

SKRIPSI

**ANALISIS PENGGUNAAN D-STATCOM (DISTRIBUSI
STATIC COMPENSTATOR) UNTUK MITIGASI VOLTAGE
FLICKER PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH
(JTM) 20 KV DI UPJ DINOYO**



Disusun Oleh :

Nama : Anselmus Da Costa Tefnal

Nim : 10.12.029

MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG

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

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGGUNAAN D-STATCOM (DISTRIBUSI
STATIC COMPENSTATOR) UNTUK MITIGASI VOLTAGE
FLICKER PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH
(JTM) 20 KV DI UPJ DINOYO**

SKRIPSI

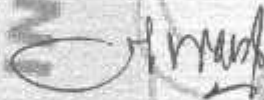
*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan guna
mencapai gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

Nama : Anselmus Da Costa Tefnai

Nim : 10.12.029

Dosen Pembimbing I



Dr.Eng. Ir. I. Made Wartana, MT

NIP. 196105031992021001

Dosen Pembimbing II



Ir. Choirul Saleh, MT

NIP.Y. 1018800190

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 : Anselmus Da Costa Tefnai

Nim : 10.12.029

Program Studi : Teknik Elektro

Kosentrasi : Energi Listrik S-1

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat adalah hasil karya saya 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 ini saya buat, dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, Desember 2015

Yang membuat pernyataan,



Anselmus D. Tefnai



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK MASA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

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

Nama : **Anselmus Da Costa Tefnai**
Nim : **10.12.029**
Jurusan : **Teknik Elektro**
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik S-1**
Masa Bimbingan : **Semester Genap 2014-2015**
Judul : **ANALISIS PENGGUNAAN D-STATCOM (DISTRIBUSI STATIC COMPENSTATOR) UNTUK MITIGASI VOLTAGE FLICKER PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 KV DI UPJ DINOYO**

Dipertahankan dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Program Strata Satu (S-1)

Pada Hari : **Senin**
Tanggal : **31 Agustus 2015**
Dengan Nilai : **78 (B+)**

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.Y.1030100361

Anggota Penguji :

Dosen Penguji I

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y. 1038900209

Dosen Penguji II

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

ABSTRAK

ANALISIS PENGGUNAAN D-STATCOM (DISTRIBUSI STATIC COMPENSTATOR) UNTUK MITIGASI VOLTAGE FLICKER PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 kV DI UPJ DINOYO

Anselmus da costa Tefnai
Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Energi Listrik
Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Jalan Karanglo Km 2 Malang
Email : Anseldacosta044@gmail.com

Kebutuhan jaringan distribusi, beban industri sensitif dan operasi komersil kritis semua mengalami gangguan yang diklasifikasikan dalam masalah yang berkaitan dengan kualitas tegangan. D-STATCOM adalah salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan kualitas tegangan sejenisnya. Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai Analisis Penggunaan D-STATCOM Untuk Mitigasi Voltage Flicker pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV di UPJ Dinoyo.

Sasaran utama dari penelitian ini adalah penerapan D-STATCOM untuk meningkatkan kualitas tegangan. Dari hasil simulasi pada Sistem Jaringan Tegangan Menengah Dinoyo dengan kompensasi D-STATCOM, maka diambil nilai dari semua node. Perbandingan nilai tegangan sebelum dan setelah kompensasi saat gangguan voltage flicker adalah 0.911298365pu menjadi 16.58772895pu. PSCAD/EMTDC adalah perangkat lunak yang di gunakan untuk pemodelan dan simulasi

Kata kunci : D-STATCOM, Kualitas Tegangan, Voltage Flicker

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul **“ANALISIS PENGGUNAAN D-STATCOM UNTUK MITIGASI VOLTAGE FLICKER PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 kV DI DINOYO”** dapat terselesaikan.

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan skripsi 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 karena itu, penyusun mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Dr.Ir.Lalu Mulyadi,MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ir.Anang Subardi,MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. M.Ibrahim Ashari,ST.MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Dr.Eng.Ir.I Made Wartana,MT selaku Dosen Pembimbing I
5. Ir.Choirul Saleh,MT selaku Dosen Pembimbing II
6. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik
7. Sahabat-Sahabat dan orang-orang tercinta yang tidak kami sebutkan satu-persatu, kami mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan dalam proses pembuatan skripsi yang telah kami kerjakan ,begitu juga dengan penyelesaian laporan ini.

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

Malang, Agustus 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GRAFIK.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 LatarBelakang.....	1
1.2 RumusanMasalah.....	2
1.3 TujuanPenelitian.....	3
1.4 BatasanMasalah.....	3
1.5 SistematikaPenulisan	4
1.6 SistematikaPenelitian.....	5
BAB II LANDASA TEORI	
2.1 PT.PLN (PERSERO) UPJ Dinoyo	6
2.2 Sistem Distribusi Daya Listrik	6
2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	9
2.3.1 Sistem Distribusi Primer	10
2.3.2 Sistem Distribusi Sekunder	11
2.4 Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	12
2.5 <i>Voltage Sag</i>	7
2.6 <i>Voltage Swell</i>	9
2.7 Overvoltage	10
2.8 Undervoltage	11
2.9 Harmonisa	11
2.10 Fluktuasi Tegangan.....	12

2.11 Definisi <i>Voltage Flicker</i>	14
2.12 D-STATCOM (<i>Distribution Static Compensator</i>)	15
2.13 Model D-STATCOM.....	16
2.14 Prinsip Kerja D-STATCOM	17
2.15 Metode Pengendalian D-STATCOM.....	21
2.16 Kontrol PWM Sinusoida.....	22
2.17 Kontrol Jaringan.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Software <i>PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation</i>	25
3.2 Data –Data Dari UPJ Dinoyo	26
3.3 Proses Running Simulasi	26
3.4 Penempatan Gangguan <i>Voltage Flicker</i>	26
3.5 Pemasangan D-STATCOM.....	27
3.6 Flowchart.....	28
BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL.	
4.1 Single Line Sistem Distribusi 20 kV Di UPJ Dinoyo dalam <i>PSCAD</i>	29
4.2 Data Hasil Program PSCAD Sebelum Pemasangan D-STATCOM	30
4.3 Grafik Sistem Sebelum Pemasangan D-STATCOM.....	30
4.4 Grafik Sistem Setelah Pemasangan D-STATCOM.....	31
4.5 Tabel Data Hasil Sebelum Dan Sesudah Pemasangan D-STATCOM.....	32
4.6 Analisa Hasil Sebelum Dan Setelah Pemasangan D-STATCOM.....	34
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Penyaluran Energi Listrik.....	6
Gambar 2.2 Pengklasifikasian Sistem Jaringan Tenaga Listrik.....	7
Gambar 2.3 Voltage Sag Karena Gangguan Satu Fasa Ke Tanah	9
Gambar 2.4 Voltage Swell Karena Gangguan Satu Fasa Ke Tanah.....	10
Gambar 2.5 Bentuk Gelombang Arus Yang Terdistorsi.....	11
Gambar 2.6 Spektrum Harmonisa Arus Balik	12
Gambar 2.7 Fluktuasi Tegangan	13
Gambar 2.8 Pst Pada Bus Gardu Induk 161 kV	14
Gambar 2.9 Contoh Sinyal <i>Voltage Flicker</i>	14
Gambar 2.10 Diagram Blok Fungsional D-STATCOM.....	16
Gambar 2.11 Diagram Single Line D-STATCOM	18
Gambar 2.13 Prinsip Kerja D-STATCOM	19
Gambar 2.14 Alur Proses Pengendalian D-STATCOM.....	21
Gambar 2.15 Kontrol Jaringan Dari Persamaan d-q Teory	23
Gambar 4.1 Gambar <i>Single Line</i> Dalam Program PSCAD dengan D-STATCOM	29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem Distribusi tenaga listrik di wilayah PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Cabang Area Pelayanan Malang Unit Pelayanan dan Jaringan Dinoyo suplai oleh satu buah gardu induk (GI). Gardu Induk tersebut terdiri dari beberapa penyulang yang berfungsi untuk menyuplai daya listrik ke saluran pelanggan listrik. Satu buah gardu induk yang mensuplai kebutuhan tenaga listrik untuk rayon Dinoyo adalah Gardu Induk Sengkaling^[1].

Secara umum kondisi kelistrikan telah dapat melayani kebutuhan penduduk kota walaupun dengan daya yang masih terbatas. Untuk mengatasi kekurangan tersebut, sejumlah toko, kantor dan hotel mempunyai pembangkit listrik *portabel* sendiri. Namun besarnya yang diterima oleh konsumen listrik tidaklah sama, hal ini terjadi karena adanya impedansi jaringan. Oleh karena itu gangguan tegangan selalu ada pada setiap bagian dari sistem tenaga, mulai dari sumber sampai pelanggan. Maka dengan demikian tegangan tersebut perlu di kendalikan. Adapun tujuan dari pengendalian dan perbaikan tegangan pada sistem adalah agar gangguan daya dan tegangan menjadi lebih ekonomis sampai pada suatu batas tertentu^[2].

Skrripsi ini menganalisa penggunaan D-STATCOM untuk mereduksi *voltage flicker* pada sistem jaringan distribusi 20 kV di UPI Dinoyo yang berhubungan dengan kualitas tegangan. Sehingga terjadinya gangguan tidak stabilnya kualitas tegangan dapat di redupsi dengan D-STATCOM.

Voltage flicker dapat didefinisikan sebagai fluktuasi tegangan yang cepat dari kualitas daya yang mengakibatkan cahaya lampu berkedip, sehingga *voltage flicker* disebut juga sebagai kedip tegangan. *Flicker* dapat juga diartikan sebagai gangguan perubahan naik turun tegangan di sistem penyaluran tenaga listrik secara terus menerus yang diakibatkan oleh beban yang berdenyut-denyut (seperti : arc furnace, motor listrik, las listrik, dll). *Flicker* terjadi ketika beban besar secara berkala yang diaktifkan dan

dinonaktifkan dalam sistem distribusi yang lemah. Jika kapasitas hubungan pendek distribusi sistem tidak cukup besar, fluktuasi tegangan akan terjadi.

Perubahan arus yang cepat terutama disebabkan karena komponen reaktif dari beban. Biasanya, *flicker* yang besarnya lebih rendah 0,5 persen dapat menyebabkan lampu nampak berkedip, jika frekuensi berada dalam kisaran antara 6 sampai 8 Hz.

IEEE mengukur *flicker* dengan mengadopsi standar yang berasal dari sistem tenaga 60Hz yang digunakan di Amerika Utara. Standar ini secara sederhana menggambarkan potensi cahaya berkelip melalui pengukuran tegangan. Metode pengukuran tersebut mensimulasikan lampu/mata/otak sebagai transfer fungsi dan menghasilkan suatu metrik dasar yang disebut sensasi flicker jangka pendek (Pst). Nilai ini normalnya sampai 1.0, di mana nilai tersebut mempresentasikan tingkat fluktuasi tegangan yang cukup menyebabkan kedip 50 persen dari sampel yang diamati^[3].

Pada penelitian ini dilakukan pemasangan D-STATCOM untuk memitigasi *voltage flicker* dan memperbaiki kualitas tegangan pada jaringan tegangan menengah di UPJ Dinoyo. Pemasangan D-STATCOM dapat di simulasikan dengan menggunakan program *PSCAD/EMTD*

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat pada skripsi ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menganalisis D-STATCOM untuk mitigasi *voltage flicker* ?
2. Bagaimana memperbaiki *voltage flicker* dengan kontrol D-STATCOM ?

Dari permasalahan di atas maka makalah ini berjudul:

ANALISIS PENGGUNAAN D-STATCOM (DISTRIBUSI STATIC COMPENSTATOR)UNTUK MITIGASI *VOLTAGE FLICKER* PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 KV DI DINOYO

1.3. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka, tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah

- 1.Menganalisis penggunaan D-STATCOM untuk mitigasi *voltage flicker*.
- 2.Memperbaiki *voltage flicker* dengan kontrol D-STATCOM

1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka ruang lingkup pembahasan adalah sebagai berikut:.

1. Pehitungan dan simulasi dilakukan dengan *software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation*.
2. Mekanisme kerja *D-STATCOM* dalam mengatasi permasalahan kualitas daya dan tegangan sistem
3. Analisa di lakukan hanya membahas tentang kualitas tegangan pada sistem distribusi 20 kV di UPJ Dinoyo

1.5. Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah :

1. Kajian literatur

Yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan.

2. Pengumpulan Data

Bentuk data yang digunakan adalah :

- Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung, yaitu data – data pada sistem UPJ DINOYO berupa data beban dan trafo.

- Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini *single line* diagram DINOYO
3. Memasang *D-STATCOM* di sistem jaringan UPJ DINOYO.
 4. Menganalisa data – data yang telah di kumpulkan pada sistem jaringan UPJ DINOYO.
 5. Menguji kualitas daya dan tegangan sistem di UPJ DINOYO maupun eksternalnya dan membandingkannya dari pengaruh sebelum dan sesudah pemasangan *D-STATCOM*.
 6. Kesimpulan.
Menarik kesimpulan dari hasil analisa data.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan didalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Pengertian tentang teori sistem distribusi, macam-macam gangguan tenaga listrik dan penjelasan tentang teori *D-STATCOM* serta pengaruh pemasangannya pada sistem jaringan di UPJ DINOYO.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang sisten jaringan di UPJ DINOYO.

BAB IV : HASIL DAN ANALISIS HASIL

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

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 PT PLN (Persero) UPJ Dinoyo^[1]

Secara umum UPJ Dinoyo merupakan Unit Pelayanan Jaringan wilayah Dinoyo dari PT PLN (Persero) yang melayani segala kebutuhan penyaluran energi listrik kepada masyarakat. Unit Pelayanan Jaringan (UPJ) Dinoyo disuplai oleh Gardu Induk(GI) yaitu GI Sengkaling. Di Gardu Induk Sengkaling sendiri memiliki 4 trafo dengan tegangan masing-masing trafo 150/20 kV dengan daya 30 MVA yang dapat menyuplai ke 8 penyulang yang ada di sekitar area Gardu Induk Sengkaling yang salah satunya adalah penyulang Dinoyo.

2.2 Sistem Distribusi Daya Listrik^[2]

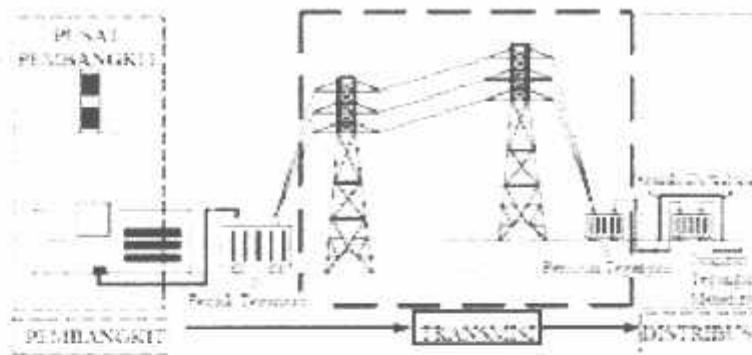
Sistem tenaga listrik merupakan suatu system yang terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen listrik .Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang di bangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut .Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah :

1. Pembagaaian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat(Pelanggan)
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan,karena catu daya pada pusat-pusat beban (Pelanggan)dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV,220 kV atau 500 kV kemudian di salurkan melalui saluran transmisi .

Tujuan menaikkan tegangan adalah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini keerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 \cdot R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya di perbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan menjadi 20 kV dengan trasformator penurun tegangan pada gardu induk distrbusi kemudian

dengan system tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik di lakukan oleh saluran distribusi primer.



Gambar 2.1 Skema Penyaluran Energi Listrik

Sumber :Basri Hasan, "Sistem Distribusi Daya Listrik" ,(Jakarta:ISTN,1997)

Secara garis besar suatu system tenaga listrik dapat di kelompokkan menjadi 3 bagian sub yaitu :

1. Sistem pembangkitan : berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga sebagai prodaktor energi.
2. Sistem transmisi atau penyalur : sebagai penyalur daya listrik dalam skala besar dari pembangkit ke bagian sistem distribusi
3. Sistem distribusi dan beban : berfungsi sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi tersebut.

2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

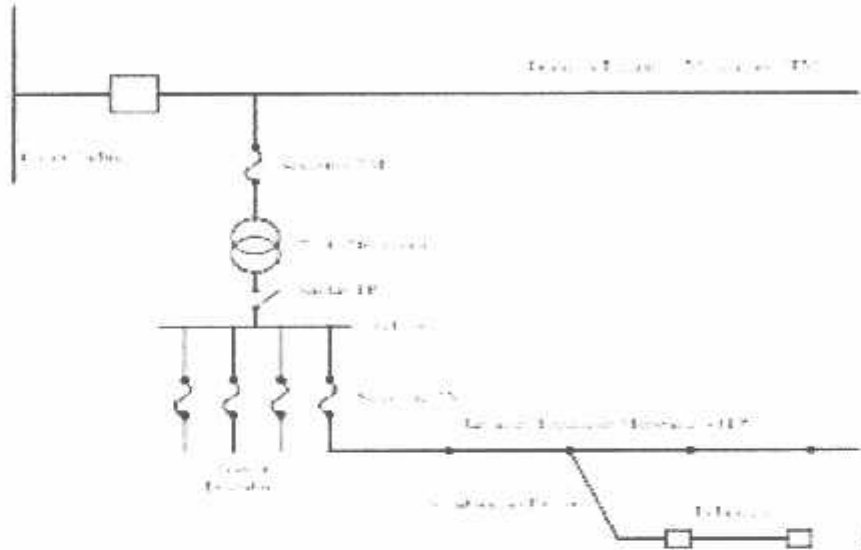
Jaringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik ,peranannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pembangkit tenaga ke konsumen melalui gardu distribusi .Jaringan setelah keluar dari gardu induk biasa disebut jaringan distribusi. Setelah tenaga listrik di salurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik di turunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah untuk selanjutnya di salurkan ke rumah-rumah pelanggan (Konsumen) PLN melalui sambungan rumah.

