No	Nama Trafo	Tanpa D-STATCOM	Dengan D-STATCOM
		Tegangan RMS (pu)	
1	Gondang Wetan	0.291337643	0.974545781
2	Gayam	0.291337643	0.974545781
3	Lajuk	0.291337643	0.974545781
4	Karang Pandan	0.291337643	0.974545781
5	Wonosari	0.291337643	0.974545781
6	Pateguhan	0.291337643	0.974545781
7	Wonojati	0.291337643	0.974545781
8	Tenggilis	0.291337643	0.974545781
9	Kersikan	0.291298406	0.974232501
10	Brambang	0.291266644	0.973949165
11	Bayeman	0.291266644	0.973949165
12	Jogo Repuh	0.291266644	0.973949165
13	Tambak Rejo	0.292477858	0.973726204
14	Minggir	0.292477858	0.973726204
15	Kedung Rejo	0.292477858	0.973726204
16	Tegal Sari	0.292477858	0.973726204
17	Lemahbang	0.292477858	0.973726204
18	Klakah	0.292477858	0.973632104
19	Kebon Candi	0.292477858	0.973632104
20	Sibon	0.292379723	0.971220839
21	Sibon Selatan	0.292379723	0.973632104



Gambar 4.4

Grafik profil daya pada saat gangguan *voltage sag* sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM

Gambar 4.4 menerangkan profil tegangan saat terjadi *voltage sag* di jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan. Terlihat pada grafik berwarna biru tersebut adalah profil daya nyata (P) dan grafik berwarna hijau adalah profil daya reaktif (Q) paling atas menerangkan pada saat gangguan *voltage sag* akibat hubung singkat 3 fasa dalam durasi waktu 0,3 detik sampai 0,6 detik, sedangkan pada grafik berwarna biru adalah profil daya nyata (P) dan grafik berwarna hijau adalah profil daya reaktif (Q) paling bawah menerangkan pada saat gangguan *voltage sag* akibat hubung singkat 3 fasa dengan implementasi D-STATCOM pada durasi 0,31 detik sampai 0,6 detik.

Tabel 4.3 Hasil profil daya akibat gangguan *voltage sag* sebelum dan sesudah implementasi D-STATCOM

No	Nama Trafo	Tanpa D-STATCOM		Dengan D-STATCOM	
		P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)
1	Gondang Wetan	10.19759	0.152449	34.14439	0.510441
2	Gayam	0.350004	0.350004	1.171912	1.171912
3	Lajuk	43.61665	0.652047	146.0408	2.183236
4	Karang Pandan	25.55126	0.381978	85.55279	1.278971
5	Wonosari	37.96405	0.567543	127.1143	1.900295
6	Pateguhan	17.45432	0.260933	58.44189	0.873677
7	Wonojati	17.30152	0.258649	57.93036	0.866031
8	Tenggilis	47.85609	0.715424	160.2356	2.395442
9	Kersikan	22.41941	0.335159	75.06652	1.122206
10	Brambang	14.85716	0.222107	49.74594	0.743677
11	Bayeman	12.10725	0.180997	40.53847	0.606033
12	Jogo Repuh	18.79106	0.280917	62.91775	0.940589
13	Tambak Rejo	3.933901	0.058814	13.17183	0.196912
14	Minggir	13.29124	0.198697	44.50282	0.665294
15	Kedung Rejo	12.56557	0.187849	42.07305	0.628971
16	Tegal Sari	12.41279	0.185565	41.56152	0.621324
17	Lemahbang	24.25269	0.362565	81.20482	1.213971
18	Klakah	11.53435	0.172433	38.62024	0.577353
19	Kebon Candi	15.23909	0.227817	51.02476	0.762794
20	Sibon	28.37756	0.424231	95.01603	1.420442
21	Sibon Selatan	17.07236	0.255223	57.16308	0.854559

