

**ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM UNTUK
MEMPERBAIKI KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM
KELISTRIKAN DI PT MOLINDO RAYA INDUSTRIAL
MENGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC**

SKRIPSI



**Disusun Oleh :
NUZULIANNOR RAHMAN
NIM. 08.12.016**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2012**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM UNTUK MEMPERBAIKI
KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN DI PT.
MOLINDO RAYA INDUSTRIAL MENGGUNAKAN SOFTWARE
PSCAD/EMTDC**

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Energi Listrik Strata Satu (S-1)*

Disusun oleh :

NUZULIANNOR RAHMAN

NIM. 08.12.016

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

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

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. H. Choirul Saleh, MT
NIP. Y. 1018800190

Ir. H. Taufik Hidayat, MT
NIP. Y. 1018700151

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2012**

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nuzuliannor Rahman

NIM : 0812016

Program Studi : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

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

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

Malang, 20 September 2012

Yang Membuat Pernyataan,



Nuzuliannor Rahman
NIM : 0812016

ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM UNTUK MEMPERBAIKI KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN DI PT MOLINDO RAYA INDUSTRIAL MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC

Nuzuliannor Rahman

Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo Km 2 Malang
E-mail : nuzuliannor_rahman@yahoo.com

Abstrak

Kualitas tegangan yang baik adalah hal yang wajib dipenuhi untuk menunjang proses produksi pada suatu industri. Gangguan kenaikan tegangan sesaat (*swell*) merupakan salah satu gejala yang umum yang sering terjadi dalam suatu industri. Kenaikan tegangan ini dapat mempengaruhi kerja dari mesin dan peralatan-peralatan elektronika yang ada. *DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR (D-STATCOM)* merupakan salah satu alat kompensasi yang dapat mengatasi permasalahan ini. *D-STATCOM* dipasang secara shunt pada jaringan terhadap beban yang bermasalah. Prinsip dasar *D-STATCOM* adalah untuk mempertahankan nilai tegangan pada batas-batas yang diinginkan. Dari hasil simulasi yang dilakukan pada PT. Molindo Raya Industrial, dengan kompensasi *D-STATCOM*, perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah kompensasi saat gangguan voltage swell pada saat injeksi kapasitor adalah dari 1.133 (pu) atau 430,54 volt menjadi 1.023 (pu) atau 388.74 volt, dan dari 1.103 (pu) atau 419,14 volt menjadi 1.030 (pu) atau sebesar 391.4 volt pada saat pelepasan beban.

Kata kunci : Kualitas tegangan, *D-STATCOM*, voltage swell.

Abstract

Voltage quality is something that must be fulfilled to support the production process in an industry. Disturbances instantaneous increase in voltage (swell) is one of the common symptoms that often occur in an industry. voltage swell may affect the working of the machinery and electronic equipment available. DISTRIBUTION STATIC Compensator (D-STATCOM) is one tool that can compensate this problem. D-STATCOM is a shunt installed on the network to the sensitive load. D-STATCOM basic principle is to maintain the voltage at the desired limits. From the simulation results performed on PT. Molindo Raya Industrial, by compensating D-STATCOM, the voltage comparison before and after compensation when voltage swell disturbance at the time of injection capacitor is from 1.133 (pu) or 430.54 to 1.023 volts (pu) or 388.74 volts, and from 1.103 (pu) or 419.14 volts to 1.030(pu) or at 391.4 volts during the load release..

Keywords: Voltage quality, D-STATCOM, voltage swell.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan Rahmat dan Ridhonya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi ini dengan baik dan lancar.

Laporan Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan akademik dalam menyelesaikan program Strata 1 Jurusan Teknik Elektro, Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Institut Teknologi Nasional Malang. Adapun judul laporan Skripsi ini adalah:

**ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM UNTUK MEMPERBAIKI KUALITAS
TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN DI PT MOLINDO RAYA
INDUSTRIAL MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC**

Selanjutnya pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan tugas akhir, diantaranya :

1. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nahkoda, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
2. Bapak Dr. Aryuanto Soetedjo, ST, MT selaku Sekertaris Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
3. Bapak Ir. H. Choirul Saleh, MT selaku Dosen Pembimbing I
4. Bapak Ir. H. Taufik Hidayat, MT selaku Dosen Pembimbing II
5. Orang tua dan saudara perempuan saya tercinta yang telah memberikan dukungan baik materi, moril maupun spiritual beserta nasihat yang telah diberikan sampai saat ini.
6. Seluruh dosen dan pegawai ITN Kampus 2 Malang.