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen , tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Untuk konsumen industri biasanya digunakan tegangan menengah 20 kV sedangkan untuk

konsumen perumahan digunakan 220/380 Volt, yang merupakan tegangan siap pakai untuk peralatan-peralatan rumah tangga . Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklarifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

1. Sistem distribusi primer (Jaringan Distribusi Tegangan Menengah)
2. Sistem distribusi sekunder (Jaringan Distribusi Tegangan Rendah)

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



Gambar 2.2

Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan

2.3.1 Sistem Distribusi Primer

Jaringan Distribusi Primer merupakan sistem saluran distribusi yang menyalurkan energi listrik antara Gardu Induk Distribusi sampai ke Gardu Distribusi dengan tegangan kerja 20 kV atau 6 kV. Oleh karena itu sering disebut dengan sistem distribusi tegangan menengah.

2.3.2 Sistem Distribusi Sekunder

Tingkat tegangan yang digunakan pada Sistem Distribusi Sekunder adalah tegangan rendah yaitu 127/220 Volt atau 220/380 Volt, oleh karena itu sistem distribusi ini sering disebut dengan sistem distribusi tegangan rendah .

Sistem jaringan yang digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik tersebut dapat menggunakan satu fasa dengan dua kawat maupun sistem dua fasa dengan empat kawat.

2.4 Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Dalam rangka mengantisipasi peningkatan kebutuhan energi listrik pada masa tertentu, maka struktur jaringan harus dipertimbangkan terlebih dahulu sehingga untuk ekspansi sistem dimasa yang akan datang tidak menjadi masalah.

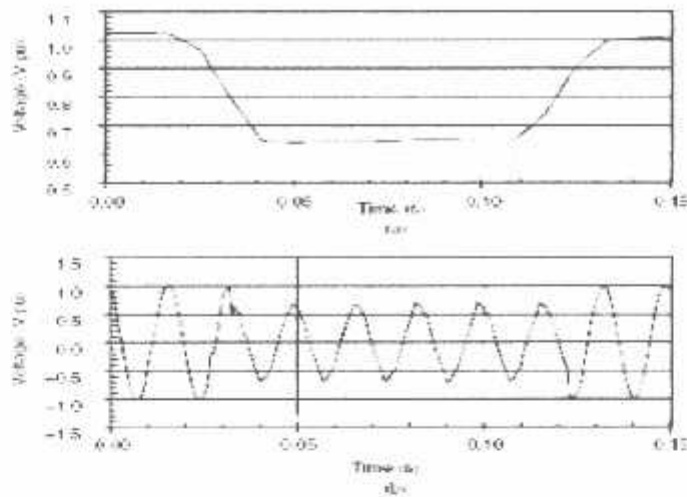
Ada beberapa jaringan yang umum digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik, yaitu :

1. Sistem jaringan distribusi radial
2. Sistem distribusi rangkaian tertutup(*loop*)
3. Sistem distribusi mesh

2.5 Voltage Sags

Sags atau dips atau jatuh tegangan adalah suatu peristiwa penurunan tegangan antara 0,1 dan 0,9 pu dari rms tegangan pada frekuensi dayanya selama 0,5 siklus sampai 1 menit. Komunitas peneliti tentang kualitas daya telah menggunakan istilah sags selama bertahun-tahun untuk menggambarkan peristiwa penurunan tegangan dalam waktu yang pendek. Meskipun istilah ini tidak ditetapkan secara resmi, tetapi semakin diterima dan digunakan oleh pengguna dan produsen sistem tenaga listrik. Namun IEC mendefinisikan untuk fenomena ini sebagai dip.

Terminologi yang digunakan untuk menggambarkan besarnya penurunan tegangan masih sering membingungkan. "Sag 20 persen" dapat memberikan gambaran terhadap menurunnya tegangan menjadi 0,8 atau 0,2 pu. Jika tidak ditentukan lain, sag 20 persen akan dianggap sebagai suatu peristiwa di mana terjadinya penurunan tegangan rms sebesar 20 persen hingga 0,8 pu. Nilai nominal atau nilai dasar dari suatu tegangan juga harus ditentukan. Sags tegangan biasanya terkait dengan kesalahan atau gangguan dari sistem, tetapi dapat juga terjadi karena penyulungan terhadap suatu beban besar atau memulai pengoperasian motor berkapasitas besar. Gambar 2.6. di bawah ini memperlihatkan sebuah sag tegangan karena adanya gangguan satu fasa ke tanah^[3].

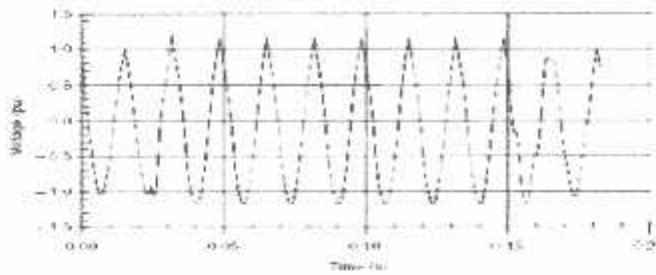


Gambar 2.3
Sag tegangan karena gangguan satu fasa ke tanah

Sumber : *Electrical Power Systems Quality* by Roger C. Dugan ... Published December 31st 1996 by McGraw-Hill Companies

2.6 Voltage Swells

Swells adalah suatu peristiwa di mana tegangan mengalami kenaikan antara 1,1 dan 1,8 pu dari tegangan rms atau arus pada frekuensi dayanya, dengan lama gangguan 0,5 siklus ke 1 menit. Seperti halnya dengan sags, naiknya tegangan ini biasanya dikaitkan dengan kondisi karena gangguan atau kesalahan sistem. Salah satu contoh swells adalah terjadinya kenaikan tegangan sementara pada saat gangguan satu fasa ke tanah. Gambar 2.4 mengilustrasikan sebuah gelombang tegangan yang disebabkan oleh gangguan satu fasa ke tanah.



Gambar 2.4
Swells karena gangguan satu fasa ke tanah

Sumber : *Electrical Power Systems Quality* by Roger C. Dugan ... Published December 31st 1996 by McGraw-Hill Companies

Lonjakan kenaikan tegangan dapat juga disebabkan oleh adanya pemutusan beban besar atau penyulangan terhadap bank kapasitor. Karakteristik swells dapat diketahui dengan melihat besar kenaikan tegangan (nilai rms) dan lamanya peristiwa itu terjadi. Besarnya kenaikan tegangan yang terjadi dipengaruhi oleh letak gangguan, besarnya impedansi sistem tenaga serta sistem pentanahannya.

Pada sistem yang tidak diketanahkan dengan impedansi urutan nol yang tak terhingga, maka tegangan fasa akan mengalami kenaikan sebesar 1,73 pu pada saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah. Untuk gangguan yang terjadi dengan lokasi berada dekat gardu induk, maka akan terdapat sedikit atau tidak ada kenaikan tegangan pada fasa yang tidak sehat, karena trafo daya pada gardu induk biasanya terhubung delta – bintang yang menyediakan impedansi urutan nol yang rendah, sebagai saluran untuk arus gangguan ke tanah.

2.7 Overvoltage

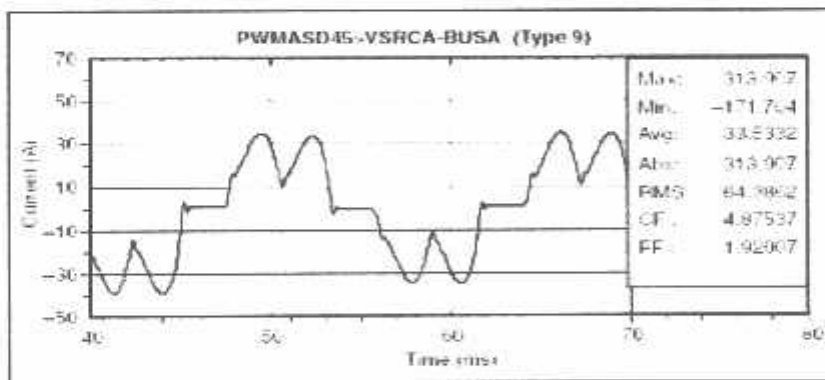
Overvoltage atau tegangan lebih adalah suatu gejala peningkatan nilai tegangan rms bolak-balik sebesar lebih dari 110 persen pada frekuensi daya untuk waktu lebih dari 1 menit. Overvoltages biasanya akibat operasi pensaklaran beban (misalnya, switching dari sebuah beban besar atau kapasitor bank). Overvoltage dapat dihasilkan oleh terlalu lemahnya pengaturan tegangan yang dikehendaki terhadap sistem tenaga listrik tersebut atau kendali terhadap tegangan tidak memadai. Kesalahan pengaturan pada tap transformer juga dapat mengakibatkan tegangan lebih atau overvoltages pada sistem tenaga listrik.

2.8 Undervoltage

Undervoltage adalah suatu gejala penurunan tegangan rms bolak-balik sebesar kurang dari 90 persen dari nilai tegangan nominal pada frekuensi daya untuk durasi lebih dari 1 menit. Undervoltages adalah hasil dari suatu peristiwa kembalinya keadaan overvoltage menuju keadaan normalnya. Sebuah operasi pensaklaran beban atau atau memutuskan bank kapasitor dapat menyebabkan undervoltage, sampai keadaan di mana peralatan pengaturan tegangan pada sistem tegangan tersebut dapat membawa kembali pada toleransi nilai tegangan yang standar. Keadaan overload atau beban lebih pada rangkaian dapat mengakibatkan penurunan tegangan atau undervoltages^[3].

2.9 Harmonisa

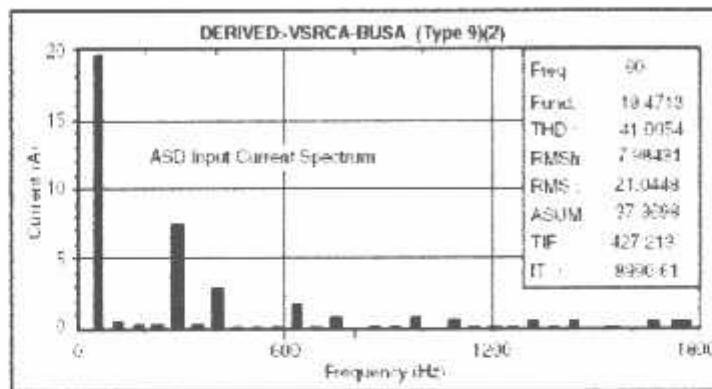
Harmonisa adalah bentuk tegangan atau arus sinusoidal yang memiliki frekuensi ganda, di mana frekuensi tersebut merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar. Frekuensi dasar suatu sistem biasanya dirancang untuk beroperasi pada 50 atau 60 Hz, di Indonesia frekuensi dasar yang digunakan adalah 50 Hz. Bentuk gelombang yang terdistorsi dapat didekomposisi menjadi jumlah dari frekuensi dasar dan frekuensi harmonisa Distorsi harmonisa berasal dari peralatan yang mempunyai karakteristik nonlinear perangkat dan beban pada sistem tenaga listrik .



Gambar 2.5 Bentuk gelombang arus yang terdistorsi

Sumber :*Electrical Power Systems Quality* by Roger C. Dugan ... Published December 31st 1996 by McGraw-Hill Companies

Tingkat distorsi harmonisa dapat dijelaskan oleh spektrum harmonisa berupa magnitude atau besarnya serta dengan sudut fasa dari masing-masing komponen harmonisa individual. Suatu kuantitas dari tingkat distorsi harmonisa adalah Total Harmonics Distortion, atau disingkat THD. Gambar 2.6 memperlihatkan spektrum harmonisa dari peralatan pengaturan kecepatan motor dengan metode pengaturan arus masukan.



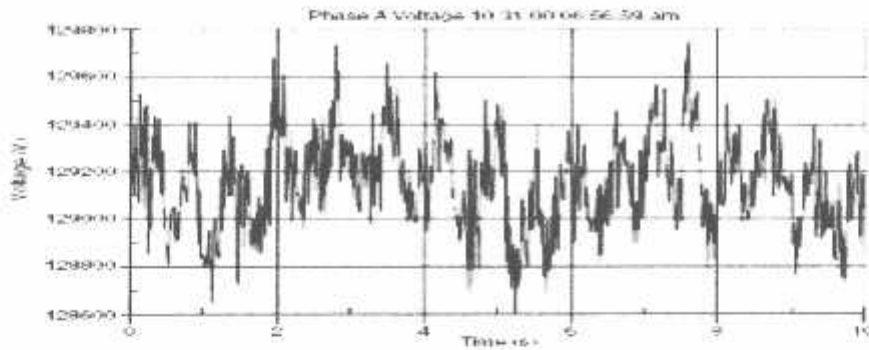
Gambar 2.6 Spektrum harmonisa arus balik

Sumber :*Electrical Power Systems Quality* by Roger C. Dugan ... Published December 31st 1996 by McGraw-Hill Companies

2.10 Fluktuasi Tegangan^[9]

Fluktuasi tegangan adalah suatu perubahan tegangan yang sistematis atau serangkaian perubahan tegangan secara acak, di manamagnitude dari tegangan mempunyai nilai yang tidak semestinya, yaitu di luar rentang tegangan ditentukan oleh ANSI C84.1 sebesar 0,9 sampai 1,1 pu. Menurut IEC 61000-2-1 salah satu fluktuasi tegangan, mempunyai karakteristik sebagai rangkaian tegangan acak yang berfluktuasi secara terus menerus.

Beban yang berubah sangat cepat dan terjadi terus-menerus, dan menghasilkan arus beban yang besar dapat menyebabkan variasi tegangan yang sering disebut sebagai *flicker* atau kedip tegangan. Istilah *flicker* atau kedip tegangan berasal dari dampak adanya fluktuasi tegangan terhadap lampu, yang dianggap seperti mata manusia yang berkedip.



Gambar 2.7

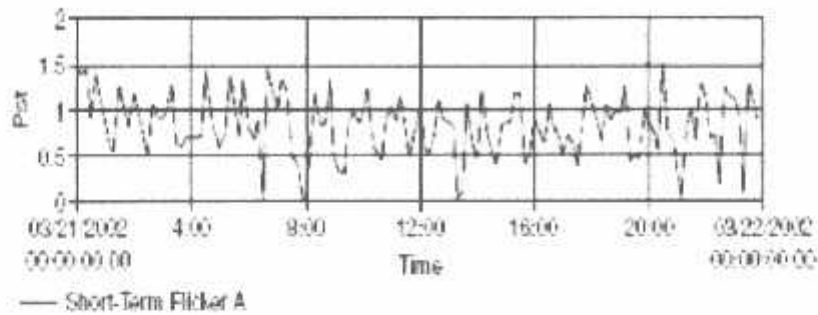
Fluktuasi tegangan

Sumber :Daily Archives: Februari 15, 2012 "Gangguan dalam Power Quality"

Gambar 2.7 adalah contoh dari gelombang tegangan yang menghasilkan *flicker* yang disebabkan oleh sebuah busur bunga api, salah satu faktor paling umum penyebab fluktuasi tegangan pada transmisi dan distribusi sistem tenaga listrik. Sinyal flicker didefinisikan dengan besarnya rms tegangan dan dinyatakan sebagai persentase dari nilai dasarnya. *Flicker* tegangan diukur dengan sensitivitas mata manusia. Biasanya, *flicker* yang besarnya lebih rendah 0,5 persen dapat menyebabkan lampu nampak berkedip, jika frekuensi berada dalam kisaran antara 6 sampai 8 Hz. IEC 61000-4-15 mendefinisikan suatu metodologi dan spesifikasi untuk mengukur flicker.

IEEE mengadopsi standar yang berasal dari sistem tenaga 60Hz yang digunakan di Amerika Utara. Standar ini secara sederhana menggambarkan potensi cahaya berkelip melalui pengukuran tegangan. Metode pengukuran tersebut mensimulasikan lampu/mata/otak sebagai transfer fungsi dan menghasilkan suatu metrik dasar yang disebut sensasi flicker jangka pendek(Pst).

Nilai ini normalnya sampai 1,0, di mana nilai tersebut mempresentasikan tingkat fluktuasi tegangan yang cukup menyebabkan kedip 50 persen dari sampel yang diamati. Gambar 2.8 mengilustrasikan kecenderungan Pst yang merupakan hasil dari pengukuran pada bus gardu induk 161 kV yang melayani suatu beban yang menghasilkan busur api.. Sampel Pst sampel biasanya dilaporkan pada setiap interval 10-mnt.



Gambar 2.8

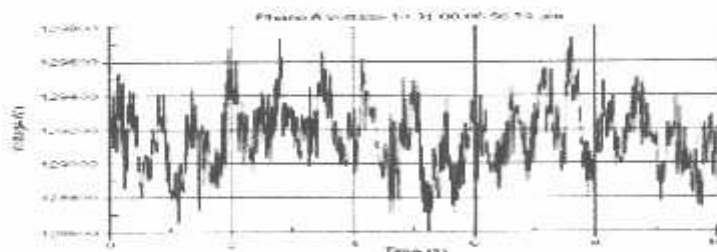
Pst pada bus gardu induk 161 kV

Sumber :Daily Archives: Februari 15, 2012 "Gangguan dalam Power Quality"

2.11 Definisi *Voltage Flicker*^[4]

Voltage flicker dapat didefinisikan sebagai fluktuasi tegangan yang cepat dari power supply yang mengakibatkan cahaya lampu berkedip, sehingga *voltage flicker* disebut juga sebagai kedip tegangan. *Flicker* dapat juga diartikan sebagai gangguan perubahan naik turun tegangan di sistem penyaluran tenaga listrik secara terus menerus yang diakibatkan oleh beban yang berdenyut-denyut (seperti: arc furnace, motor listrik, las listrik, dll).

Flicker terjadi ketika beban besar secara berkala yang diaktifkan dan dinonaktifkan dalam sistem distribusi yang lemah. Jika kapasitas hubungan pendek distribusi sistem tidak cukup besar, fluktuasi tegangan akan terjadi. Perubahan arus yang cepat terutama disebabkan karena komponen reaktif dari beban.