4.6 Analisa Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag* akibat hubung singkat 3 fasa pada jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan sebesar 0.29 pu pada durasi 0,3 detik sampai 0,6 detik, dan setelah implementasi D-STATCOM, profil tegangan naik menjadi 0.97 pu pada durasi 0,31 sampai 0,6 detik. Berdasarkan hasil *survey*, pada intinya permasalahan yang diangkat pada skripsi ini adalah perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag*. Permasalahan tersebut adalah permasalahan yang sesuai dengan jaringan 20 kV Penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan, yaitu seperti yang sudah dijelaskan dari hasil simulasi pada sub pokok pembahasan sebelumnya, baik sebelum maupun sesudah implementasi D-STATCOM. Adapun optimasi yang diberikan dari peningkatan tersebut dapat direpresentasikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Optimasi perbaikan kualitas tegangan} &= V_{\text{Dengan D-STATCOM}} - V_{\text{Tanpa D-STATCOM}} \\
 &= 0,97 \text{ pu} - 0,29 \text{ pu} \\
 &= 0,68 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

Oleh karena itu, D-STATCOM efektif dan optimal untuk meningkatkan stabilitas tegangan yang mengarah pada perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag*. Sedangkan prosentase perbaikan tegangan secara keseluruhan dapat direpresentasikan sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 &\textit{Prosentase perbaikan tegangan} \\
 &= \frac{V_{\text{dengan D-STATCOM}} - V_{\text{tanpa D-STATCOM}}}{V_{\text{dengan D-STATCOM}}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,97 - 0,29}{0,97} \times 100 \% = 70,1 \%
 \end{aligned}$$

Terlihat bahwa pada hasil diatas D-STATCOM secara keseluruhan memberikan perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag*. Dengan implementasi D-STATCOM merupakan salah satu alternatif yang lebih fleksible untuk perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag* pada jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan sebagai penyedia listrik kepada konsumennya, dimana hal tersebut merupakan salah satu harapannya untuk diwujudkan.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pengaruh pemasangan D-STATCOM (*distribution static compensator*) pada sistem jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan, untuk perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag* dengan menggunakan bantuan *software* PSCAD /EMTDC V 4.2 *Power System Simulation*, maka dapat diambil kesimpulan :

1. D-STATCOM (*distribution static compensator*) dapat memperbaiki tegangan akibat gangguan *voltage sag*.
2. Perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag* meningkat setelah implementasi D-STATCOM dimana sebelum implementasi D-STATCOM tegangan sebesar 0.29 pu pada durasi 0,3 detik sampai 0,6 detik dan setelah implementasi D-STATCOM, tegangan menjadi 0.97 pu pada durasi 0,31 sampai 0,6 detik.
3. Total dari perbaikan tegangan yang dihasilkan memberikan peningkatan perbaikan tegangan sebesar 0,68 pu.
4. Implementasi D-STATCOM pada sistem selain dapat meningkatkan perbaikan tegangan juga dapat meningkatkan kualitas daya.
5. D-STATCOM secara umum ideal diimplementasikan pada sistem kelistrikan jaringan 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan untuk meningkatkan stabilitas tegangan khususnya perbaikan tegangan pada saat terjadi *voltage sag*.

5.2 Saran

Perlu diketahui bahwa sistem tenaga listrik di Indonesia khususnya pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Banyu Biru, G.I Gondang Wetan, Pasuruan, masih sangat perlu untuk meningkatkan perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag* seperti yang dijabarkan dalam skripsi ini. Penggunaan D-STATCOM (*Distribution Static*

Compensator) untuk meningkatkan stabilitas sistem khususnya perbaikan tegangan akibat gangguan *voltage sag* sangat diperlukan. Karena ditempat tersebut merupakan salah satu penyedia listrik di area Kota Pasuruan, dimana kondisi kestabilan tegangan sangat dibutuhkan untuk menjaga kualitas tegangan ke konsumen secara stabil dan kontinuitas selama 24 jam.