7. Semua teman-teman seperjuangan angkatan 2008 dan Komunitas Robotika ITN Malang
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap agar buku laporan Skripsi ini dapat memberikan banyak manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan, khususnya bagi masyarakat umum. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu mohon maaf apabila dalam buku ini terdapat hal-hal yang kurang berkenan dihati para pembaca.

Penulis juga mengharap koreksi, kritik serta saran-saran yang bermanfaat demi kesempurnaan buku laporan Skripsi ini.

Malang, Agustus 2012

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GRAFIK	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sistem Dalam Tenaga Listrik	4
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	5
2.2.1 Sistem Distribusi Primer	6
2.2.2 Sistem Distribusi Sekunder	6
2.3 Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	6
2.3.1 Struktur Jaringan Radial	7
2.3.2 Struktur Jaringan <i>Loop</i> (lingkaran)	7
2.3.3 Struktur Jaringan Grid atau Mesh	8
2.4 Analisa Aliran Daya Jaringan	8
2.5 Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik	9
2.5.1 Daya Aktif	9
2.5.2 Daya Reaktif	9
2.5.3 Daya Semu	10
2.5.4 Faktor Daya	11

2.6	<i>Voltage Swell</i>	12
2.6.1	Definisi <i>Voltage Swell</i>	12
2.6.2	Perhitungan Nilai <i>Voltage Swell</i> Pada Sistem	13
2.6.3	Pengaruh <i>Voltage Swell</i> Pada Peralatan	14
2.7	Software PSCAD/EMTDC	15
2.8	Peralatan Elektronika Daya <i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> (IGBT)	15
2.9	Peralatan Kompensasi D-STATCOM	16
2.9.1	Model D-STATCOM	16
2.9.2	Prinsip Kerja D- STATCOM	16
2.10	Kontrol PWM Berbasis Sinusoida	17
2.11	Kontrol Proporsional Integral (PI)	18
2.11.1	Umum	18
2.11.2	Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses	20
2.11.3	Prinsip Kerja Pengendali	20
2.11.4	Pengendali Proporsional (<i>Proporsional Controller</i>)..	21
2.11.5	Pengendali Integral (<i>Integrator Controller</i>)	23
2.11.6	Pengendali Proporsional Integral (PI)	24
2.12	Kompensasi D-STATCOM Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik	25
BAB III METODE PENELITIAN		27
3.1	Data Yang Digunakan Dalam Penelitian	27
3.1.1	<i>Single Line Diagram</i>	27
3.1.2	Kapasitas Trafo Tiap Gardu	27
3.1.3	Data Motor	28
3.2	Software PSCAD/EMTDC Power Simulation	30
3.3	Kontrol PWM Berbasis Sinusoida	31
3.4	Lokasi Dan Waktu Pengambilan Data	32
3.5	Algoritma Simulasi <i>Software PSCAD/EMTDC</i>	32
3.6	<i>Flowchart</i>	34
3.6.1	<i>Flowchart</i> Desain Dan Simulasi Sistem	34
3.6.2	<i>Flowchart</i> Desain Rangkaian Kontrol PWM	35

BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL	36
4.1 Solusi Perbaikan Kualitas Tegangan Menggunakan <i>Software PSCAD Power Simulation</i>	36
4.2 Single Line PT. Molindo Raya Industrial dalam <i>Software PSCAD Power Simulation</i>	36
4.3 Pemodelan <i>D-STATCOM</i> Pada Sistem	37
4.4 Hasil Dan Analisa Hasil Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat <i>Voltage Swell</i> menggunakan <i>D-STATCOM</i>	38
4.4.1 Hasil Perhitungan Dan Simulasi Sebelum Kompensasi ..	38
4.4.2 Sistem Sebelum Mengalami Gangguan	38
4.4.3 Grafik Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi.....	40
4.4.4 Grafik Hasil Simulasi Setelah Kompensasi	42
4.5 Perhitungan Optimasi perbaikan Kualitas Tegangan Saat Sebe Lum Dan Sesudah Kompensasi	44
BAB V PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Penyaluran Energi Listrik	4
Gambar 2.2	Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan.....	5
Gambar 2.3	Bentuk Sederhana Sistem Distribusi Radial	7
Gambar 2.4	Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop.....	8
Gambar 2.5	Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh	8
Gambar 2.6	Segitiga Daya.....	11
Gambar 2.7	Voltage Swell.....	12
Gambar 2.8	Standar IEEE 1159-1995	13
Gambar 2.9	Model Pembagi Tegangan untuk Voltage Sag/Swell	14
Gambar 2.10	Diagram Dasar Blok D-STATCOM	16
Gambar 2.11	Diagram Blok Fungsional D-STATCOM	17
Gambar 2.12	Kontroler Dan Diagram Kotaknya	21
Gambar 2.13	Diagram Blok Kontroler Proporsional	22
Gambar 2.14	Respon Sebuah Pengendali Proporsional	22
Gambar 2.15	Blok Diagram Kontroler Integral.....	24
Gambar 2.16	Diagram Kotak Pengendali PI	24
Gambar 2.17	Hubungan Input-Output Pengendali PI Dalam Fungsi Waktu	25
Gambar 3.1	Single Line Diagram JTM PT. Molindo	27
Gambar 3.2	Logo PSCAD	30
Gambar 3.3	Flowchart Desain Dan Simulasi Sistem	34
Gambar 3.4	Flowchart Desain Rangkaian Kontrol PWM	35
Gambar 4.1	Sistem Kelistrikan PT. Molindo Raya Industrial Dalam Software PSCAD.....	36
Gambar 4.2	D-STATCOM Dalam Sistem	37
Gambar 4.3	Kontrol PWM Sebagai Pengendali D-STATCOM	37
Gambar 4.4	D-STATCOM Dalam Sistem	38

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Trafo.....	27
Tabel 3.2	Data Motor Gardu Produksi.....	28
Tabel 3.3	Data Motor Gardu Boiler Batubara.....	29
Tabel 3.4	Data Motor Gardu Spraypond.....	29

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Bentuk Gelombang Tegangan Normal	39
Grafik 4.2	Bentuk Gelombang Daya Normal	39
Grafik 4.3	Bentuk Gelombang Tegangan Pada Saat Terjadi Voltage Swell Akibat Energisasi Kapasitor Tanpa Kompensasi	40
Grafik 4.4	Bentuk Gelombang Daya Pada Saat Terjadi Voltage Swell Akibat Energisasi Kapasitor Tanpa Kompensasi	40
Grafik 4.5	Bentuk Gelombang Tegangan Pada Saat Terjadi Voltage Swell Akibat Pelepasan Beban Tanpa Kompensasi	41
Grafik 4.6	Bentuk Gelombang Daya Pada Saat Terjadi Voltage Swell Akibat Pelepasan Beban Tanpa Kompensasi	42
Grafik 4.7	Bentuk Gelombang Tegangan Pada Saat Terjadi Voltage Swell Akibat Energisasi Kapasitor Dengan Kompensasi	42
Grafik 4.8	Bentuk Gelombang Daya Pada Saat Terjadi Voltage Swell Akibat Energisasi Kapasitor Dengan Kompensasi	42
Grafik 4.9	Bentuk Gelombang Tegangan Pada Saat Terjadi Voltage Swell Akibat Pelepasan Beban Dengan Kompensasi	43
Grafik 4.10	Bentuk Gelombang Daya Pada Saat Terjadi Voltage Swell Akibat Pelepasan Beban Dengan Kompensasi	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dalam suatu pabrik diperlukan kualitas suplai energi listriknya, hal ini dimaksudkan untuk menjaga proses produksi yang harus tetap berjalan dan memiliki mutu produk yang baik.

PT. Molindo Raya Industrial sebagai perusahaan penghasil alkohol yang besar memiliki cukup banyak peralatan elektronik untuk menunjang proses produksinya. Pada dasarnya peralatan elektronik akan berfungsi dengan baik selama tegangan pada sistem sesuai dengan range yang dibutuhkan peralatan^[1]. Kecenderungan penggunaan beban-beban elektronik dalam jumlah besar telah menimbulkan masalah yang tidak terkirakan sebelumnya. Saat ini peralatan elektronik semakin sensitif terhadap variasi tegangan. Besarnya kenaikan penggunaan beban-beban induktif seperti motor-motor listrik, *Variable Speed Drives (VSD)*, *inverter*, *UPS* dan masih banyak lagi peralatan yang menggunakan komponen-komponen induktif yang berakibat menimbulkan gangguan kestabilan tegangan berupa *voltage swell*. *Voltage swell* merupakan masalah kualitas daya yang sering terjadi di industri, hal ini dapat disebabkan oleh *switching* kapasitor maupun pelepasan beban – beban besar . Gangguan yang terjadi akan berdampak buruk pada performa sistem dan memungkinkan terjadinya kerusakan pada peralatan.