Gambar 2.9

Contoh Sinyal *Voltage Flicker*

Sumber :Daily Archives: Februari 15, 2012 "Gangguan dalam Power Quality"

Flicker diukur dengan sensitivitas mata manusia. Biasanya, *flicker* yang besarnya lebih rendah 0,5 persen dapat menyebabkan lampu nampak berkedip, jika frekuensi berada dalam kisaran antara 6 sampai 8 Hz.

IEEE mengukur *flicker* dengan mengadopsi standar yang berasal dari sistem tenaga 60Hz yang digunakan di Amerika Utara. Standar ini secara sederhana menggambarkan potensi cahaya berkedip melalui pengukuran tegangan. Metode pengukuran tersebut mensimulasikan lampu/mata/otak sebagai transfer fungsi dan menghasilkan suatu metrik dasar yang disebut sensasi *flicker* jangka pendek (Pst). Nilai ini normalnya sampai 1.0, di mana nilai tersebut mempresentasikan tingkat fluktuasi tegangan yang cukup menyebabkan kedip 50 persen dari sampel yang diamati. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan *flicker* antara lain:

1. Fluktuasi tegangan, tegangan berubah secara acak dan nilai magnitudenya tidak normal (diluar 0,9-1,0 p.u.).
2. Beban yang berubah dengan sangat cepat dan terus menerus/beban besar yang diaktifkan dan dinon-aktifkan.
3. Arus beban yang besar.
4. Busur bunga api
5. Voltage sag.
6. Mesin listrik.

Akibat yang dapat ditimbulkan oleh *flicker* antara lain:

1. Lampu terlihat berkedip.
2. Gangguan atau kerusakan pada peralatan yang memerlukan tegangan yang stabil untuk operasinya.

Solusi untuk mengatasi *voltage flicker* antara lain:

1. Mengubah waktu/pola operasi beban.
2. Meningkatkan kapasitas arus hubung singkat
3. Menyediakan pembantu daya reaktif.

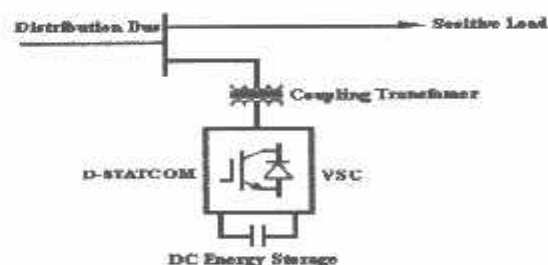
2.12 D-STATCOM (*Distribution Static Compensator*)^[7]

D-STATCOM dikategorikan sebagai teknologi baru dalam bidang kompensator daya reaktif. Pada rangkaiannya, D-STATCOM menggunakan rangkaian konverter yang terdiri dari komponen elektronika daya dan juga media

penyimpanan energi 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. 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. Sebagai contoh D-STATCOM dapat meningkatkan stabilitas tegangan sistem yang kemudian akan mengarah pada stabilitas kecepatan nominal motor induksi untuk mempertahankan kecepatan putaran nominalnya meskipun dalam keadaan torsi beban terus meningkat.

2.13 Model D-STATCOM (*Distribution Static Compensator*)⁶¹

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. 10

Diagram blok fungsional DSTATCOM

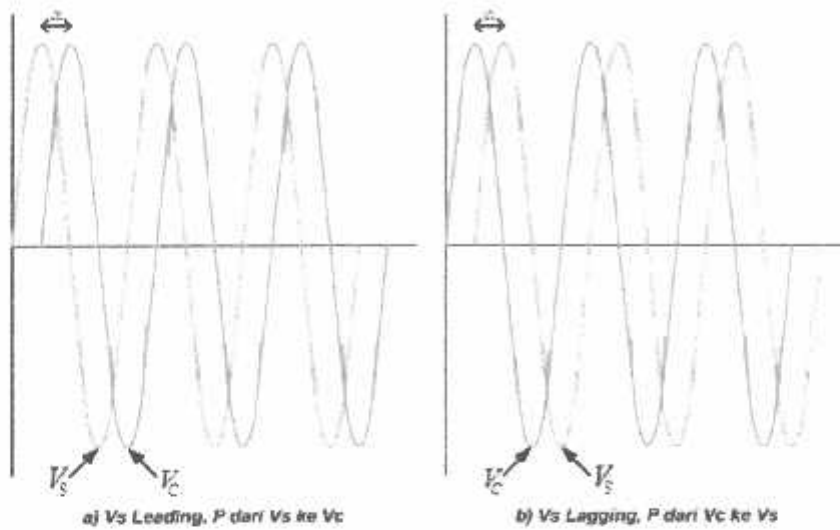
Sumber : Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(3): 152-158, 2012 ISSN: 2040-7467. Landfish Today, 10: 06 -12

Bentuk umum dari *Distribution Static Compensator* 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*.

2.14 Prinsip Kerja D-STATCOM (*Distribution Static Compensator*)

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

Secara terstruktur dapat diamati pada gambar 2.11 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 2.12

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 :

$$Q = \frac{V_s}{X_L} (V_c - V_s) \dots\dots\dots(2.2)$$

Untuk menghitung nilai tegangan rms pada setiap bus beban dengan D-STATCOM dan tanpa D-STATCOM :

$$V_{rms} = V_{with\ DSTATCOM} - V_{without\ DSTATCOM} \dots\dots\dots(2.3)$$

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 dai pada V_c , maka daya reaktif akan bernilai negatif yang menandakan sistem memiliki daya reaktif yang bersifat kapasitif.

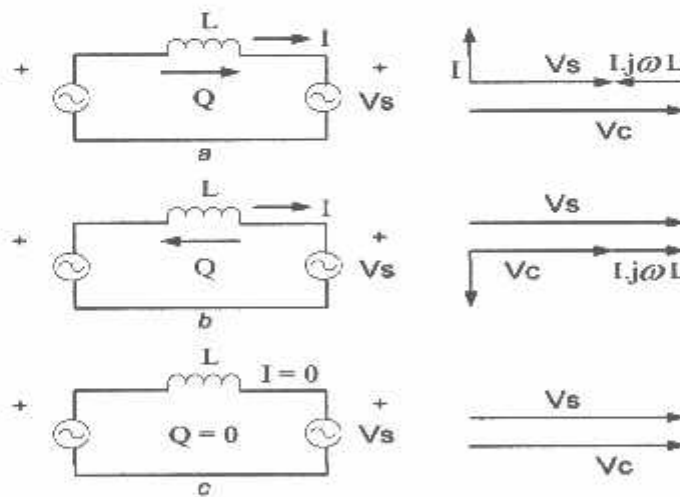
Perubahan nilai daya reaktif yang ada pada sistem inilah yang kemudian menjadi dasar pengoperasian D-STATCOM, sehingga D-STATCOM memiliki 3 jenis operasi kerja, yaitu :

1. Keadaan operasi kapasitif (Mode Kapasitif)
2. Keadaan operasi induktif (Mode Induktif)
3. Keadaan operasi tanpa beban

Untuk keadaan operasi tanpa beban, D-STATCOM tidak akan membangkitkan atau menyerap daya reaktif. Pada keadaan ini besarnya nilai V_C dan V_S adalah sama ($V_S = V_C$). Hal ini mengakibatkan daya reaktif yang berada pada DSTATCOM akan bernilai nol. Dalam persamaan 2.2 juga terlihat apabila V_S dan V_C bernilai sama, maka akan dihasilkan nilai daya reaktif yang bernilai nol. Pada saat V_C bernilai lebih besar dari V_S , D-STATCOM berada dalam keadaan operasi kapasitif.

Pada kondisi ini, DSTATCOM menganggap adanya reaktansi induktif di sisi terminal yang terhubung dengan sistem. Hal ini akan mengakibatkan daya reaktif mengalir dari D-STATCOM menuju sistem. Sementara apabila V_S bernilai lebih besar dari V_C maka D-STATCOM akan menganggap sistem sebagai reaktansi kapasitif. Hal ini akan mengakibatkan daya reaktif mengalir dari sistem menuju D-STATCOM. Dalam kondisi ini D-STATCOM dikatakan operasi dalam kondisi mode induktif.

Untuk memperjelas mengenai prinsip kerja dasar dan juga keadaan operasi D-STATCOM dapat dilihat pada gambar 2.13



Gambar 2. 13

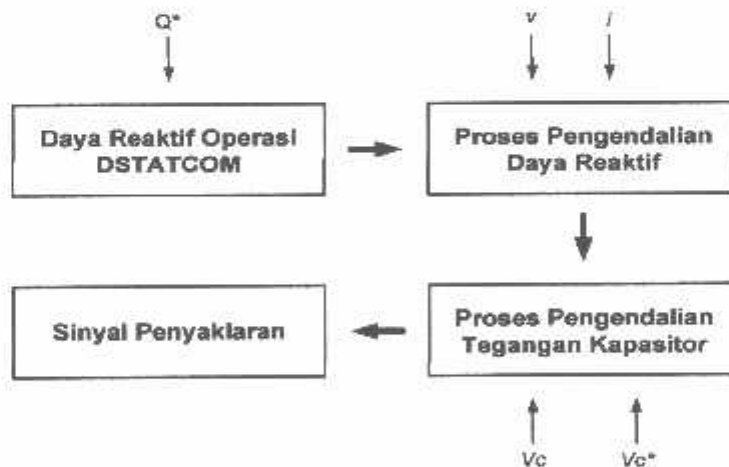
Prinsip Kerja D-STATCOM : a) Operasi Kapasitif,
b) Operasi Induktif, c) Operasi Tanpa Beban

2.15 Metode Pengendalian D-STATCOM (*Distribution Static Compensator*)^[6]

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 modulasi lebar pulsa (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 dengan menjaga nilai V_{dc} tetap. Alur proses pengendalian D-STATCOM secara umum dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 2.14

Alur Proses Pengendalian D-STATCOM

Alur tersebut menjelaskan proses pengendalian D-STACOM secara sederhana. Besarnya nilai daya reaktif yang bekerja pada sistem akan digunakan sebagai masukan untuk penentuan nilai kompensasi pada D-STATCOM. Selanjutnya akan dilakukan proses pengendalian daya reaktif dengan memasukkan nilai parameter tegangan dan arus dari sistem.

Pada tahap berikutnya, juga dilakukan proses pengendalian tegangan kapasitor dengan menggunakan nilai masukan tegangan kapasitor pada sistem dan tegangan kapasitor yang ditentukan. Dengan menggabungkan antara pengendalian daya reaktif dan tegangan kapasitor, selanjutnya akan digunakan untuk menentukan sinyal penyaluran yang berfungsi sebagai pengatur rangkaian konverter untuk menentukan besarnya tegangan D-STATCOM sebagai pengendalian daya reaktif.

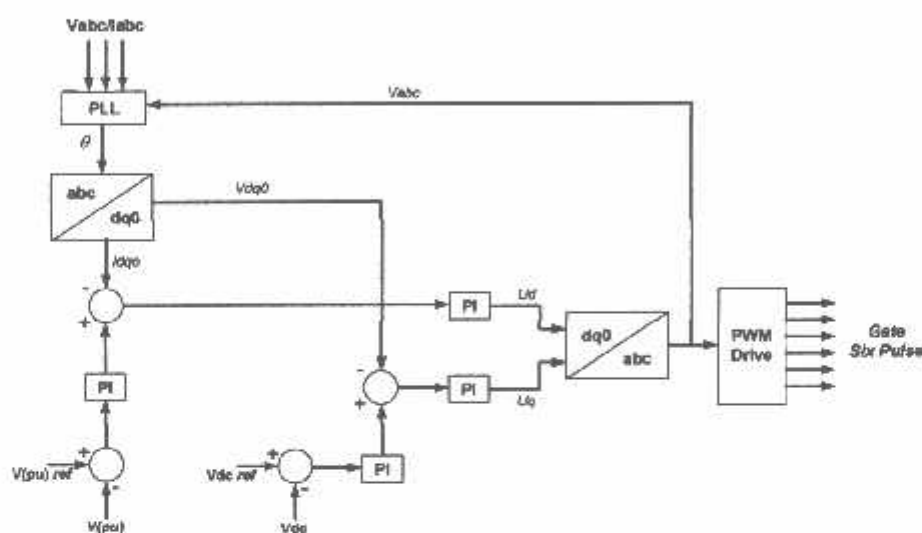
2.16 Kontrol PWM Sinusoida^[7]

Tujuan rencana kendali adalah untuk memelihara *magnitude* tegangan konstan suatu beban sensitif. Sistem kendali mengukur tegangan rms di titik beban. Strategi penyaluran VSC adalah didasarkan pada suatu teknik PWM sinusoidal. Suatu sinyal error diperoleh dengan membandingkan tegangan acuan dengan tegangan rms pengukuran di titik beban. pengontrol PI memproses sinyal error dan menghasilkan sudut penundaan yang diperlukan (δ) untuk membawa kesalahan itu menjadi nol. Sinyal yang diatur dibandingkan dengan suatu sinyal bersegi tiga (*carrier*) dalam rangka menghasilkan sinyal penyaluran untuk VSC. parameter utama dalam rencana sinusoidal PWM adalah index sinyal amplitudo modulasi (m_a) pada sinyal $V_{control}$, dan sinyal segi tiga pada index modulasi frekuensi (m_f). Index Amplitudo M_a dipertahankan tetappada 1 pu, dalam hal memperoleh komponen dasar tagangan tinggi pada pengontrol keluaran. frekwensi *Switching* ditetapkan pada 450 Hz, $M_f=9$, dan kasus pengujian dilakukan pada jaringan yang stabil.

Aksi Kontrol PWM Sinusoida Terhadap D-STATCOM adalah menerima dan memproses sinyal error dari sumber. Hasilnya kemudian dimasukan ke PWM Voltage Source Converter tiga fasa pada rangkaian utama. Dari hasil perhitungan arus referensi yang dihasilkan oleh sinyal error antara tegangan beban dengan tegangan referensi. Jadi sinyal yang diolah oleh PWM merupakan sinyal referensi

yang diperoleh dari hasil perhitungan tersebut. Sinyal referensi ini kemudian dimodulasikan dengan sinyal carrier (triangular wave) yang berupa sinyal gigi gergaji (saw tooth). Sinyal error ini berbentuk sinusoidal yang dimodulasikan dengan sinyal gigi gergaji sebagai sinyal carrier. Output dari PWM diatas digunakan untuk mentrigger rangkaian switching yang terdiri atas 6 IGBT tiap fasa terdiri dari 2 IGBT

2.17 Kontrol Jaringan



Gambar 2.15

Kontrol Jaringan dari Persamaan d-q Teory

Sumber : Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(3): 152-158, 2012 ISSN: 2040-7467. Landfish Today. 10: 06 -12.

Kontrol pada studi penggunaan D-STATCOM ini menggunakan kontrol matematis d-q teory. Kontrol tersebut akan digunakan untuk kontrol tegangan yang berbasis PWM dari referensi input matematis d-q teory. Tujuan dari sekema kontrol ini untuk menjaga agar tegangan tetap konstan pada sisi beban meskipun beban tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan tegangan ketika beroperasi ke sistem. Secara tidak langsung kontrol tegangan yang diberikan akan memberikan kontrol terhadap kecepatan nominal motor induksi meskipun torsi beban beroperasi terus meningkat. Oleh karena itu kontrol D-STATCOM dengan

menggunakan matematis d-q teory sangat efektif untuk meningkatkan stabilitas tegangan dan kecepatan nominal motor induksi.

Gamabr 2.15 menjelaskan alur proses kontrol D-STATCOM dengan matematis d-q teory. Pada rangkaian kontrol ini elemen 3 phasa kerangka acuan tetap tegangan dan arus pada beban (*load*) menjadi referensi input PLL (*Phase Locked Loop*) untuk diproses menjadi sebuah sudut (θ), sebagai salah satu input untuk mengubah menjadi elemen 2 phasa acuan bergerak *Direct-Quadrature* (dq). Sedangkan untuk mempresentasikan persamaan kerangka elemen 3 phasa (a, b, c) menjadi elemen 2 phasa *Direct-Quadrature* (dq), dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} Vq \\ Vd \\ V0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta-120^\circ) & \cos(\theta+120^\circ) \\ \sin\theta & \sin(\theta-120^\circ) & \sin(\theta+120^\circ) \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.4)$$

Selanjutnya proyeksi sistem ini menghasilkan tegangan dan arus (Vdq, Idq) dari beban. Untuk sinyal keluaran Idq dibandingkan dengan tegangan rms beban melalui rangkaian PI untuk membentuk sinyal Ud. Sehingga D-STATCOM akan mendeteksi kondisi tegangan rms dan arus 3 phasa (a, b, c) pada sistem. sedangkan sinyal keluaran Vdq dibandingkan dengan sumber DC kapasitor pada VSC melalui rangkaian PI untuk membentuk sinyal Uq. Sehingga D-STATCOM bekerja menginjeksikan maupun menyerap daya reaktif pada sistem.

Hasil keluaran sinyal (Ud, Uq) adalah referensi elemen 2 phasa acuan bergerak yang diubah menjadi elemen 3 phasa acuan tetap (kompensasi), dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 1 \\ \cos(\theta-120^\circ) & \sin(\theta-120^\circ) & 1 \\ \cos(\theta+120^\circ) & \sin(\theta+120^\circ) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vq \\ Vd \\ V0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.5)$$

Sehingga dari persamaan tersebut menghasilkan sinyal output (Ua, b, c) yang akan dijadikan masukan pada kontrol modulasi lebar pulsa (PWM). Persamaan tersebut berlaku untuk transformasi arus maupun tegangan dari tiga fasa menjadi dua fasa maupun sebaliknya, serta dapat digunakan untuk sistem kontrol dengan tiga input menjadi dua output atau sebaliknya, terkecuali dengan transformasi khusus ($\alpha\beta 0$).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation

PSCAD (*Power System Computer Audit Design*) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD 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 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, GTOs, IGBTs*
- *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*

3.2 Data-Data Dari UPJ Dinoyo

Data- data yang diambil dari UPJ Dinoyo untuk menyelesaikan skripsi ini terdiri dari :

1. *Single Line Diagram* UPJ Dinoyo
2. Data Transformator
3. Data Beban

Data-data yang di ambil dari UPJ Dinoyo akan digunakan untuk proses simulasi sistem dalam program PSCAD untuk mengetahui terjadinya *voltage flicker*.