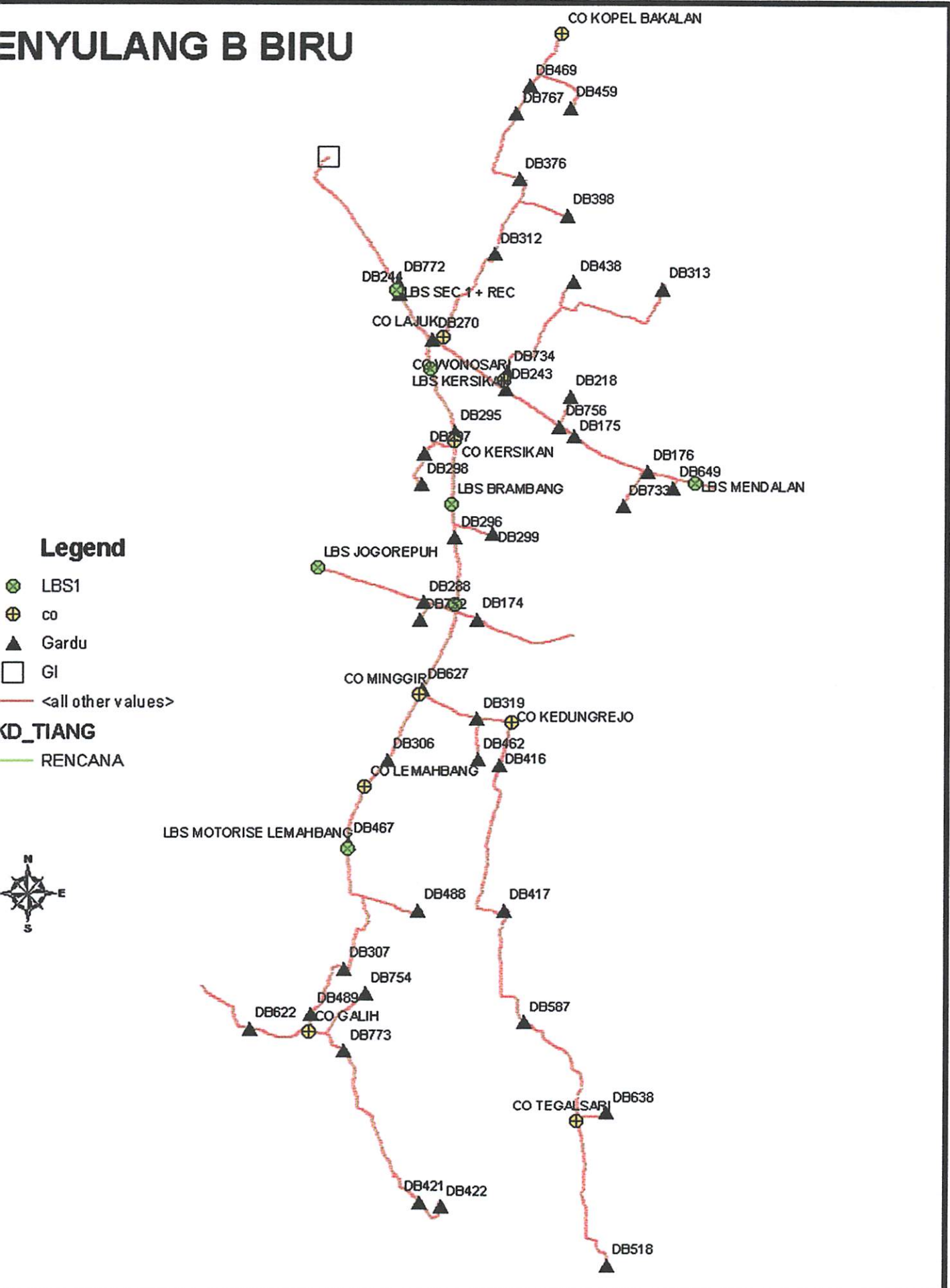
Selain dari pada itu D-STATCOM sangat disarankan untuk meningkatkan stabilitas sistem yang lainnya dan optimasi implementasinya pada sistem, agar kinerja dari D-STATCOM mampu memberikan kontribusi yang lebih baik dalam meningkatkan stabilitas sistem secara keseluruhan, sehingga sistem tersebut akan memiliki kualitas daya yang baik dan handal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Paul Manish, and Ranjan Prabir, (2014), "Voltage Sag Mitigation by D-STATCOM Using Voltage Regulation Technique" ,International Journal of Engineering Research & Technology, Vol. 3 Issue 5, ISSN: 2278-0181.
- [2] Nakhoda I.Y and Abraham Lomi, (2012), "*Implementation of Dynamic Voltage Restorer (DVR) and Distribution Static Compensator (D-STATCOM) for Power Quality Improvement*" ,Cyber Journals : Multidisciplinary Journals in Science and Technology,Journal of Selected Areas in Renewable and Sustainable Energy (JRSE).
- [3] M. SajediHir, Y, and Hoseinpoor, P, and MosadeghArdabili, T, and Pirzadeh, (2011), "*Analysis and Simulation of a D-STATCOM for Voltage Quality Improvement*" ,Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(10): 864-870. ISSN 1991-8178. Landfish Today. 23: 10-12
- [4] D.R.Patil & Komal K.Madhale, "*Design And Simulation Studies of D-Statcom For Voltage Sag, Swell Mitigation*" ,IRNet Transactions on Electrical and Electronics Engineering.
- [5] K.L.Sireesha, K.Bhushana Kumar, "Power Quality Improvement in Distribution System Using D-STATCOM" ,International Journal of education and applied research, Vo l. 4, Is s uE sp 1-1, ISSN : 2249-4944.
- [6] Mithilesh Kumar Kanaujia, Dr. S.K. Srivastava, "Power Quality Enhancement With D-Statcom Under Different Fault Conditions" , International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 3, Issue 2, ISSN: 2248-9622
- [7] Bhavya Kanchanapalli and Madhu Valavala, (2012), "*Implementation of Custom Power Device in PSCAD/EMTDC for Power Quality Improvement*" ,International Journal of Electronics and Communications, Volume – 1, Issue – 1, ISSN 2279 – 0098
- [8] Olimpo Anaya-Lara and E. Acha, (2002), "Modeling and Analysis of Custom Power Systems by PSCAD/EMTDC" , IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 17, No. 1