Dalam kaitan dengan perkembangan yang pesat di industri elektronika daya, sebagian besar semikonduktor dengan kapasitas daya yang tinggi tersedia untuk aplikasi sistem tenaga. *FACTS* menggunakan komponen elektronika daya dan metode kendali untuk mengendalikan sisi tegangan tinggi pada jaringan sistem tenaga^[2]. Dengan perhitungan dan bantuan penggunaan software PSCAD/EMTDC dalam penelitian ini, maka kita dapat mensimulasikan pemasangan *Distribution Static Compensator (D-STATCOM)* dan pengaruhnya pada kualitas tegangan pada saat terjadi gangguan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini adalah mengetahui dan memahami apa penyebab terjadinya *voltage swell* pada sistem kelistrikan PT. Molindo Raya Industrial dan bagaimana pengaruhnya terhadap kualitas tegangan pada saat sebelum dan sesudah pemodelan *D-STATCOM*.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

- a. Mengetahui dan memahami penyebab terjadinya *voltage swell* pada sistem kelistrikan PT. Molindo Raya Industrial.
- b. Melakukan pemodelan dan simulasi pemasangan *D-STATCOM* dan mengevaluasi unjuk kerja sistem tersebut.
- c. Menganalisa kualitas tegangan pada sistem kelistrikan PT. Molindo Raya Industrial setelah dilakukan pemodelan dan simulasi pemasangan *D-STATCOM*.
- d. Mengetahui pengaruh pemasangan *D-STATCOM* terhadap kualitas tegangan di sistem kelistrikan PT. Molindo Raya Industrial.

Manfaat dari penelitian ini adalah agar gangguan yang terjadi bisa diminimalisir dan sebagai data baru untuk pengembangan jaringan disitribusi terutama untuk meningkatkan kualitas tegangan .

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan skripsi ini meliputi :

- a. Study case adalah PT. Molindo Raya Industrial.
- b. Data yang digunakan hanya data yang dapat diberikan oleh perusahaan.
- c. Hanya membahas outgoing 1 dan outgoing 2.
- d. Peralatan *FACTS* yang digunakan hanya *D-STATCOM* dan tidak membahas peratatan lainnya.
- e. Gangguan yang disimulasikan adalah *voltage swell*.
- f. Tidak membahas sistem kontrolnya secara mendetail.
- g. Analisa tidak membahas masalah ekonomi.

1.5 Metodologi Penelitian

1. Kajian literatur

Yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori pada literatur yang ada sesuai dengan permasalahan.

2. Pengumpulan data

Bentuk data yang digunakan :

- Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka yang ada di PT. Molindo Raya Industrial.
-

- Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini *single line diagram*.
3. Menganalisa data-data yang telah dikumpulkan .
 4. Kesimpulan.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab 1 : PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

Bab 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisikan tentang teori-teori serta pustaka yang dipakai pada waktu penelitian. Teori-teori ini diambil dari buku literatur dan internet.

Bab 3 : METODE PENELITIAN

Berisikan tentang prosedur penelitian yang dilakukan dengan menggunakan data lapangan dan melakukan analisa menggunakan software PSCAD/EMTDC.

Bab 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan berisikan tentang hasil dari analisa dari pemasangan *D-STATCOM* dan perbandingan antara kondisi kualitas tegangan yang lama dengan kondisi kualitas tegangan baru setelah dilakukan penelitian.