3.3 Proses Running Simulasi Sistem Dengan Program Software PSCAD

Pada proses running simulasi ini di lakukan untuk mengetahui terjadinya *voltage flicker* pada jaringan distribusi 20 kV di UPJ Dinoyo dengan menggunakan software PSCAD. Dengan mensimulasikan sistem,maka dapat mengetahui terjadinya *voltage flicker* yang akan ditampilkan dalam bentuk grafik.Untuk menghitung *voltage flicker*,maka akan di gunakan persamaan (2.1) dan (2.2) untuk mengetahui apakah gangguan *voltage flicker* terhadap tegangan yang di hasilkan pada sistem distribusi di Dinoyo 20 kV melebihi standar yang ditetapkan IEEE 141-1993 and 519-1992 yaitu nilainya tidak boleh kurang dari 0.9 pu dan tidak boleh lebih dari 1.0 pu.Jika dalam proses running simulasi dan perhitungan melebihi standar maka harus di lakuakan kompensasi agar tidak mengganggu kualitas tegangan rms yang di hasilkan oleh sistem distribusi di Dinoyo.Dalam proses kompensasi akan dilakukan dengan pemasangan D-STATCOM dengan kontrol PWM.

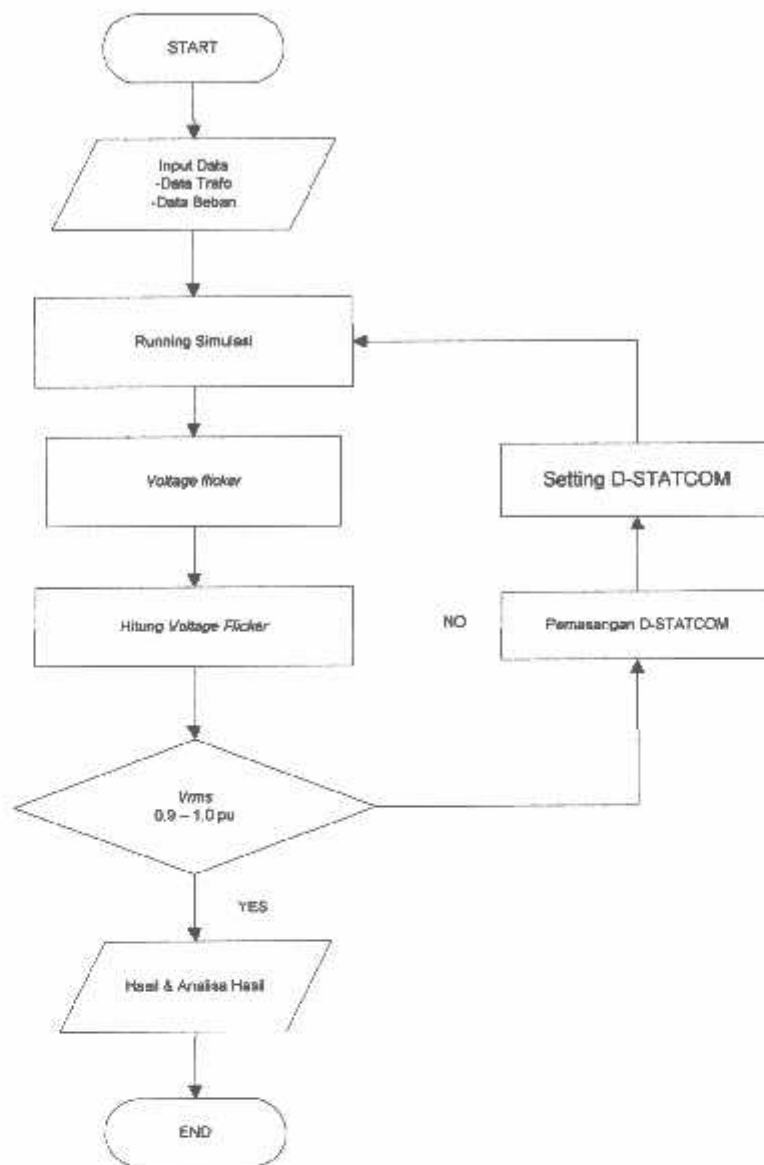
3.4 Penempatan Gangguan *Voltage Flicker*

Untuk mengetahui nilai tegangan rms maka proses penempatan gangguan *voltage flicker* sendiri akan di lakukan pada bus beban

3.5 Pemasangan D-STATCOM (*Distribusi Static Kompensator*)

Pemasangan D-STATCOM dilakukan untuk mengatasi terjadinya *voltage flicker* yang berpengaruh terhadap tegangan yang di hasilkan.D-STATCOM sendiri akan di pasang pada bus beban sehingga dapat memperbaiki gangguan *voltage flicker* terhadap tegangan rms yang dihasilkan.Dengan kontrol PWM,D-STATCOM mendapat tegangan referensi yang dapat mengatasi terjadinya *voltage flicker*.Dalam proses pengendalian D-STATCOM akan bekerja secara otomatis sehingga dapat mengatasi gangguan *voltage flicker*.Untuk mengetahui hasil dari proses pemasangan D-STATCOM dapat dilihat dalam bentuk grafik.Dalam proses pengendalian D-STATCOM akan di *setting* menggunakan dengan menggunakan *time breaker logic* dimana ketika dalam keadaan *close* maka D-STATCOM tidak akan bekerja sedangkan dalam keadaan *open* maka D-STATCOM akan bekerja.

3.6 Flowchart Desain dan Simulasi Sistem Dengan Distribusi Static Kompenstator(DSTATCOM)

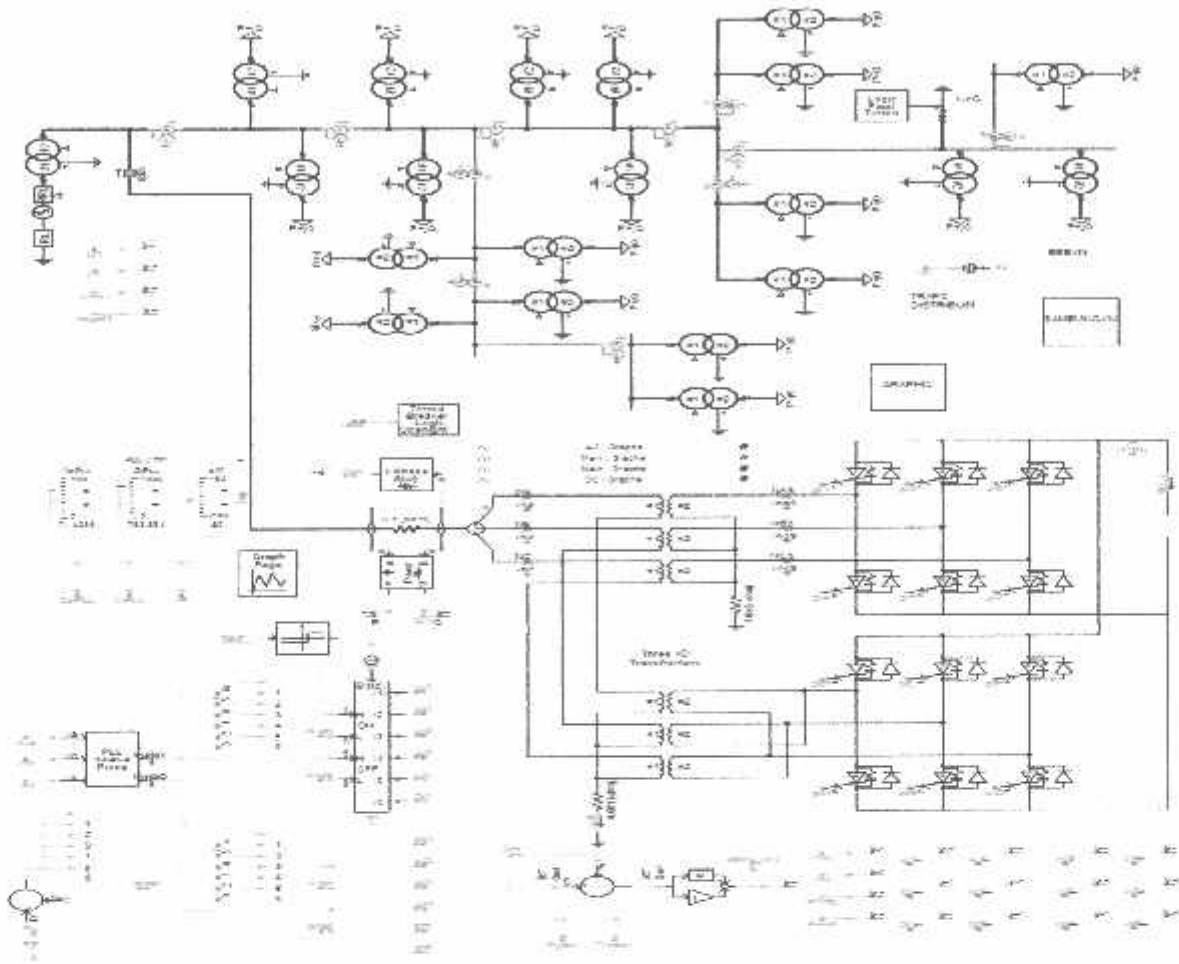


Gambar 3.1
Flowchart Analisa Penggunaan D-STATCOM

BAB IV

HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1 Single Line Sistem Kelistrikan 20 kV di UPJ Dinoyo



Gambar 4.1

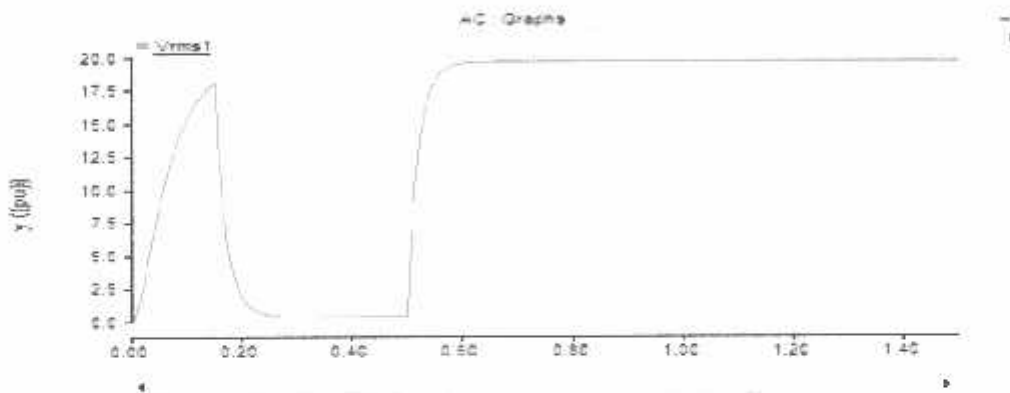
Single line sistem distribusi 20 kV Penyulang Dinoyo

Unit Pelayanan Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV Dinoyo merupakan area pelayanan jaringan distribusi yang disuplay dari Gardu Induk Sengkaling dengan kapasitas 150 kV dengan daya 30 MVA dan memiliki 8 penyulang dan salah satunya adalah penyulang Dinoyo. Jumlah trafo yang terdapat pada penyulang Dinoyo adalah 97 trafo yang dengan daya yang berbeda-beda menyuplai arus ke konsumen di sekitar area jaringan distribusi Dinoyo. Sistem Distribusi Tegangan Menengah Dinoyo merupakan sistem jaringan distribusi radial.

4.2 Data Hasil Program PSCAD Sebelum Pemasangan D-STATCOM

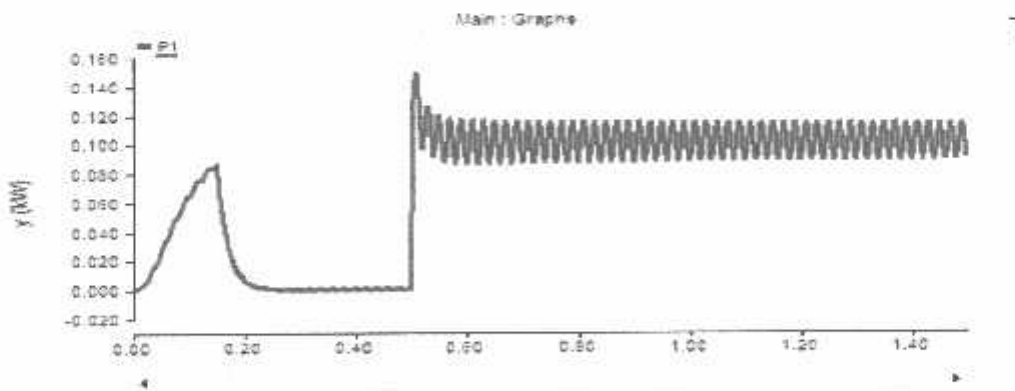
Pada simulasi awal komponen D-STATCOM tidak melakukan kompensasi sama sekali. D-STATCOM tidak memberikan suplai VAR maupun penyerapan VAR pada beberapa kondisi pengujian, maka akan diketahui perbedaan kondisi sistem sebelum dan sesudah pemasangan D-STATCOM. Sebagai hasil program pada skripsi ini menggunakan *software PSCAD V.4.2* dengan hasil sebagai berikut :

4.3 Grafik Sistem sebelum pemasangan D-STATCOM :



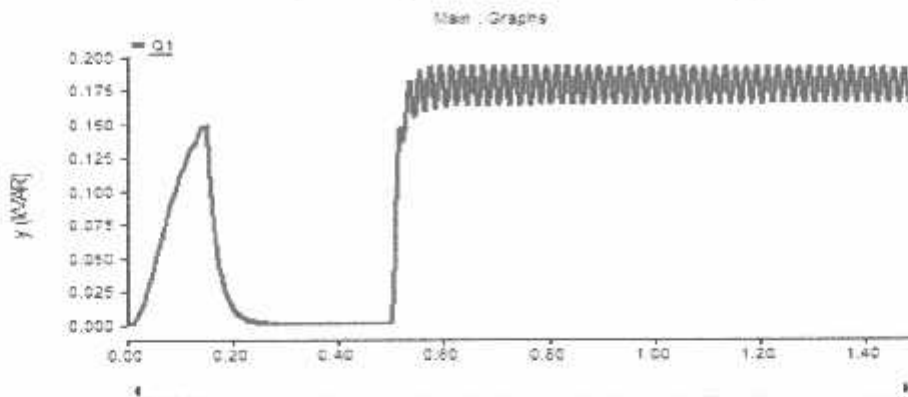
Gambar 4.2 Grafik Tegangan rms Sebelum Pemasangan D-STATCOM

Pada saat $t=0.0$ s sampai 0.2 s tegangan rms naik menjadi $v=17.5$ kV namun pada $t=0.2$ s sampai 0.5 tegangan rms turun menjadi 0.0 , ini disebabkan karena mengalami gangguan tiga fasa. Setelah $t=0.5$ s sampai 1.4 tegangan rms kembali normal menjadi 20 kV



Gambar 4.3 Grafik Daya Aktif Sebelum Pemasangan D-STATCOM

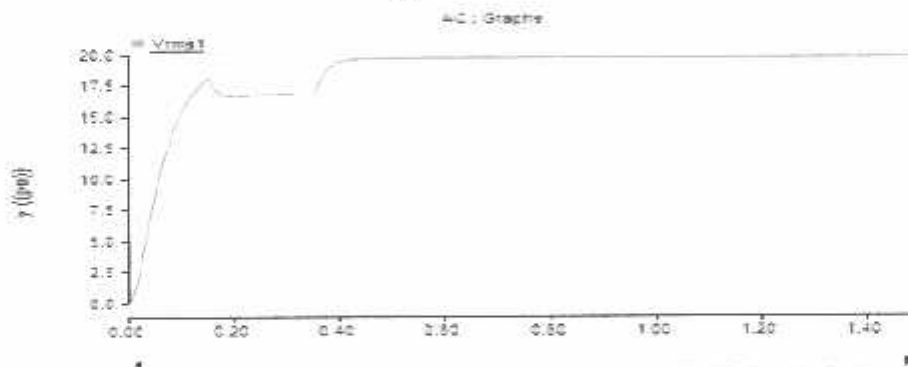
Pada saat $t=0.0$ s sampai 0.2 s daya aktif turun menjadi $P=0.8$ kW namun pada $t=0.2$ s sampai 0.5 s turun lagi menjadi 0.0 , ini disebabkan karena mengalami gangguan tiga fasa. Setelah $t=0.5$ s sampai 1.4 s daya aktif kembali normal menjadi 20 kW



Gambar 4.4 Grafik Daya Reaktif Sebelum Pemasangan D-STATCOM

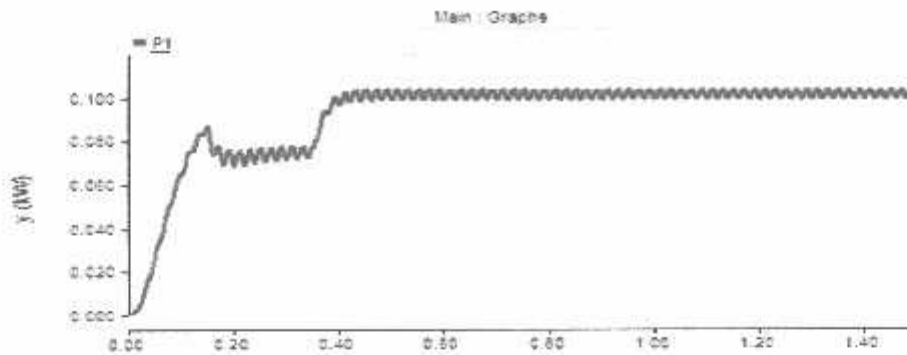
Pada saat $t=0.0$ s sampai 0.2 s daya reaktif turun menjadi 0.15 kVAr namun pada $t=0.2$ s sampai 0.5 s daya reaktif turun lagi menjadi 0.0 , ini disebabkan karena mengalami gangguan tiga fasa. Setelah $t=0.5$ s sampai 1.4 s daya reaktif kembali normal menjadi 20 kVAr

4.4 Grafik Sistem Setelah Pemasangan D-STATCOM



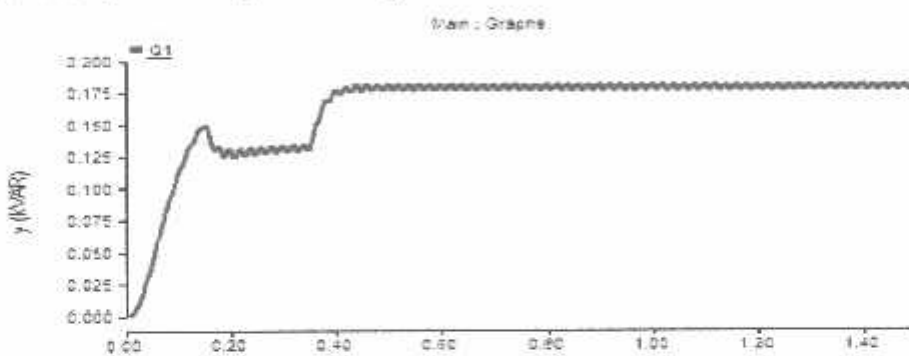
Gambar 4.5 Grafik Tegangan rms Setelah Pemasangan D-STATCOM

Pada saat $t=0.0$ s sampai 0.2 s tegangan rms naik menjadi $v=17.5$ kV ini mengalami perbaikan dengan pemasangan D-STATCOM dan pada saat $t=0.4$ s sampai 1.4 s tegangan rms menjadi normal kembali.