LAMPIRAN

ENYULANG B BIRU



CO KOPEL BAKALAN

DB469

DB767

DB459

DB376

DB398

DB312

DB772

DB244

LBS SEC 1 + REC

DB438

DB313

CO LAJUK

DB270

CO WONOSARI

DB734

LBS KERSIKAN

DB243

DB218

DB295

DB756

DB175

DB297

CO KERSIKAN

DB298

LBS BRAMBANG

DB176

DB649

DB733

LBS MENDALAN

DB296

DB299

LBS JOGOREPUH

DB288

DB732

DB174

CO MINGGIR

DB627

DB319

CO KEDUNGREJO

DB306

DB462

DB416

CO LE MAHBANG

LBS MOTORISE LEMAHBANG

DB467

DB488

DB417

DB307

DB754

DB489

DB622

CO GALIH

DB773

DB587

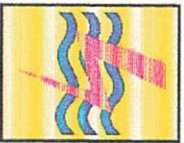
CO TEGALSARI

DB638

DB421

DB422

DB518



PT. PLN (PERSERO)
DISTRIBUSI JAWA TIMUR
AREA PASURUAN
RAYON GONDANG
WETAN

No	GARDU	ALAMAT	KAPASITAS TRAFO (KVA)	TEGANGAN TRAFO		F - N V	BEBAN TRAFO			
				P KV	S V		R	S	A	T
1	DB244	GONDANG WETAN	100	20	400	231	26	18	41	
	DB772		100	20	400	231	96	36	50	
2	DB270	GAYAM	200	20	400	231	209	270	134	
	DB312		100	20	400	231	108	78	56	
3	DB398	LAJUK	100	20	400	231	117	133	135	
	DB376		160	20	400	231	192	147	176	
	DB767		100	20	400	231	81	90	139	
4	DB469	KARANG PANDAN	160	20	400	231	41	28	45	
	DB459		100	20	400	231	82	63	100	
	DB734		100	20	400	231	69	60	73	
5	DB438	WONOSARI	160	20	400	231	144	123	149	
	DB313		100	20	400	231	139	110	127	
6	DB243	PATEGUHAN	160	20	400	231	70	22	115	
	DB218		100	20	400	231	91	91	68	
7	DB756	WONOJATI	100	20	400	231	69	58	94	
	DB175		100	20	400	231	97	63	72	
8	DB176	TENGGILIS	160	20	400	231	219	136	170	
	DB649		100	20	400	231	104	147	107	
	DB733		160	20	400	231	112	157	101	
9	DB295	KERSIKAN	100	20	400	231	33	79	82	
	DB297		100	20	400	231	90	84	65	
	DB298		100	20	400	231	49	39	66	
10	DB296	BRAMBANG	100	20	400	231	91	74	3	
	DB299		100	20	400	231	72	71	78	
11	DB288	BAYEMAN	150	20	400	231	85	83	90	
	DB752		150	20	400	231	22	17	20	
12	DB174	JOGO REPOH	250	20	400	231	179	186	127	
	DB306		150	20	400	231	40	30	33	
14	DB627	MTINGGIR	160	20	400	231	67	54	30	
	DB319		50	20	400	231	87	49	61	
15	DB462	KEDUNGREJO	50	20	400	231	75	55	31	
	DB416		100	20	400	231	91	74	3	
16	DB417	TEGALSARI	100	20	400	231	75	55	31	

	DB587		100	20	400	231	57	47	60
17	DB518	LEMAHBANG	100	20	400	231	91	91	68
	DB638		100	20	400	231	117	133	135
18	DB467	KLAKAH	100	20	400	231	57	47	60
	DB488		50	20	400	231	44	42	52
19	DB307	KEBON CANDI	100	20	400	231	86	79	96