Bab 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

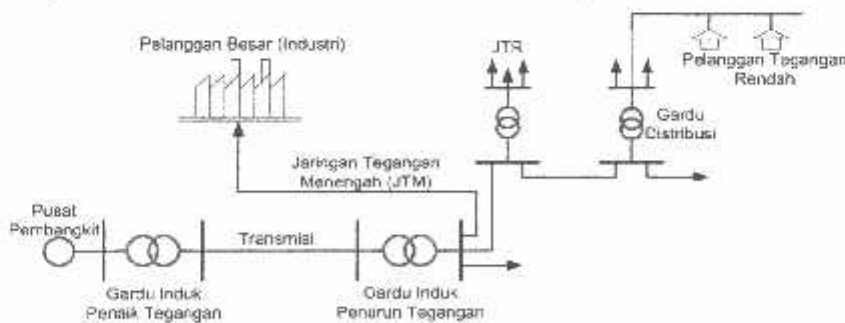
2.1. Sistem Dalam Tenaga Listrik ^[3]

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

1. pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan)
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena satu 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 dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer.



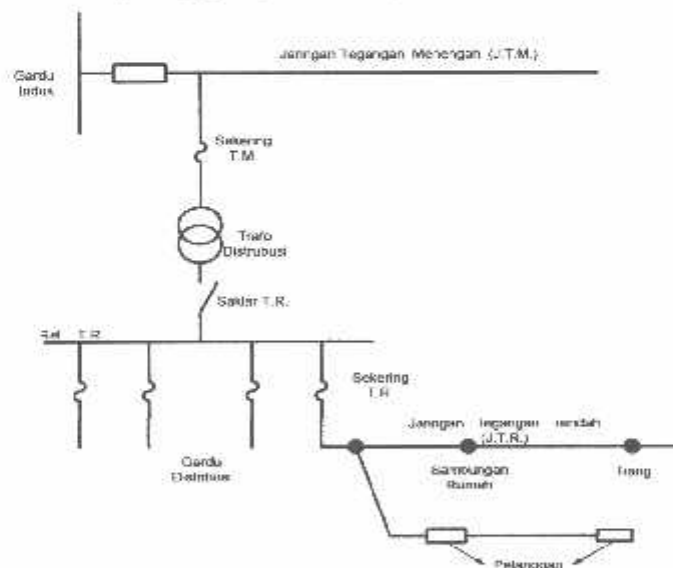
Gambar 2.1 Skema Penyaluran Energi Listrik ^[3]

Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian sub sistem yaitu :

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

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik^[3]

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 bisa disebut jaringan distribusi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN melalui sambungan rumah.



Gambar 2.2 Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan^[4]

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Untuk konsumen industri biasanya digunakan tegangan menengah 20kV sedangkan untuk konsumen perumahan digunakan tegangan rendah 220/380 Volt, yang merupakan tegangan siap pakai untuk peralatan-peralatan rumah tangga. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

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

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

2.2.1. Sistem Distribusi Primer

Jaringan Distribusi Primer merupakan sistem tenaga listrik 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.

2.2.2. 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 sistem satu fasa dengan dua kawat maupun sistem tiga fasa dengan empat kawat.

2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik ^[3]

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

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

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

2.3.1. Struktur Jaringan Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataan bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari GI ke pusat – pusat beban / konsumen yang dilayaninya. Sistem ini terdiri dari saluran utama (*tunk line*) dan saluran cabang (*lateral*).

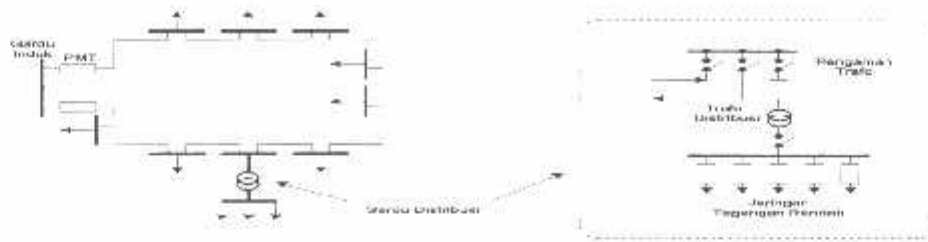


Gambar 2.3 Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial ^[3]

Pelayanan untuk suatu daerah beban tertentu dilaksanakan dengan memasang transformator di sembarang titik pada jaringan sedekat mungkin dengan beban yang dilayani. Untuk daerah beban yang menyimpang jauh dari saluran utama maupun saluran cabang, maka akan ditarik lagi saluran tambahan yang dicabangkan pada saluran tersebut.