Gambar 4.6 Grafik Daya Aktif Setelah Pemasangan D-STATCOM

Pada saat $t=0.0$ s sampai 0.2 s daya aktif menjadi $v=0.8$ kV dan tidak mengalami penurunan lagi, ini mengalami perbaikan dengan pemasangan D-STATCOM dan pada saat $t=0.4$ s sampai 1.4 s daya aktif menjadi normal kembali.



Gambar 4.6 Grafik Daya Reaktif Setelah Pemasangan D-STATCOM

Pada saat $t=0.0$ s sampai 0.2 s daya reaktif menjadi $v=0.15$ kV dan tidak mengalami penurunan lagi, ini mengalami perbaikan dengan pemasangan D-STATCOM dan pada saat $t=0.4$ s sampai 1.4 s daya reaktif menjadi normal kembali.

4.5 Tabel Data Hasil Sebelum Dan Sesudah Pemasangan D-STATCOM

Dari grafik yang di lihat diatas menunjukkan hasil pengukuran gangguan *voltage flicker* pada bus beban sebelum dan sesudah pemasangan D-STATCOM dan untuk mengetahui hasil pengukuran gangguan *voltage flicker* pada bus beban maka dapat di lihat pada tabel 4.1 dan 4.2 di bawah ini:

Tabel 4.1 Perbandingan hasil pengukuran tegangan rms dan sudut pada setiap bus beban saat gangguan *voltage flicker* sebelum pemasangan D-STATCOM dan sesudah pemasangan D-STATCOM

No	Bus	Tanpa D-STATCOM		Dengan D-STATCOM	
		Tegangan (pu)	Sudut Fasa (rad)	Tegangan (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1	0.099436995	-2.028891991	0.089775322	-0.518082934
2	2	0.098743026	-2.629521476	0.087567333	-0.580946853
3	3	0.098582006	-2.137643572	0.088445192	-0.714568999
4	4	0.098500926	-2.197206144	0.074515217	-0.839958073
5	5	0.098643342	-2.260133595	0.083527763	-0.714573724
6	6	0.099516908	-2.325981281	0.062328432	-0.777269745
7	7	0.865194819	-2.46367554	0.846324632	-0.651778481
8	8	0.91865797	-2.533841769	0.086374224	-0.589027955
9	9	0.89047966	-2.603692378	0.062734824	-0.463420072
10	10	0.947724078	-2.672381392	0.073463852	-0.589074283
11	11	0.978921635	-2.739156369	0.086743282	-0.902642835
12	12	0.978921635	-2.803415351	0.089473682	-0.902657829
13	13	0.84221967	-2.609301826	0.073648234	-0.839945635
14	14	0.865194819	-2.58082062	0.073624221	-0.83243822
15	15	0.84221967	-2.592993891	0.072354347	-0.958139514
16	16	0.865194819	-2.57267071	0.074362811	-0.828737983
17	17	0.865194819	-2.568082994	0.083242111	-0.891584348
18	18	0.84221967	-2.56631382	0.073742113	-0.954455664
19	19	0.098752465	-2.568082994	0.836437141	-0.643821152
20	20	0.098582006	-2.629521476	0.087422343	-0.518082934

Tabel 4.1 menunjukkan data-data hasil pengukuran tegangan rms dan sudut fasa pada bus beban sebelum dan sesudah pemasangan D-STATCOM .Pada saat gangguan *voltage flicker* dan sebelum pemasangan D-STATCOM tegangan rms mengalami penurunan yang sangat signifikan dan setelah pemasangan D-STATCOM tegangan rms mengalami perbaikan sampai 80 %.

Tabel. 4.2 Perbandingan hasil pengukuran daya aktif dan daya reaktif pada bus beban saat gangguan *voltage flicker* sebelum pemasangan D-STATCOM dan sesudah pemasangan D-STATCOM

No	Dari Bus	Ke Bus	Tanpa D-STATCOM		Dengan D-STATCOM	
			P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)
1	1	2	1001.897945	273.7726431	1258.191686	737.6627475
2	2	3	977.732334	196.7341907	1143.873533	705.5359777
3	3	4	406.0705759	66.59776187	68.9276717	651.5915974
4	4	5	162.6234735	302.7379932	685.1039665	651.973841
5	5	6	615.3523792	110.8200713	1637.301026	252.0167707
6	3	9	912.1689597	111.3556593	3132.341075	254.0288759
7	9	10	917.4167257	882.5726665	2.231696014	1.917519994
8	10	11	242.1033879	363.7508375	598.3122434	799.8499713
9	10	12	0.028558531	219.7916646	885.2659443	577.0167076
10	10	13	9.873955426	162.9835793	703.9777072	561.5362714
11	13	14	199.6280771	514.1219848	702.1010135	129.6036335

Tabel 4.2 menunjukkan data-data hasil pengukuran daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) sebelum dan sesudah pemasangan D-STATCOM. Pada saat terjadi gangguan *voltage flicker*, daya aktif dan reaktif mengalami penurunan, dan untuk mengatasi gangguan tersebut maka dilakukan pemasangan D-STATCOM. Setelah pemasangan D-STATCOM maka daya aktif dan daya reaktif mengalami perbaikan.

4.6 Analisa Hasil Sebelum Dan Sesudah Pemasangan D-STATCOM

1. Terlihat pada tabel 4.1 dan 4.2 bahwa hasil rekapitulasi perhitungan rata-rata nilai tegangan, daya aktif dan daya reaktif sebelum pemasangan D-STATCOM pada saluran distribusi UPJ Dinoyo sebesar :

$$V = 10.02428201 \text{ kV}$$

$$P = 5444.896372 \text{ kW}$$

$$Q = 3205.239052 \text{ kVar}$$

2. Sedangkan hasil rekapitulasi rata-rata nilai tegangan ,daya aktif ,dan daya reaktif setelah pemasangan D-STATCOM yang terlihat di tabel 4.1 dan 4.2 pada saluran distribusi UPJ Dinoyo sebesar :

$$V = 182.4650184 \text{ kV}$$

$$P = 10817.62756 \text{ kW}$$

$$Q = 5322.733914 \text{ kVar}$$

Untuk mengetahui nilai hasil perbaikan tegangan rms akibat gangguan *voltage flicker* sebelum pemasangan D-STATCOM adalah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.3) yaitu sebelum pemasangan D-STATCOM nilai tegangan rms adalah 0.911298365 pu dan sesudah pemasangan D-STATCOM adalah 0.86765424 pu jadi hasil nilai perbaikan tegangan rms akibat gangguan *voltage flicker* adalah 15.67643058 pu.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Pengaruh pemasangan D-STATCOM (*Distribution Static Compenstator*) pada sistem kelistrikan 20 kV di UPJ Dinoyo kualitas tegangan rms akibat gangguan *voltage flicker* dengan menggunakan software PSCAD/EMTDC 4.2 Power System Simulation maka dapat diambil kesimpulan :

1. Penggunaan D-STATCOM untuk mitigasi *voltage flicker* dimana D-STATCOM dapat menstabilkan tegangan rms yang diakibatkan oleh pengaruh gangguan *voltage flicker* yang terjadi akibat pemakaian beban-beban besar.
2. Pada simulasi gangguan *voltage flicker*, D-STATCOM dapat menunjukan perbaikan yang lebih baik dalam mempertahankan kualitas tegangan rms pada sistem.
3. Pada kondisi gangguan *voltage flicker* tegangan mengalami perbaikan 0.911298365 pu menjadi 0.86765424 pu.

5.2. Saran

Perlu diketahui bahwa sistem tenaga listrik di Indonesia khususnya di Unit Pelayanan Jaringan 20 kV di Dinoyo Malang masih sangat perlu untuk selalu memperbaiki dan meningkatkan kualitas tegangan yang dihasilkan dari sumber akibat gangguan dari pemakaian beban-beban besar seperti yang dijabarkan dalam skripsi ini Penggunaan DSTATCOM untuk mengatasi gangguan berupa naik turunnya tegangan yang tidak stabil. Oleh karna UPJ Dinoyo merupakan area/lokasi yang berada di tengah-tengah kota maka diperlukam penyuplaian sumber tegangan listrik yang optimal dan menjaga agar tidak terjadi gangguan tegangan listrik yang dapat mengganggu aktifitas pelanggan. Selain dari pada itu DSTATCOM sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas tegangan dan dapat mengatasi gangguan berupa naik turunnya tegangan pada sistem.

DAFTAR ISI

- [1]. Diklat Penerangan PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur APJ Malang, UPJ Rayon Dinoyo
- [2]. Basri Hasan, "*Sistem Distribusi Daya Listrik*" ,(Jakarta:ISTN,1997)
- [3]. *Electrical Power Systems Quality* by Roger C. Dugan ... Published December 31st 1996 by McGraw-Hill Companies (first published October 1st 1995)
- [4]. Daily Archives: Februari 15, 2012 "*Gangguan dalam Power Quality*"
- [5].Javanbakht. Pirooz. And A.Mehrdad.2008. *The Enhancement of Dynamic Performance of Cascade Induction Motors Using SVC and DSTATCOM*. Amirkabir University of Technology, 10: 415-424-08
- [6]. Khorrami, Navid. 2012. *Simulation and Modeling of 24-Pulse D-STATCOM in EMTDC/PSCAD Program in Order to Regulate Voltage and Dynamic Stability Improvement*. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(3):152-158, 2012 ISSN: 2040-7467. Landfish Today. 10: 06 -12.
- [7]. Nakhoda, Ismail, Y dan Hasan, Rahayu, S. 2008. Perbaikan kualitas tegangan menggunakan kompensasi *Dynamic Voltage restore (DVR)* dan *Distribution Static Compensator (D-STATCOM)* dengan *software PSCAD/EMTDC Power Simulation*. Landfish Today. 22: 10-12.
- [8]. *Power Quality Primer (Electrical Engineering Primer)* by Barry W. Kennedy (Sep 26, 2000).
- [9]. A. Gole and L. Palav, "Modeling of custom power devices in PSCAD/EMTDC," *Centre.J.*, Summer 1998.

LAMPIRAN



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini:

Nama : ANSELMUS DACOSTA TEFNAL
 NIM : 1012029
 Semester : IX
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro S-I
 Konsentrasi : **TEKNIK ENERGI LISTRIK**
TEKNIK ELEKTRONIKA
TEKNIK KOMPUTER DAN INFORMATIKA
TEKNIK KOMPUTER
TEKNIK TELEKOMUNIKASI
 Alamat : Karanglo

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, 16 September2014
 Pemohon


[Handwritten signature]
 (...f...)

[Handwritten signature]

2
 1
 persetujuan
 Bagi mah


BERITA ACARA RAPAT PERSETUJUAN JUDUL/PROPOSAL SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK

Tanggal :

1.	NIM	1012029
2.	Nama	ANSELMUS DA COSTA TEFNAI
3.	Judul yang diajukan	Analisa Penggunaan D-STATCOM Untuk Mitigasi Voltage Flicker Pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV di UPJ, Dimeyo
4.	Disetujui/Ditolak	
5.	Catatan:	
6.	Pembimbing yang diusulkan:	1. Dir made wartana MT 2. Rechoiral sales MT
Menyetujui 1. Koordinator Dosen Kelompok Keahlian  15/10/2018 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

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 Surat : ITN-241/EL-FTI/2014

kepada : -

hal : BIMBINGAN SKRIPSI

kepada : Yth. Bapak/Ibu Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa

Nama : ANSELMUS DA COSTA TEFNAL
Nim : 1012029
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 Ganjil Tahun Akademik 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

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 Karangjo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

nomor Surat : ITN-241/EL-FTI/2014

keperluan : -

keperluan : BIMBINGAN SKRIPSI

kepada : Yth. Bapak/Ibu **Ir. Choirul Saleh, MT**
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa

Nama : ANSELMUS DA COSTA TEFNAI
Nim : 1012029
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 Ganjil Tahun Akademik 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



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**


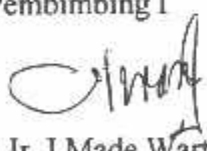
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

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

1.	Nim	: 1012029		
2.	Nama	: ANSELMUS DA COSTA TEFNAI		
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Energi Listrik		
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat	
	21 Oktober 2014	09:00	III.1.1	
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISIS PENGGUNAAN D-STATCOM UNTUK MITIGASI VOLTAGE FLICKER PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH(JTM)20 KV DI UPJ DINOYO		
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian			
7.	Catatan :	<i>- Letak balok belum terakot & masalah up & pemalasan</i> <i>- Flow chart terlalu umum.</i> <i>- Metode pemasangan D STATCOM belum jelas.</i>		
8.	Catatan :			
	Persetujuan judul Skripsi			
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II	Disetujui, Dosen Keahlian III	
	(.....)	(.....)	(.....)	
	Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 <i>M. Ibrahim Ashari</i> M. Ibrahim Ashari, ST, MT NIP. P 1030100358	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs		
		Pembimbing I	Pembimbing II	
		(.....)	(.....)	



BERITA ACARA SEMINAR PROGRESS SKRIPSI PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1

KONSENTRASI	Energi Listrik			
1.	Nama Mahasiswa	ANSELMUS DA COSTA TEFNAI	NIM	1012029
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat / Ruang
	Pelaksanaan			
3.	Judul Skripsi	ANALISIS PENGGUNAAN D-STATCOM UNTUK MITIGASI VOLTAGE FLICKER PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH(JTM)20 KV DI UPJ DINOYO		
4.	Perubahan Judul	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>		
Catatan : <ol style="list-style-type: none"> 1. Urutan. Latar belakang & perbelanjaan 2. Kajian pistribusi beban, di belanda 3. Rumusan masalah dan tujuan, perlu & tidaknya menggunakan 4. Apa yg diteliti dan pd D statcom utk mitigasi voltage flicker 5. Flowchart & lampiran 6. Simulasi dan progress dalam belanda & presentasi 				
Mengetahui, Ketua Jurusan		Disetujui, Dosen Pembimbing		
 <u>M. Ibrahim Ashari, ST, MT</u>		Pembimbing I  Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT	Pembimbing II Ir. Choirul Saleh, MT	



Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

lam Pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T.Energi Listrik,/
Elektronika, /T. Komputer, / T. Telekomunikasi, Maka Perlu Adanya Perbaikan Skripsi Untuk Mahasiswa:

nama : Anselmus da Costa T.
NIM : 1012029
Perbaikan Meliputi :

Revisi :- Voltage flicker sebelum dan sesudah
dipasang D-Statcom /
- Tabel 4-1
- Grafik daya aktif
- Satuan pa. Tabel 4-1

Malang, 31 - 08 - 2015

(.....)



Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

am Pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T.Energi Listrik,
Elektronika, /T. Komputer, / T.Telekomunikasi, Maka Perlu Adanya Perbaikan Skripsi Untuk Mahasiswa:


na : Anselmus Da Costa T.
NIM : 1012029
Perbaikan Meliputi :

Revisi hasil penelitian

tabel 4.1

Dan kesimpulan point 3.

Malang,.....20


(.....)



JL. BASUKI RACHMAD No. 100 MALANG 651111

Telepon : (0341) 326034 - 035
Kotak Pos : 18

Facsimile : (0341) 362046
E-mail : plnmig@pln-jatim.co.id

Website : www.pln-jatim.co.id

Nomor : 6882 /330/AREA-MLG /2014
Surat Sdr.No. :
Tempiran : -
Perihal : Survey

29 Desember 2014

Kepada :
ITN MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
Jurusan Teknik Energi Listrik
Jl. Bendungan Sigura gura No. 2
M a l a n g – 65145

Menindak lanjuti surat Saudara No.ITN-288/EL-HTI/2014 perihal Survey Pengambilan Data Skripsi, maka dengan ini kami beritahukan bahwa kami mengizinkan mahasiswa Saudara atas nama :

1. Anselmus Da Costa Tefnai Nim : 1012029

Untuk melaksanakan Pengambilan Data di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Malang Rayon Dinoyo Jl. MT. Haryono 189 - .Malang.

Pelaksanaan mulai tanggal 29 Desember 2014 sampai dengan tanggal 15 Januari 2015 dengan persyaratan :

1. Mahasiswa tersebut mengisi surat pernyataan (terlampir) dilengkapi dengan pas foto ukuran 3x4 cm (1 lembar) dan di serahkan ke Bidang SDM.
2. PLN hanya memberikan data yang **TIDAK BERSIFAT RAHASIA**.
3. Menyerahkan buku laporan hasil Riset/Survey/Observasi dan softcopynya ke Bidang SDM, PT. PLN (Persero) Dist. Jatim Area Malang 1 (satu) buah.