	DB489		50	20	400	231	44	42	52
20	DB622	SIBON	100	20	400	231	57	47	60
	DB754		100	20	400	231	104	147	107
	DB773		100	20	400	231	72	71	78
21	DB421	SIBON SELATAN	100	20	400	231	27	11	7
	DB422		100	20	400	231	124	161	117

MONITORING PENYEBAB GANGGUAN PENYULANG BANYU BIRU AREA PASURUAN
PERIODE : 1 JANUARI 2014 S.D 05 Oktober 2014

TANGGAL	JAM				TEMPORER/ PERMANEN	RELE KERJA	KV - NOL	PENYULANG	GARDU INDUK	CUACA	PENYEBAB
	LEPAS	PMT MASUK	MASUK TOTAL	LAMA PADAM							< PENYEBAB HARUS DI ISI DENGAN JELAS atau TIDAK DIKETAHUI >
15-01-2014	16:26	16:26	16:26	0	Temporer	DGR	20	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat jumperan in co lost kontak di co lajuk arah kersikan phasa RS
10-02-2014	15:50	15:50	15:50	0	Temporer	OCR Instan	7	Banyu Biru	Gondang Wetan	Angin	Terdapat benang layang - layang pada saluran GTT Sibon
05-03-2014	13:31	13:31	13:31	0	Temporer	OCR Instan	5	Banyu biru	Gondang Wetan	Angin	Terdapat pohon Lamtoro tumbang ke jaringan di desa Tenggilis GTT 312 dan benang layang - layang nempel ke jaringan sebelum LBS Kersikan
17-03-2014	15:12	15:12	15:12	0	Temporer	OCR & DGR	18	Banyu Biru	Gondang Wetan	Hujan Angin Petir	Tidak diketemukan
01-04-2014	12:46	12:46	12:46	0	Temporer	DGR	20	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat pin isolator flash over phasa S di ds. Ranggeh GTT 244 D2 dan LBS Brambang flash over phasa S
03-06-2014	02:38	06:36	07:06	268	Permanen	DGR	12	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat arrester trafo tembus phasa RT di GTT 438 ds. Rojogunting
04-06-2014	17:07	17:58	20:28	201	Permanen	DGR	14	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat arester rusak di GTT.421 Ds galih (arrester type lama keramik)
11-06-2014	12:24	12:41	14:16	112	Permanen	OCR	0	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat 1 tiang TM patah tertimpa pohon randu dan trek skur putus di ds. Sibon pesaan GTT. 307 B1
24-06-2014	14:40	15:26	17:37	177	Permanen	OCR Instan	0	Banyu Biru	Gondang Wetan	Angin	Terdapat jumperan co branch arah kersikan lost kontak phasa ST di ds kersikan
07-08-2014	15:16	15:31	15:45	29	Permanen	OCR Instan	0	Banyu Biru	Gondang Wetan	Cerah	Terdapat pohon sengon roboh ke jaringan SUTM di TM GTT Wonojati
25-09-2014	10:59	11:35	12:44	36	Permanen	OCR		Banyu biru	Gondang Wetan	Angin Kencang	Tidak ditemukan