Demikian disampaikan, atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala puja dan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dan atas dukungan dan doa dari orang-orang tercinta, akhirnya skripsi ini dapat di rampungkan dengan baik dan tepat pada waktunya.

Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya khaturkan rasa syukur dan terima kasih saya kepada :

Tuhan YME, karena hanya atas izin dan karuniannya maka skripsi ini dapat dibuat dan selesai pada waktunya. Puji syukur yang tak terhingga pada Tuhan penguasa alam yang telah meridohi dan mengabdikan segala doa.

Bapak dan ibu saya, yang telah memberikan dukungan moril maupun materi serta doa yang tiada henti untuk kesuksesan saya, karena tiada kata seindah lantunan doa dan tiada doa yang paling khusuk selain doa yang terucap dari orang tua. Ucapan terima kasih saja takkan pernah cukup untuk membalas kebaikan orang tua, karena itu terimalah persembahan bakti dan cinta ku untuk kalian bapak ibuku.

Bapak dan ibu Dosen pembimbing, penguji dan pengajar, yang selama ini telah tulus dan ikhlas meluangkan waktunya untuk menuntun dan mengarahkan saya , memberikan bimbingan dan pelajaran yang tiada ternilai harganya, agar saya menjadi lebih baik. Terimakasih banyak Bapak dan Ibu dosen, jasa kalian akan terpatri di hati

Saudara dan saudari saya (Adik), yang senantiasa memberikan dukungan ,semangat senyum dan doanya untuk keberhasilan ini, cinta kalian adalah memberikan kobaran semangat yang menggebu, terimakasih dan sayung ku untuk kalian.

Sahabat dan Teman Tersayang, tanpa semangat , dukungan dan bantuan kalian semua takkan mungkin aku sampai di sini, terima kasih untuk canda tawa, tangis dan perjuangan yang kita lewati bersama dan terima kasih untuk kenangan termanis yang telah mengukir selama ini. Dengan perjuangan dan kebersamaan kita pasti bias! Semangat!!

Terima kasih yang sebesar-besarnya untuk kalian semua, akhir kata saya persembahkan skripsi ini untuk kalian semua ,orang-orang yang saya sayangi. Dan semua skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna untuk kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang, Aamiinnn

"orang berilmu tentu memiliki kepribadian tangguh yang bias membawa diri, keluarga dan orang lain menuju kebahagiaan ,serta bernilai manfaat bagi sesame "

Analysis and Simulation of a D-STATCOM for Voltage Quality Improvement

M. SajediHir, Y. Hoseinpoor, P. MosadeghArdabili, T. Pirzadch

Department of Electrical Engineering, Bilasuvar Moghan Branch, Islamic Azad University, Bilasuvar, Iran.

Abstract: Voltage flicker is a major power quality concern for both power companies and customers. This paper discusses the dynamic performance of a (D-STATCOM) with ESS for mitigation of voltage flicker. The (D-STATCOM) is intended to replace the widely used static var compensator (SVC). A Distribution Static Synchronous Compensator (D-STATCOM) is used to regulate voltage on a 25-kV distribution network. The (D-STATCOM) protects the utility transmission or distribution system from voltage sag and /or flicker caused by rapidly varying reactive current demand. The (D-STATCOM) regulates bus voltage by absorbing or generating reactive power. This voltage is provided by a voltage-sourced PWM inverter. The simulation is carried out using MATLAB/SIMULINK and the simulation results illustrate the performance of (D-STATCOM) in mitigation of voltage flicker.

Key words: Power Quality, Energy Storage System (ESS), D-STATCOM, Voltage Flicker, Synchronous Reference Frame (SRF).

INTRODUCTION

Utility and customer-side disturbances result in terminal voltage fluctuations, transients, and waveform distortions on the electric grid. Power electronic controllers for distribution systems, namely custom power devices, are able to enhance the reliability and quality of power that is delivered to customers (Hingorani, 1995).

A distribution static compensator or D-STATCOM is a fast response, solid-state power controller that provides flexible voltage control at the point of connection to the utility distribution feeder for power quality (PQ) improvements. It can exchange both active and reactive power with the distribution system by varying the amplitude and phase angle of the converter voltage with respect to the line terminal voltage, if an energy storage system (ESS) is included into the dc bus. The result is a controlled current flow through the tie reactance between the D-STATCOM and the distribution network. This enables the D-STATCOM to mitigate voltage fluctuations and to correct the power factor of weak distribution systems in instantaneous real-time (Song and Johns, 1999). In general, the D-STATCOM can be utilized for providing voltage regulation, power factor correction, harmonics compensation and load leveling (Hingorani and Gyugyi, 2000).

During the transient conditions the D-STATCOM provides leading or lagging reactive power to active system stability, power factor correction and load balancing and /or harmonic compensation of a particular load (IEEE PES working group, 1996),(Hingorani and Gyugyi, 2000)

The D-STATCOM has emerged as a promising device to provide not only for voltage sags mitigation but a host of other power quality solutions such as voltage stabilization, flicker suppression, power factor correction and harmonic control (Reed et al 1999). The D-STATCOM has additional capability to sustain reactive current at low voltage, reduce land use and can be developed as a voltage and frequency support by replacing capacitors with batteries as energy storage (Taylor, 1995). The proposed multi-level control scheme for the integrated D-STATCOM/BESS device is based on concepts of instantaneous power on the synchronous-rotating dq reference frame (Schauder and Mehta, 1993). This paper presents a model for (D-STATCOM) for voltage flicker mitigation. The most commonly used methods for compensation of voltage flicker is by regulating the Electric Arc Furnace (EAF) passive components (Esfandiari and Parmiani, 2004),(Montanari et al 1993), (Marshall, 1997), static VAR compensator (SVC) and D-STATCOM.

Basic Configuration and Operation of D-STATCOM:

The D-STATCOM is a three phase and shunt connected power electronics based reactive power compensation equipment, which generates and /or absorbs the reactive power whose output can be varied so as to maintain control of specific parameters of the electric power system.

It is connected near the load at the distribution systems. The Detailed Versus Average Model of a D-STATCOM is shown in Fig. 1. It consists of a dc capacitor, three-phase inverter (IGBT, thyristor) module, ac filter, coupling transformer and a control strategy (Taylor, 1995). The AC voltage difference across the leakage reactance power exchange between the D-STATCOM and the Power system, such that the AC voltages at the bus bar can be regulated to improve the voltage profile of the power system, which is primary duty of the D-STATCOM. However a secondary damping function can be added in to the D-STATCOM for enhancing power

Corresponding Author: Y. Hoseynpoor, Department of Electrical Engineering, Bilasuvar Moghan Branch, Islamic Azad University, Bilasuvar, Iran.

system oscillation stability. The D-STATCOM provides operating characteristics similar to a rotating Synchronous compensator without the mechanical inertia. The D-STATCOM employs solid state power switching devices and provides rapid controllability of the three phase voltages, both in magnitude and phase angle.

The D-STATCOM employs an inverter to convert the DC link voltage V_{dc} on the capacitor to a voltage source of adjustable magnitude and phase. Therefore the D-STATCOM can be treated as a voltage controlled source. The D-STATCOM can also be seen as a current controlled source.

The basic objective of a VSI is to produce a sinusoidal AC voltage with minimal harmonic distortion from a DC voltage. The operation of the D-STATCOM is as follows: The voltage is compared with the AC bus voltage system (V_s). When the AC bus voltage magnitude is above that of the VSI magnitude (V_c); the AC system sees the D-STATCOM as inductance connected to its terminals. Otherwise if the VSI voltage magnitude is above that of the AC bus voltage magnitude, the AC system sees the D-STATCOM as capacitance to its terminals. If the voltage magnitudes are equal, the reactive power exchange is zero.

If the D-STATCOM has a DC source or energy storage device on its DC side, it can supply real power to the power system. This can be achieved by adjusting the phase angle of the D-STATCOM terminals and the phase angle of the AC power system. When phase angle of the AC power system leads the VSI phase angle, the D-STATCOM absorbs the real power from the AC system, if the phase angle of the AC power system lags the VSI phase angle, the D-STATCOM supplies real power to AC system.

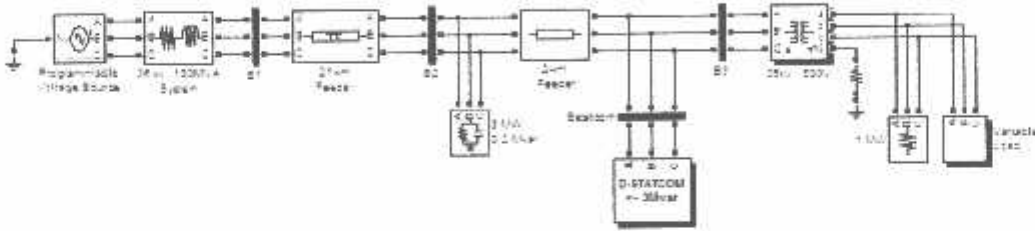


Fig. 1: Detailed Versus Average Model of D-STATCOM.

Synchronous Reference Frame Theory (d-q theory) For Flicker Mitigation:

The synchronous reference theory is based on the transformation of the stationary reference frame three phase variables (a,b,c) to synchronous reference frame variables (d,q,0) whose direct (d) and quadrature (q) axes rotate in space at the synchronous speed ω_s . ω_s is the angular electrical speed of the rotating magnetic field of the three phase supply, given by $\omega_s = 2\pi f_s$, where f_s is the frequency of the supply.

If θ is the transformation angle, then the current transformation from abc to d-q-0 frame is defined as

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{1}$$

The block diagram of the DSTATCOM controller for flicker mitigation based on d-q theory is shown in Fig. 2.

The three-phase source voltages (V_{sa} , V_{sb} and V_{sc}) are applied to three-phase Phase Locked Loop (PLL) to synchronize the three-phase voltages at the converter output with the zero crossings of the fundamental component of the supply phase voltages. The PLL provides the synchronous reference angle θ required by the abc-dq0 (and dq0-abc) transformation.

The three phase source currents (i_{sa} , i_{sb} , i_{sc}) and bridge inverter currents (i_{ia} , i_{ib} , i_{ic}) are converted into equivalent direct axis and quadrature axis component currents (i_d , i_q) by using (1).

In order to maintain the reactive power drawn from the source as zero, the output currents of the three phase bridge inverter are controlled in such a way that the inverter supplies the required reactive power. Thus for flicker mitigation, the source reactive power has to be zero. Therefore i_q reference (i_{qref}) is set at zero for inverter control. The reactive current supplied by the source (i_q) is subtracted from the reference value ($i_{qref}=0$) to obtain the error in reactive current for full compensation. This error signal is processed through a PI controller block to obtain the reference voltage signal (V_{qref}), which is fed to the dq0- abc transformation block. The reference for i_d (i_{dref}) comes from the DC link voltage PI controller, which maintains the DC link voltage (V_{dc}) at reference value.

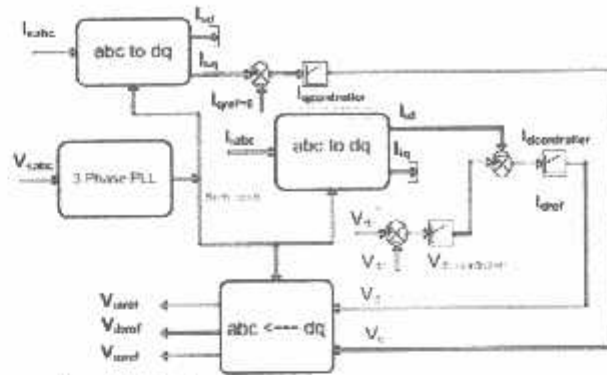


Fig. 2: D-STATCOM controller with d-q theory.

The active current supplied by the inverter (i_d) is subtracted from the reference value (i_{dref}) and this error signal is processed through a PI controller block to obtain the reference voltage signal (V_{dref}), which goes as another input for dq0-abc transformation. PI compensators for current and voltage loops are tuned to give the optimum performance.

The output voltage signals of transformation block (dq0-abc) act as reference voltages (V_{iaref} , V_{ibref} and V_{icref}) for PWM signal generators of bridge inverter. These signals are compared with a triangular carrier wave to obtain PWM signals for bridge inverter phases.

Model Description:

A Distribution Static Synchronous Compensator (D-STATCOM) is used to regulate voltage on a 25-kV distribution network. Two feeders (21 km and 2 km) transmit power to loads connected at buses B2 and B3. A shunt capacitor is used for power factor correction at bus B2. The 600-V load connected to bus B3 through a 25kV/600V transformer represents a plant absorbing continuously changing currents, similar to an arc furnace, thus producing voltage flicker. The variable load current magnitude is modulated at a frequency of 5 Hz so that its apparent power varies approximately between 1 MVA and 5.2 MVA, while keeping a 0.9 lagging power factor. This load variation will allow you to observe the ability of the D-STATCOM to mitigate voltage flicker.

The D-STATCOM regulates bus B3 voltage by absorbing or generating reactive power. This reactive power transfer is done through the leakage reactance of the coupling transformer by generating a secondary voltage in phase with the primary voltage (network side). This voltage is provided by a voltage-sourced PWM inverter. When the secondary voltage is lower than the bus voltage, the D-STATCOM acts like an inductance absorbing reactive power. When the secondary voltage is higher than the bus voltage, the D-STATCOM acts like a capacitor generating reactive power.

The D-STATCOM consists of the following components:

- a 25kV/1.25kV coupling transformer which ensures coupling between the PWM inverter and the network.
- a voltage-sourced PWM inverter consisting of two IGBT bridges. This twin inverter configuration produces less harmonics than a single bridge, resulting in smaller filters and improved dynamic response. In this case, the inverter modulation frequency is $28 \times 60 = 1.68$ kHz so that the first harmonics will be around 3.36 kHz.
- LC damped filters connected at the inverter output. Resistances connected in series with capacitors provide a quality factor of 40 at 60 Hz.
- a 10000-microfarad capacitor acting as a DC voltage source for the inverter
- a voltage regulator that controls voltage at bus B3
- a PWM pulse generator using a modulation frequency of 1.68 kHz.
- anti-aliasing filters used for voltage and current acquisition.

The D-STATCOM controller consists of several functional blocks:

- a Phase Locked Loop (PLL). The PLL is synchronized to the fundamental of the transformer primary voltages.
- two measurement systems. V_{mca} and I_{mea} blocks compute the d-axis and q-axis components of the voltages and currents by executing an abc-dq transformation in the synchronous reference determined by $\sin(\omega t)$ and $\cos(\omega t)$ provided by the PLL.

- An inner current regulation loop. This loop consists of two proportional-integral (PI) controllers that control the d-axis and q-axis currents. The controllers outputs are the V_d and V_q voltages that the PWM inverter has to generate. The V_d and V_q voltages are converted into phase voltages V_u , V_b , V_c which are used to synthesize the PWM voltages. The I_d reference comes from the outer voltage regulation loop (in automatic mode) or from a reference imposed by Q_{ref} (in manual mode). The I_q reference comes from the DC-link voltage regulator.
- an outer voltage regulation loop. In automatic mode (regulated voltage), a PI controller maintains the primary voltage equal to the reference value defined in the control system dialog box.
- a DC voltage controller which keeps the DC link voltage constant to its nominal value ($V_{dc}=2.4\text{kv}$)

Table 1: The parameter values of the system.

Parameters	Values
Source voltage	25kV/50Hz
Source Power	100MVA
Total Line Length	23Km
Coupling transformer	25kV/1.25kV
Modulation frequency	1.68 kHz
DC link voltage	2.4 kV

Simulation Results:

1. D-Statcom Dynamic Response:

During this test, the variable load will be kept constant and you will observe the dynamic response of a D-STATCOM to step changes in source voltage. Check that the modulation of the Variable Load is not in service (Modulation Timing $[T_{on} T_{off}] = [0.15 \text{ I}] * 100 > \text{Simulation Stop time}$). The Programmable Voltage Source block is used to modulate the internal voltage of the 25-kV equivalent. The voltage is first programmed at 1.077 pu in order to keep the D-STATCOM initially floating (B_3 voltage=1 pu and reference voltage $V_{ref}=1$ pu). Three steps are programmed at 0.2 s, 0.3 s, and 0.4 s to successively increase the source voltage by 6%, decrease it by 6% and bring it back to its initial value.

Start the simulation. Observe on Fig. 3 the phase voltage waveform of the D-STATCOM as well as Output voltage of voltage source inverter on Fig. 4. After a transient lasting approximately 0.15 sec., the steady state is reached. Initially, the source voltage is such that the D-STATCOM is inactive. It does not absorb nor provide reactive power to the network. At $t = 0.2$ s, the source voltage is increased by 6%. The D-STATCOM compensates for this voltage increase by absorbing reactive power from the network ($Q = +2.7$ Mvar on Fig. 5). At $t = 0.3$ s, the source voltage is decreased by 6% from the value corresponding to $Q = 0$. The D-STATCOM must generate reactive power to maintain a 1 pu voltage (Q changes from +2.7 MVAR to -2.8 MVAR). Note that when the D-STATCOM changes from inductive to capacitive operation, the modulation index of the PWM inverter is increased from 0.56 to 0.9 which corresponds to a proportional increase in inverter voltage. Reversing of reactive power is very fast, about one cycle, as observed on D-STATCOM current (magenta signal on Fig. 6).

2. Mitigation of Voltage Flicker:

During this test, voltage of the Programmable Voltage Source will be kept constant and you will enable modulation of the Variable Load so that you can observe how the D-STATCOM can mitigate voltage flicker. In the Programmable Voltage Source block menu, change the "Time Variation of" parameter to "None". In the Variable Load block menu, set the Modulation Timing parameter to $[T_{on} T_{off}] = [0.15 \text{ I}]$ (remove the 100 multiplication factor). Finally, in the D-STATCOM Controller, change the "Mode of operation" parameter to "Q regulation" and make sure that the reactive power reference value Q_{ref} (2nd line of parameters) is set to zero. In this mode, the D-STATCOM is floating and performs no voltage correction.