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini:

Nama : Agrian Firdaus Inaradaga
 NIM : 112026
 Semester : 8 (Delapan)
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro S-I
 Konsentrasi : **TEKNIK ENERGI LISTRIK**
TEKNIK ELEKTRONIKA
TEKNIK KOMPUTER DAN INFORMATIKA
TEKNIK KOMPUTER
TEKNIK TELEKOMUNIKASI
 Alamat : Jl. Haimanera no.7, Malang.

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat SKRIPSI Tingkat Sarjana. Untuk melengkapi permohonan tersenut, bersama ini kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

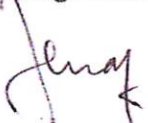
Adapun persyaratan- persyaratan pengambilan SKRIPSI adalah sebagai berikut:

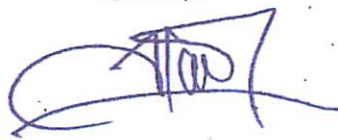
1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh matakuliah > 134 sks dengan IPK > 2 dan tidak ada nilai E (.....)
5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar Skripsi yang diadakan Jurusan (.....)
6. Memenuhi persyaratan administrasi (.....)

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenarannya data tersebut diatas
 Recording Teknik Elektro S-I

Malang, 5. Maret - 2015
 Pemohon


 (.....
 M. Ibrahim Ashari)


 (.....
 Agrian Firdaus I)

Disetujui
 Ketua Prodi Teknik Elektro S-I

Mengetahui
 Dosen Wah




 (.....
 TEGUH H)

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
 NIP. P. 1030100358

Catatan:


Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Prodi T. elektro S-I

1. IPK 2.74/5 = 3.44
 2. 13A

BERITA ACARA RAPAT PERSETUJUAN JUDUL/PROPOSAL SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik



Tanggal :

1.	NIM	412026
2.	Nama	Agrus Firdaus Indrayana
3.	Judul yang diajukan	
4.	Disetujui/Ditolak	
5.	Catatan:	Sesuai judul: Implementasi D-STATCOM untuk pembaruan voltage sag akibat Gangguan Hubung Sifat
6.	Pembimbing yang diusulkan:	
	1.	Ir Yusuf Ismail Wachoda MT. ✓
	2.	Ir Abd Hamid MT ✓
Menyetujui		
1. Koordinator Dosen Kelompok Keahlian		
		
2. Dosen Kelompok Keahlian (Terlampir)		

* : Coret yang tidak perlu



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

NI (PESERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-172/EL-FTI/2015
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Tanggal, 28 Mei 2015

Kepada : Yth. Bapak/Ibu Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : **AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA**
Nim : **1112026**
Fakultas : **Teknologi Industri**
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

“Semester Genap Tahun Akademik Genap 2014 - 2015”

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST,MT
NIP.P. 1030100358



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

SI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-172/EL-FTI/2015
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Tanggal, 28 Mei 2015

Kepada : Yth. Bapak/Ibu Ir. M. Abdul Hamid, MT
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : **AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA**
Nim : **1112026**
Fakultas : **Teknologi Industri**
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

“ Semester Genap Tahun Akademik Genap 2014 - 2015 “

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui
Kepala Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP.P. 1030100358



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG
 BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
 Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-123/EL-FTI/2015
 Lampiran : -
 Perihal : Survey Pengambilan Data Skripsi

16 April 2015

Kepada : Yth. **Manager PT. PLN (Persero) Area Pasuruan**
 di – Pasuruan

Dengan hormat,

Bersama ini kami mohon kebijaksanaan Bapak/Ibu agar mahasiswa kami dari Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang dapat diijinkan untuk melakukan survey dalam rangka pengambilan data skripsi, mulai tanggal 20 April 2015 sampai dengan 27 April 2015.

Mahasiswa tersebut adalah:

No	Nama	NIM
1.	Agrian Firdaus Indrajaya	1112026
2.		
3.		
4.		

Demikian atas perhatian dan kebijaksanaannya kami ucapkan terima kasih.

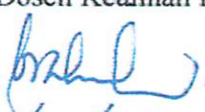

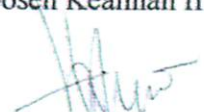
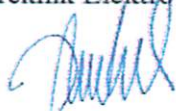




Ketua
 Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
 NIP.P. 1030100358

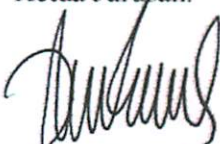
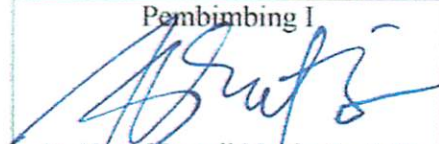
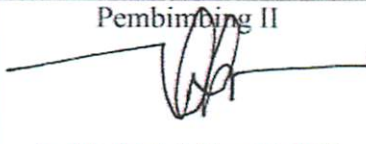


**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik**

1.	Nim	: 1112026	
2.	Nama	: AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA	
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Energi Listrik	
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat
	11 April 2015	09:00	III.1.5
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISIS PEMASANGAN D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN VOLTAGE SAG AKIBAT GANGGUAN SINGLE LINE TO GROUND, DOUBLE PHASE TO GROUND, DANÂ THREE-PHASE FAULT DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC	
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	Implementasi D-StatCom untuk perbaikan tegangan akibat gangguan voltage sag menggunakan software PSCAD/EMTDC.	
7.	Catatan :		
8.	Catatan :		
	Persetujuan judul Skripsi		
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II	Disetujui, Dosen Keahlian III
	 (..... A. Com.....)	 (.....)	 (.....)
	Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs	
 M. Ibrahim Ashari, ST, MT NIP. P 1030100358	Pembimbing I	Pembimbing II	
	 (.....)	 (.....)	



BERITA ACARA SEMINAR PROGRESS SKRIPSI PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1

KONSENTRASI		Energi Listrik		
1.	Nama Mahasiswa	AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA	NIM	1112026
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat / Ruang
	Pelaksanaan			
3.	Judul Skripsi	IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC		
4.	Perubahan Judul		
5.	Catatan :	- Tambahkan metode/cara dari pemasangan D-Statcom (menentukan tempat & Kapasitas)		
			
6.	Mengetahui, Ketua Jurusan.  M. Ibrahim Ashari, ST, MT	Disetujui, Dosen Pembimbing		
		Pembimbing I  Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT	Pembimbing II  Ir. M. Abdul Hamid, MT	



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

NIM : 11.12.026
NAMA : AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA
MASA BIMBINGAN : SEMESTER GENAP 2014 – 2015
JUDUL : IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN
TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN *VOLTAGE SAG*
MENGUNAKAN *SOFTWARE* PSCAD/EMTDC