Run the simulation and observe on Fig. 8 variations of P and Q at bus B3 as well as voltages at buses B1 and B3 Fig 9. Without D-STATCOM, B3 voltage varies between 0.96 pu and 1.04 pu (+/- 4% variation). Now, in the D-STATCOM Controller, change the "Mode of operation" parameter back to "Voltage regulation" and restart simulation. Observe on Fig. 9 that voltage fluctuation at bus B3 is now reduced to +/- 0.7 %. The D-STATCOM compensates voltage by injecting a reactive current modulated at 5 Hz and varying between 0.6 pu capacitive when voltage is low and 0.6 pu inductive when voltage is high.

Conclusion

In this paper, D-STATCOM controller is derived by using synchronous reference theory. The model is simulated in MATLAB/SIMULINK platform and D-STATCOM controller's performance is evaluated using dq theory for voltage flicker mitigation. The controller is proven to be effective for flicker mitigation with improved dynamic response of the system and compensating reactive currents will help the mitigation of voltage flicker.

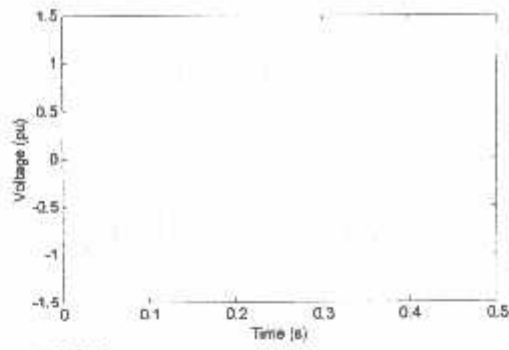


Fig. 3: Output voltage of D-STATCOM.

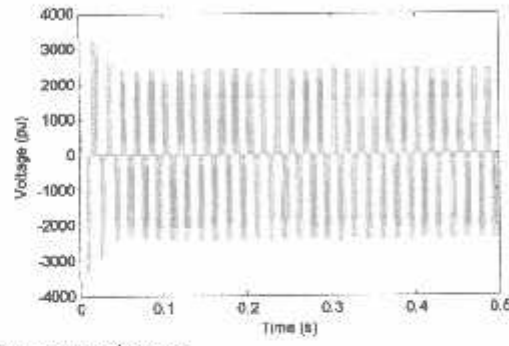


Fig. 4: Output voltage of voltage source inverter.

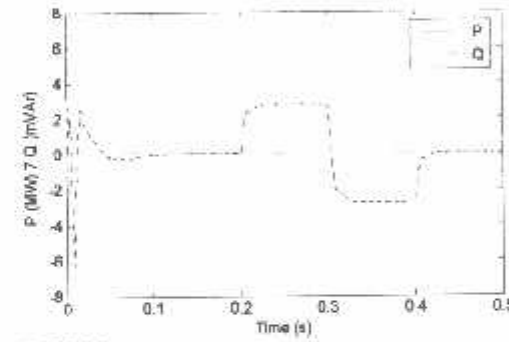


Fig. 5: Output P & Q of D-STATCOM.

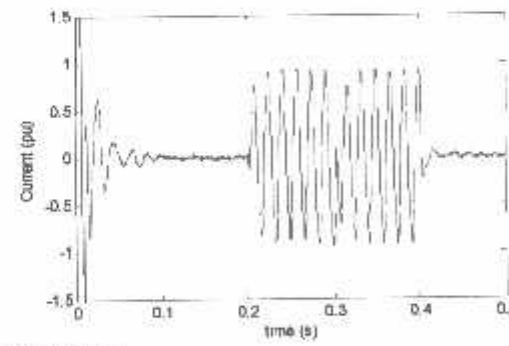


Fig. 6: Output current of D-STATCOM.

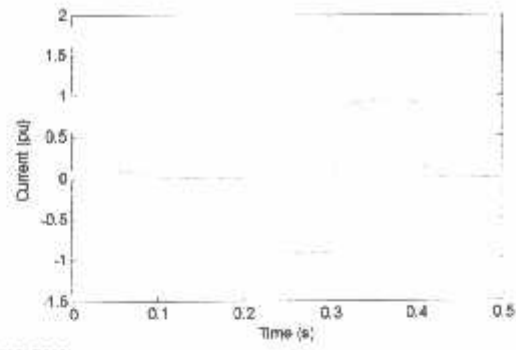


Fig. 7: I_q and I_{qr} of D-STATCOM.

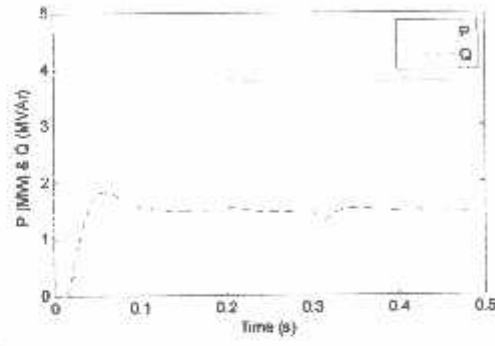


Fig. 8: P and Q of terminal B₃.

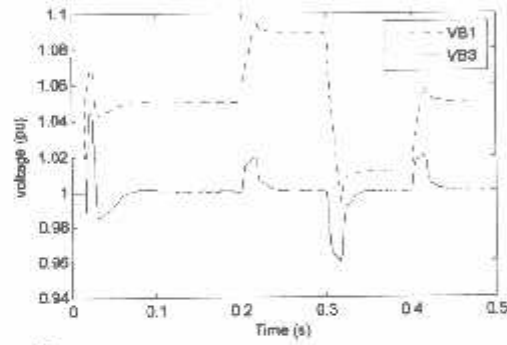


Fig. 9: Terminal voltages B₁ and B₃.

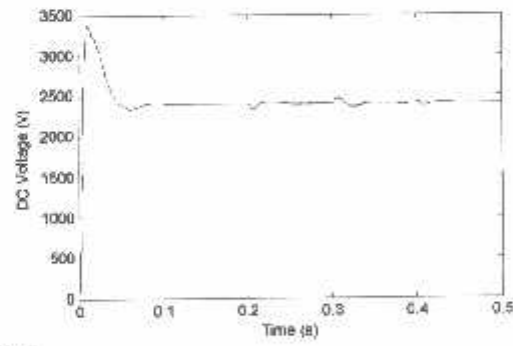


Fig. 10: Changes of DC voltage.

REFERENCES

- Esfandiari, A. and M. Parniani, 2004. "Electric arc furnace power quality improvement using shunt active filter and series inductor," IEEE Region10 Conference, 4: 105-108.
- Hingorani, N.G., 1995. "Introducing custom power," IEEE Spectrum, 1(6): 41-48.
- Hingorani, N.G. and L. Gyugyi, 2000. "Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems," New York: IEEE Press, 135-143.
- IEEE PES working group FACTS Applications, 1996. IEEE press, (96).
- Marshall, M.W., 1997. "Using series capacitors to mitigate voltage flicker problems," 41st Annual Rural Electric Power Conference, pp: B3-1-5.
- Montanari, G.C., M. Loggini, L. Pitti, E. Tironi and D. Zaninelli, 1993. "The effects of series inductors for flicker reduction in electric power systems supplying arc furnaces," IEEE Industry Applications Society and Annual Meeting, 1496-1503.
- Reed, G.F., M. Takeda, L. Iyoda, 1999. "Improved power quality solutions using advanced solid-state switching and static compensation technologies," IEEE Power Engineering Society 1999 Winter Meeting, New York, NY, USA, IEEE, 2: 1132-1137.
- Schauder, C.D and H. Mehta, 1993. "Vector analysis and control of advanced static var compensators," IEE Proceedings-C, 140(4): 299-306.
- Song, Y.H and A.T. Johns, 1999. "Flexible ac transmission systems (FACTS)," 1st Ed. United Kingdom: IEE Press, 39-49.
- Taylor, G.A., 1995. "Power quality hardware solutions for distribution systems: Custom power," IEE North Eastern Centre Power Section Symposium, Durham, UK, 11/1-11/9.

**SINGLE LINE DIAGRAM
SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20KV
RAYON DINOYO**



**PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAWA TIMUR
AREA MALANG
RAYON DINOYO
2014**

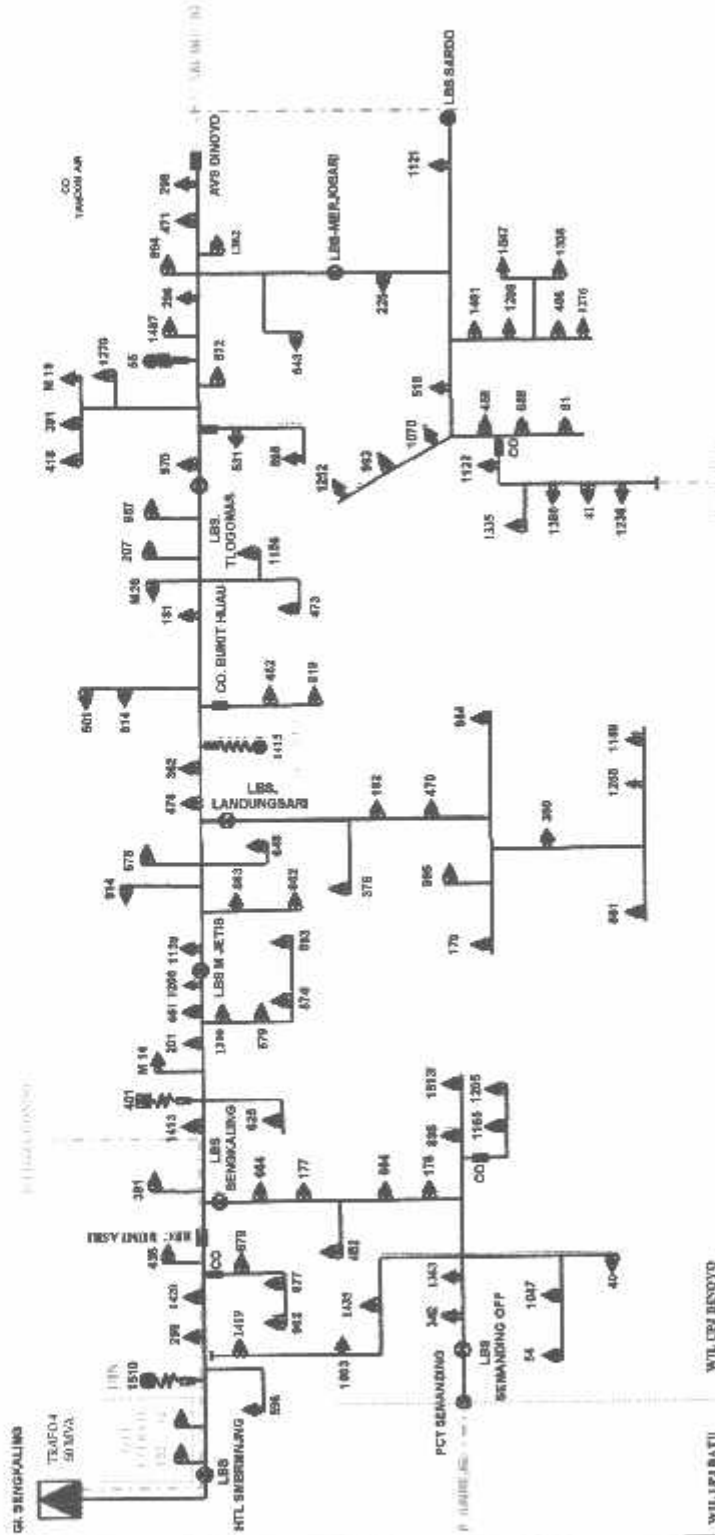
CATATAN:
 BEBAN :
 SIANGA
 MALAMA

- 01
- PSB
- APS
- DO
- LB
- RELOKASI
- SUPRA 20 KV
- PCT

PT. PLN (PERSERO)
 DISTRIBUSI JATIM
 APS. J. MALANG

P. DINOYO
 GI SENGKALING

DIJABAR DIJENJAL DIKERTALAA



GI SENGKALING

WILUP BENDANG

WILUP BENYO

WILUP BATTI

o. URUT	No. GARDU	ALAMAT	TANGGAL		DAYA (KVA)	SYSTEM	
			PENYULANG	PEMASANGAN		TEGANGAN	
						KV	VOLT
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	BUKIRSARI / MAWAR			160	20	400
1	20	IKAN PAUS / MWR			100	20	400
1	22	PASAR BARENG / ZZAKSE			160	20	400
2	35	RETAWU / LWR			250	20	400
3	39	JL.BOROBUDUR / GLTG			250	20	400
4	43	KAWI ATAS / JDP			250	20	400
5	46	JL.MUNDU / KLY			150	20	400
6	50	GI BLIMBING / SGSR			160	20	400
7	51	LETJEN S PARMAN / GLT			250	20	400
8	53	M.PANJAITAN / MWR			150	20	400
9	54	P.PERMATA SENGKALING / DNY			100	20	400
10	59	JL.KURINCI / LWR			160	20	400
11	61	MT HARIYONO / TGD			150	20	400
12	62	RAYA CANDI V / TGD			250	20	400
13	75	PAHLAWAN TRIP / LWR			250	20	400
14	81	JOYOGRAND / DNY			200	20	400
15	93	LETJEN S PARMAN / GLT			200	20	400
16	101	GADING PESANTREN / JDP			150	20	400
17	102	JL.JOMBANG I / TGD			150	20	400
19	103	JL.KAWI / JDP			200	20	400
19	104	JL.WUNI , KLY			160	20	400
22	105	BARENG TENGAH / ZZE			150	20	400
23	109	KLASEMAN / TGD			150	20	400
24	111	CANDI KALASAN / MWR			150	20	400
25	113	RAYA LANGSEP / KLY			150	20	400
26	117	RAYA LANGSEP / JDP			200	20	400
25	120	KAWI ATAS / JDP			250	20	400
26	122	MT HARYONO / MWR			150	20	400
27	135	JL.GAJAYANA / TGD			150	20	400
28	136	BEND. SUTAMI / TGD			150	20	400
31	137	JL.SEMARANG / LWR			150	20	400
32	138	BONDOWOSO / LWR			200	20	400
33	141	L.S.PARMAN / GLINTUNG			250	20	400
32	143	RAJEK WESI / JDP			150	20	400
33	150	CIANJUR / MWR			160	20	400
34	162	PIRANHA BAWAH / SGSR			150	20	400
37	166	BONDOWOSO / LWR			100	20	400
36	172	JL.MANGGIS / KLY			150	20	400
37	173	JL.SURABAYA / LWR			250	20	400
38	177	SIDO MAKMUR / DNY			250	20	400
39	178	SIDO MAKMUR / DNY			160	20	400
40	179	DERMO / DNY			200	20	400

41	181	RY.TLOGOMAS			150	20	400
42	182	TIRTO UTOMO / DNY			200	20	400
45	183	GASEK / TGD			150	20	400
46	186	BOROBUDUR / MWR			150	20	400
45	187	PIRANHA ATAS / MJGU			150	20	400
46	188	DS.MENJING / TGD			150	20	400
47	189	AKORDION /TGD			150	20	400
48	190	BAWANG / TGD			160	20	400
49	192	TAMAN AGUNG / JDP			160	20	400
50	193	KALPATARU /MWR			100	20	400
53	196	A.YANI / GLTG			250	20	400
52	201	MULYOAGUNG / DNY			250	20	400
53	206	MT HARYONO / DNY			150	20	400
56	218	BARENG RAYA / ZZE			150	20	400
57	219	JL.RAJA BASA / JDP			150	20	400
56	220	POLOWIJEN / MJGU			200	20	400
57	225	JOYO RAHARJO / DNY			160	20	400
58	226	JL.GAJAYANA / TGD			315	20	400
59	227	POLOWIJEN II / MJGU			250	20	400
62	229	BARENG RAYA / ZZE			200	20	400
63	247	GALUNGGUNG / JDP			250	20	400
64	248	RAYA LANGSEP / KLY			250	20	400
65	253	PISANG KIPAS / MWR			150	20	400
64	254	ISTANA GAJAYANA / TGD			100	20	400
65	263	SUMBERSARI / TGD			150	20	400
66	264	JL.VETERAN / LWR			250	20	400
69	265	MT HARYONO / MWR			150	20	400
68	270	TERS.BOROBUDUR / MWR			150	20	400
69	272	JL.SURABAYA / TGD			250	20	400
72	274	RAYA DIENG / JDP			250	20	400
73	281	BANTARAN / GLTG			160	20	400
72	282	IKAN SEPAT / MJGU			160	20	400
73	288	C.PANGGUNG / MJGU			150	20	400
74	289	SIMP.C.PANGGUNG / MJGU			150	20	400
77	290	KUMIS KUCING / MWR			250	20	400
76	294	GRIYA SHANTA / MJGU			200	20	400
77	298	MT HARYONO / DNY			160	20	400
78	299	MULYOAGUNG / DNY			160	20	400
79	300	IKAN BANDENG / MJGU			200	20	400
82	306	C.BAJANG RATU / MWR			160	20	400
83	307	KLASEMAN / TGD			150	20	400
84	310	PISANG CANDI			150	20	400
83	311	JL.PANDERMAN / JDP			150	20	400
84	318	JL.JAMBU / KLY			75	20	400
85	323	JL. BOGOR / MWR			150	20	400
86	324	TERS.RY.DIENG / JDP			75	20	400
89	325	C.KALASAN / MWR			160	20	400