No	Keterangan	Paraf Dosen Pembimbing
1	Makalah Seminar proposal	
2	Terbatasnya <i>nodes</i> pada <i>software</i> PSCAD/EMTDC	
3	Hasil penggabungan 45 trafo menjadi 21 trafo	
4	Peletakan gangguan	
5	Hasil simulasi gangguan 3 fasa	
6	Makalah seminar progress	
7	Hasil simulasi perbaikan tegangan sesuai implementasi D-STATCOM	
8	Penentuan durasi gangguan saat sesudah implementasi D-STATCOM	
9	Makalah Seminar Hasil	
10	Laporan Skripsi	

Malang, 5 September 2015

Dosen Pembimbing I

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)
NIP.Y. 1018800189



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

NIM : 11.12.026
NAMA : AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA
MASA BIMBINGAN : SEMESTER GENAP 2014 – 2015
JUDUL : IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN
TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN *VOLTAGE SAG*
MENGUNAKAN *SOFTWARE* PSCAD/EMTDC

No	Keterangan	Paraf Dosen Pembimbing
1	Makalah Seminar proposal	
2	Terbatasnya <i>nodes</i> pada <i>software</i> PSCAD/EMTDC	
3	Hasil penggabungan 45 trafo menjadi 21 trafo	
4	Peletakan gangguan	
5	Hasil simulasi gangguan 3 fasa	
6	Makalah seminar progress	
7	Hasil simulasi perbaikan tegangan sesudah implementasi D-STATCOM	
8	Penentuan durasi gangguan saat sesudah implementasi D-STATCOM	
9	Makalah Seminar Hasil	
10	Laporan Skripsi	

Malang, 5 September 2015

Dosen Pembimbing II

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP.Y. 1018800188



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama : AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA
2. NIM : 11.12.026
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Selasa
Tanggal : 18 Agustus 2015
Dengan Nilai : **86,8 (A)**

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP. P. 1030100358

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. I. Komang Somawirata, ST, MT
NIP. P. 1030100361

Anggota Penguji

Penguji I

Bambang Priyo Hartono, ST, MT
NIP. Y. 1028400082

Penguji II

Ir. Eko Nurcahyo, MT
NIP. Y. 1028700172



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang Strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari/Tanggal : Selasa, 18 Agustus 2015

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA
2. NIM : 11.12.026
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC**

Penguji I

Bambang Priyo Hartono, ST, MT
NIP. Y. 1028400082

Pembimbing I

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP.Y. 1018800189

Pembimbing II

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP.Y. 1018800188



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang Strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari/Tanggal : Selasa, 18 Agustus 2015

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : AGRIAN FIRDAUS INDRAJAYA
2. NIM : 11.12.026
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI D-STATCOM UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC**

Penguji II

Ir. Eko Nurcahyo, MT
NIP. Y. 1028700172

Pembimbing I

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP.Y. 1018800189

Pembimbing II

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP.Y. 1018800188

BIOGRAFI PENULIS



Agrian Firdaus Indrajaya lahir pada tanggal 27 Agustus 1990 di kota Malang. Merupakan anak kedua dari empat bersaudara bapak Darius Ery Yuniardi dan ibu Nuryati Ida Martina. Penulis memulai pendidikan sekolah dasar di SDN Polehan 2 Malang dan lulus pada tahun 2002, setelah lulus dari pendidikan dasar lalu penulis mengenyam pendidikan di SMP Kartini Yasri Malang dan lulus pada tahun 2008 , setelah penulis lulus dari sekolah menengah pertama, kemudian penulis melanjutkan pendidikanya di SMK Nasional Malang dan lulus pada tahun 2011. Setelah lulus dari Sekolah Menengah, penulis melanjutkan ke jenjang Stara 1 di Institut Teknologi Nasional Malang Fakultas Teknologi Industri jurusan teknik elektro S-1 dengan konsentrasi T. Energi Listrik