88	331	JL.BEND.SUTAMI / TGD			315	20	400
89	342	SEMANDING / DINOYO			150	20	400
92	344	SIMP.MEGA MENDUNG / JDP			160	20	400
93	345	PISANG AGUNG / KLY			160	20	400
94	349	TAMAN DIENG / JODIPAN			200	20	400
93	360	IKAN MAS / KR.PLOSO			160	20	400
96	361	CENGKEH / MAWAR			160	20	400
95	362	RAYA TLOGOMAS / DNY			200	20	400
96	366	RAYA KETANGI / TGD			200	20	400
97	369	CANDI TLAGAWANGI / MAWAR			200	20	400
100	370	CANDI MENDUT / MWR			150	20	400
99	371	RY.CANDI 3			150	20	400
100	378	LANDUNGSARI ASRI / DNY			200	20	400
101	377	POHARIN / TGD			200	20	400
104	380	TIRTO TARUNO / DNY			150	20	400
103	381	PERUM SENGKALING / DNY			100	20	400
104	389	MT HARIYONO / TGD			250	20	400
107	390	KALPATARU / MAWAR / KOTA			150	20	400
106	391	BIMA SAKTI / DNY			200	20	400
107	394	TUNJUNG SEKAR /KR.PLOSO			250	20	400
108	402	KEMIRAHAN GG.3 / SGSRI			250	20	400
111	406	JOYO SUKO / DNY			250	20	400
112	408	KEMBANG TURI / MWR			315	20	400
111	412	MT HARYONO / MWR			160	20	400
112	418	JUPITER / DNY			100	20	400
113	422	JL.PANDAN / JDP			75	20	400
116	423	RAJA BASA / JDP			150	20	400
117	424	IKAN PAUS / MWR			250	20	400
116	425	BANTARAN INDAH / MWR			100	20	400
117	433	KOPMA UB / TGD			100	20	400
118	435	SENGKALING INDAH / DNY			160	20	400
119	439	KELAPA SAWIT / KLY			250	20	400
120	443	ITN (SIGURA-GURA) / TGD			250	20	400
121	444	TERS.BOROBUDUR / MWR			250	20	400
122	446	BOROBUDUR AGUNG / MJGU			250	20	400
123	452	SENGKALING REGANCY / DNY			100	20	400
124	455	BUKIRSARI / MJGU			200	20	400
125	456	IKAN GURAMI / MJGU			160	20	400
126	457	SUDIMORO UTARA / MJGU			100	20	400
127	458	JOYO AGUNG / DNY			250	20	400
128	461	JETIS / DNY			160	20	400
129	470	TIRTO UTOMO / DNY			250	20	400
130	471	MT HARIYONO / DNY			250	20	400
131	473	JL.BERLIAN / DNY			200	20	400
132	478	RAYA TLOGOMAS / DNY			250	20	400
133	482	PERMATA HIJAU / DNY			250	20	400
134	487	TIDAR / TGD			200	20	400

137	494	UNMER / JDP			160	20	400
138	497	S.HATTA / MJGU			250	20	400
137	501	BAIDURI PANDAN / DNY			160	20	400
138	504	DAWUHAN / TGD			200	20	400
139	511	SIGURA- GURA / TGD			250	20	400
140	518	MERJOSARI / DNY			150	20	400
141	519	GALUNGGUNG /JDP			150	20	400
142	527	KALPATARU /MWR / KOTA			150	20	400
145	530	ABM / MAWAR			160	20	400
144	531	TLOGO INDAH / DNY			75	20	400
145	532	KERAMIK DINOYO / TGD			200	20	400
146	533	MT HARYONO / TGD			75	20	400
149	536	BANTARAN / GLTG			200	20	400
148	539	TIDAR / TGD			160	20	400
151	542	CENGER AYAM / MWR			150	20	400
152	543	KALPATARU /MWR / KOTA			150	20	400
151	551	PIRANHA ATAS / MJGU			160	20	400
152	558	BUKIT DIENG / KLY			250	20	400
155	561	TAMBORA / JDP			160	20	400
154	562	BEND.JATILUHUR / TGD			150	20	400
157	564	BARENG RAYA / ZZE			160	20	400
158	565	M.PANJAITAN / TELKOM			200	20	400
157	567	SUMPIL II / SGSR			250	20	400
158	568	SUMPIL II / SGSR			160	20	400
159	570	MT HARYONO / MWR			160	20	400
160	572	MT HARYONO / DNY			160	20	400
161	575	A.YANI / GLTG			100	20	400
162	578	KERTORAHARJO / TGD			250	20	400
163	579	EMBONG ANYAR / DNY			200	20	400
164	581	VILLA P.TIDAR / TGD			160	20	400
165	588	JL. Smp BOROBUDUR / MWR			160	20	400
168	589	SIMP.DIENG / JDP			150	20	400
167	590	RAYA TIDAR / TGD			150	20	400
170	591	BEND.WONOGIRI / TGD			150	20	400
169	594	SUMBEREJO / KLY			150	20	400
170	595	TLOGO SURYO / DNY			150	20	400
171	596	DADAPTULIS / DNY			150	20	400
172	599	JL.SURABAYA / LWR			250	20	400
175	601	TIDAR / TGD			200	20	400
174	602	BC TUJUH / DNY			100	20	400
175	603	SIGURA- GURA / TGD			250	20	400
176	604	MULYOAGUNG / DNY			160	20	400
177	605	BANTARAN BARAT / MWR			160	20	400
178	607	CAKALANG / MJGU			160	20	400
179	610	KAMP.UNMUH / TGD			200	20	400
182	613	TERS.DIENG / JDPN			200	20	400
181	614	BAIDURI PANDAN / DNY			250	20	400

182	619	PERMATA HIJAU / DNY			100	20	400
183	625	VILLA SENGKALING / DNY			200	20	400
186	628	TIDAR ATAS / TGD			200	20	400
187	634	JL.KENDANG / TGD			100	20	400
186	639	ISTANA DIENG			250	20	400
187	642	ISTANA GAJAYANA / TGD			250	20	400
188	643	MERTOJOYO / DNY			250	20	400
189	679	BUMI ASRI SENGKALING / DNY			100	20	400
190	688	JOYOGRAND / DNY			160	20	400
191	696	IKAN ARWANA / MJGU			100	20	400
192	696	TIDAR / TGD			200	20	400
193	699	ISTANA DIENG			200	20	400
194	703	RETAWU / LWR			250	20	400
195	710	LEMBAH DIENG / KLY			100	20	400
196	711	PUNCAK DIENG / KLY			200	20	400
199	712	PUNCAK DIENG / KLY			200	20	400
198	724	BONDOWOSO / LWR			160	20	400
199	725	GRIYA SHANTA / MJGU			100	20	400
200	737	JL.CENGKEH / MAWAR			250	20	400
204	740	BONDOWOSO / LWR			160	20	400
202	744	CANDI AGUNG / MWR			250	20	400
203	745	TAMAN BOROBUDUR / MJGU			160	20	400
204	746	JL.GAJAYANA / TGD			315	20	400
205	747	BEND. SUTAMI / TGD			100	20	400
209	748	SUHAT PESAWAT / MJGU			250	20	400
207	751	JL.PANDERMAN / JDP			100	20	400
208	764	JL.BOROBUDUR / MWR			250	20	400
212	771	PDAM TIDAR / TGD			160	20	400
210	772	SOEKARNO-HATTA / MJGU			160	20	400
214	775	C.SARI / MWR			250	20	400
212	776	GRIYA SHANTA / MJGU			160	20	400
216	777	M.PANJAITAN / TELKOM			250	20	400
214	778	KERTORAHARJO / TGD			75	20	400
215	782	BUKIT BARISAN / JDP			200	20	400
219	784	UNMER / JDP			250	20	400
220	850	BUKIT DIENG / KLY			100	20	400
221	855	SUDIMORO / MJGU			160	20	400
219	863	BC TUJUH / DNY			160	20	400
223	868	SUMBEREJO / KLY			100	20	400
221	874	EMBONG ANYAR / DNY			160	20	400
225	876	LEMBAH DIENG / KLY			160	20	400
223	877	BUMI ASRI SENGKALING / DNY			100	20	400
224	878	TOMBRO BARAT / KR.PLOSO			100	20	400
225	881	PRM.LESTARI INDAH / DNY			100	20	400
226	882	RAYA TIDAR / TGD			160	20	400
227	883	GRIYA SHANTA / MJGU			100	20	400
228	884	GRIYA SHANTA / MJGU			160	20	400

229	893	BUKIT CEMARA TUJUH / DNY			180	20	400
230	895	OMA CAMPUS / DNY			100	20	400
234	901	PUNCAK DIENG / KLY			100	20	400
235	902	PUNCAK DIENG / KLY			160	20	400
233	912	PRM.IKIP TEGALGONDO / TGD			160	20	400
237	920	TMN.B.MERAK / MWR			100	20	400
235	930	SIGURA- GURA / TGD			200	20	400
239	933	BUKIT CEMARA TIDAR / TGD			100	20	400
237	935	SOEKARNO-HATTA / MJGU			250	20	400
238	936	GRIYA SHANTA / MJGU			100	20	400
239	962	BUMI ASRI SENGKALING / DNY			100	20	400
243	964	CITRA MAS RAYA / TGD			100	20	400
241	970	RAYA TLOGOMAS / DNY			180	20	400
242	981	GRIYA SHANTA / MJGU			100	20	400
243	982	GRIYA SHANTA / MJGU			160	20	400
244	983	BUKIT DIENG / KLY			100	20	400
245	984	TAMAN LANDUNGSARI / DNY			200	20	400
249	985	PERMATA JINGGA / MJGU			250	20	400
250	982	RAYA TIDAR / TGD			250	20	400
248	993	TLOGO INDAH / DNY			250	20	400
249	994	MT HARYONO / DNY			250	20	400
250	995	BUKIT CEMARA TUJUH / DNY			100	20	400
251	1009	TEGALGONDO / TGD			200	20	400
252	1013	IKAN TOMBRO / MJGU			100	20	400
253	1014	ARUMBA / TGD			160	20	400
254	1047	P.PERMATA SENGKALING / DNY			160	20	400
258	1049	PERMATA JINGGA / MJGU			100	20	400
256	1069	C.MENDUT / MWR			160	20	400
257	1070	MERJOSARI / DNY			100	20	400
258	1078	BUKIRSARI / MJGU			160	20	400
259	1083	KARANG MLOKO / JUNREJO			100	20	400
260	1086	VILLA P.TIDAR / TGD			200	20	400
261	1089	TERS.SUDIMORO / MJGU			250	20	400
265	1090	TUNGGULWULUNG / TGD			180	20	400
263	1094	C.MENDUT BARAT / MJGU			160	20	400
267	1095	SOEKARNO-HATTA / MWR			160	20	400
265	1096	VETERAN / TGD			100	20	400
266	1101	BUKIRSARI / MJGU			160	20	400
270	1104	VILLA P.TIDAR / TGD			180	20	400
271	1105	VILLA P.TIDAR / TGD			200	20	400
269	1113	JL.GAJAYANA / TGD			100	20	400
270	1118	CENGGER AYAM / MWR			100	20	400
271	1121	SIMP.GAJAYANA / TGD			180	20	400
272	1122	JOYOGRAND / DNY			100	20	400
273	1124	IKAN PAUS / MWR			160	20	400
277	1127	GASEK / TGD			160	20	400
278	1141	VILLA P.TIDAR / TGD			160	20	400

276	1142	VILLA P.TIDAR / STRJ			250	20	400
277	1145	VETERAN / TGD			100	20	400
278	1153	C.PANGGUNG / TGD			100	20	400
279	1155	BUMI PALAPA / TGD			100	20	400
280	1156	PERMATA TLOGOMAS / DNY			50	20	400
281	1157	SOEKARNO-HATTA / MJGU			200	20	400
282	1158	C.SARI UTARA / MWR			160	20	400
283	1159	SIMP.GAJAYANA / TGD			160	20	400
284	1185	OMA CAMPUS / DNY			100	20	400
285	1170	JL.VETERAN / LWR			160	20	400
286	1171	C.PANGGUNG			160	20	400
287	1173	PIRANHA ATAS / MJGU			160	20	400
288	1178	POLOWIJEN / MJGU			100	20	400
289	1186	GALUNGGUNG /IDP			160	20	400
290	1187	MT HARIYONO / TGD			160	20	400
291	1189	GRAHA SEJAHTERA / DNY			100	20	400
297	1196	VILLA P.TIDAR / TGD			200	20	400
293	1205	OMA CAMPUS / DNY			100	20	400
294	1208	RAYA JETIS / DNY			100	20	400
295	1209	JOYO SUKO / DNY			75	20	400
296	1227	RUKO PANORAMA / SGSR			100	20	400
302	1233	S.HATTA / TELKOM			160	20	400
298	1236	PERUM ALAM SARI / DNY			100	20	400
299	1241	POLOWIJEN / MJGU			100	20	400
305	1245	TIDAR / TGD			100	20	400
301	1246	PUNCAK TIDAR / TGD			100	20	400
307	1248	RAYA CANDI V / TGD			160	20	400
308	1250	SIGURA- GURA / TGD			160	20	400
304	1251	LETJEN S PARMAN / GLT			160	20	400
305	1252	TLOGO INDAH / DNY			100	20	400
306	1255	TIRTO TARUNO / DNY			100	20	400
312	1258	KALPATARU /MWR.			160	20	400
313	1261	SIGURA- GURA / TGD			100	20	400
309	1275	PRM .D'WIGA / KR.PLOSO			200	20	400
315	1276	JOYO SUKO / DNY			160	20	400
311	1279	PRM.BOUGENFILL / DNY			160	20	400
312	1283	KAWI ATAS / JDPN			100	20	400
313	1301	BOROBUDUR AGUNG / MJGU			100	20	400
319	1307	WILIS INDAH			160	20	400
315	1309	TUNGGULWULUNG / TGD			100	20	400
316	1310	MARGO BASUKI / DNY			200	20	400
317	1311	SUKARNO HATTA / MAWAR			160	20	400
318	1312	GRIYA SHANTA / MJGU			160	20	400
324	1313	RY.LANGSEP			100	20	400
320	1317	TUNGGULWULUNG / TGD			100	20	400
321	1318	TUNGGULWULUNG / TGD			100	20	400
322	1319	GRIYA SHANTA / MJGU			100	20	400

323	1320	PIRANHA ATAS / MJGU			100	20	400
329	1334	RY.CANDI V / TGD			160	20	400
325	1335	PERUM PNS / DNY			100	20	400
326	1336	GAJAHYANA INSIDE / DNY			100	20	400
332	1337	ALAM DIENG / KLYTN			100	20	400
328	1345	PIRANHA ATAS / MJGU			100	20	400
329	1348	GRIYA PINAYUNGAN / TGD			100	20	400
330	1349	GRIYA SAXOFON / TGD			100	20	400
331	1361	SMKN 5 / MJLG			100	20	400
332	1363	Prm.Arjuno View / Dny			50	20	400
333	1364	LITLE KYOTO / MJLG			100	20	400
339	1376	PUNCAK DIENG / KLY			100	20	400
335	1377	CAKALANG INDAH / MJLG			50	20	400
341	1385	KALPATARU / MAWAR / KOTA			100	20	400
342	1388	DOREMI KARAOKE / MAWAR			100	20	400
343	1389	RY.CANDI II / TGD			100		
344	1396	PERMATA LAND SAXOPON / TGD			100		
340	1406	CAKALANG INDAH / MJLG			100		
341	1408	CANDI PANGGUNG/ MJLG			160		
347	1409	AMBARAWA / LWR			200		
348	1410	JL.ANGGUR / KLY			160		
344	1411	MT HARYONO / TELKOM			200		
345	1412	MT HARYONO / TGD			200		
346	1413	DPN KELURAHAN SKLG / DNY			250		
352	1414	PISANG KIPAS / MWR			200		
353	1417	JL.PANDERMAN / JDP			250		
354	1418	BUKIT CEMARA TIDAR / TGD			200	20	400
350	1419	PRONO YUDHO / DNY			250		
351	1420	DPN LAP DAU / DNY			250		
352	1421	TERS.BOROBUDUR / MWR			250		
353	1422	SUKARNO HATTA / MAWAR			160		
354	1435	JL.APEL SEMANDING			200		
355	1436	MT.HARYONO 13 /TGD			100		
356	1437	TUNGGUL WULUNG			100		
357	1439	PERMATA JINGGA / MJGU			160		
357	1444	VILLA PUNCAK TIDAR / JDPN			160		
357	1445	VILLA PUNCAK TIDAR / JDPN			100		
358	1450	SUKARNO HATTA / MJLG			250		
359	1451	POLOWIJEN / MJGU			160		
360	1457	CENGER AYAM / MWR			100		
366	1458	SUKARNO HATTA / TELKOM			160		
362	1459	KETANGI / TGD			160		
363	1464	SIGURA- GURA / TGD			100		
364	1465	JL.GAJAHYANA / TGD			100		
365	1466	MT.HARYONO 13 /TGD			100		
366	1467	SIMP.BOROBUDUR / MAWAR			160		
367	1481	MERTOJOYO SEL / DNY			200		

368	1482	CANDI MENDUT / MOJOLANGU			100		
369	1490	VETERAN / LWR			160		
370	1508	ARUMBA / TGD			100		
370	1511	VILLA PUNCAK TIDAR / JDPN			200		
371	1513	NEW VILLA BKT SKLG / DNY			100		
375	1547	SIMP.GAJAYANA / DINOYO			100		
280	1144 A	PERMATA JINGGA / MJGU			250	20	400
281	1144 B	PERMATA JINGGA / MJGU			250	20	400
375	718 A	ISTANA DIENG			160	20	400
376	718 B	ISTANA DIENG			160	20	400

BIOGRAFI PENULIS



ANSELMUS DA COSTA TEFNAI adalah Nama penulis skripsi ini. Penulis lahir dari orang tua Bapak Minggu B. Tefnai (*alm*) dan Ibu Antonia Da Costa sebagai ke pertama dari lima bersaudara. Penulis lahir di Same (Timor Leste) pada tanggal 02 April 1991. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SDN Nunhala, Desa Noebaun (*lulus tahun 2004*), melanjutkan ke SMPK St. Antonius Padua Sasi, Kelurahan Kefa Kota (*lulus tahun 2007*) dan SMK St. Yosef Nenuk Atambua (*lulus tahun 2010*) dan akhirnya bisa menempuh masa kuliah di Fakultas Teknik Industri Jurusan Elektro Konstruksi Energi Listrik S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.

Dengan ketekunan, motivasi tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan pengerjaan tugas akhir skripsi ini dengan baik. Semoga dengan penulisan tugas akhir skripsi ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikannya skripsi yang berjudul “ **ANALISIS PENGGUNAAN DSTATCOM UNTUK MITIGASI VOLTAGE FLICKER PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 kV DI DINOYO**”