2.3.2. Struktur Jaringan Loop (Lingkaran)

Struktur jaringan loop merupakan gabungan dari dua struktur jaringan radial. Dimana pada ujung kedua jaringan dipasang sebuah pemutus (*Circuit Breaker*) atau pemisah (*Disconnect Switch*). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Struktur jaringan *loop* mempunyai keandalan yang baik, sehingga biaya pembangunannya lebih mahal dibandingkan stuktur jaringan radial.

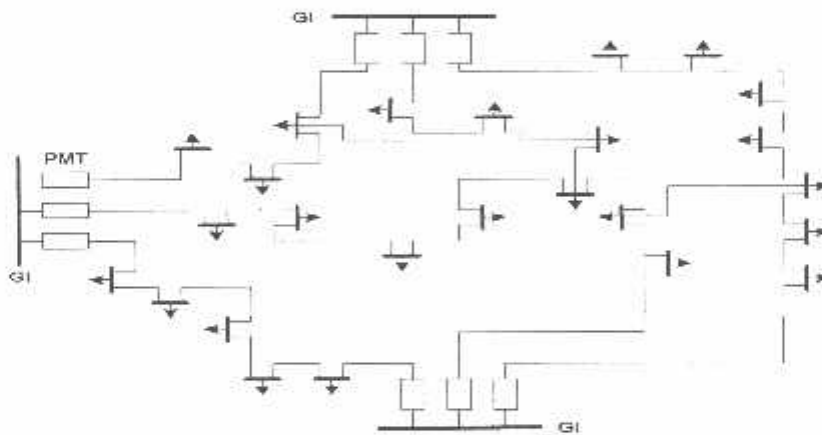


Gambar 2.4

Jaringan Tegangan Menengah Struktur *Loop* yang Dipasok Dari Satu Sumber ^[3]

2.3.3. Struktur jaringan Grid atau *Mesh* (Anyaman)

Struktur jaringan ini merupakan kombinasi antara struktur jaringan radial dengan struktur jaringan *loop*. Titik beban memiliki lebih banyak alternatif penyulang, sehingga bila salah satu penyulang terganggu maka dengan segera dapat digantikan oleh penyulang yang lain.

Gambar 2.5 Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh ^[3]

2.4 Analisa Aliran Daya Jaringan ^[4]

Dalam melayani beban yang dibutuhkan oleh konsumen dan pengoperasian tenaga listrik perlu dilakukan suatu analisa aliran daya, sehingga sistem yang dioperasikan dapat memenuhi syarat yang baik secara teknis maupun tingkat ekonomisnya. Dalam analisa aliran daya dilakukan perhitungan-perhitungan terhadap tegangan, arus, daya aktif, reaktif, dan sudut fasa yang terdapat dalam berbagai titik pada saluran distribusi tenaga listrik.

Tujuan dari analisa daya adalah :

1. Untuk mengetahui keadaan tegangan pada setiap node dari sistem tenaga.
2. Untuk mengetahui besarnya daya yang mengalir pada setiap saluran dari struktur jaringan
3. Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya yang mengalir pada setiap saluran.

2.5 Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik

Pada bagian ini akan menjelaskan macam-macam jenis daya yang ada di dalam sistem tenaga listrik yang meliputi daya aktif, daya reaktif dan daya semu.

2.5.1 Daya Aktif (P)

Daya aktif (*Active Power*) atau daya nyata adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt.

Line to neutral / 1 fasa

$$P = V \times I \times \cos \theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

Line to line/ 3 fasa

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta$$

Ket :

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (Amper)

cos θ = Faktor Daya

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain – lain.

2.5.2 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

Line to neutral/ 1 fasa

$$Q = V \times I \times \sin \emptyset \quad \dots\dots\dots (2)$$

Line to line/ 3 fasa

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \emptyset$$

Ket :

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

Sin \emptyset = Faktor Daya

Ada dua macam daya reaktif yaitu : daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif, dimana keduanya memiliki tanda yang berlawanan. Daya reaktif kapasitif adalah daya yang dibutuhkan oleh kapasitor yang tidak menghasilkan kerja, tetapi tersimpan dalam bentuk energi magnetis atau energi kapasitif.

Daya reaktif induktif adalah daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat-alat seperti motor induksi, transformator dan sebagainya.

2.5.3 Daya Semu (S)

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghanta .Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif^[5].

Line to neutral/ 1 fasa

$$S = V \times I \quad \dots\dots\dots (3)$$

Line to line/ 3 fasa

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

Ket :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

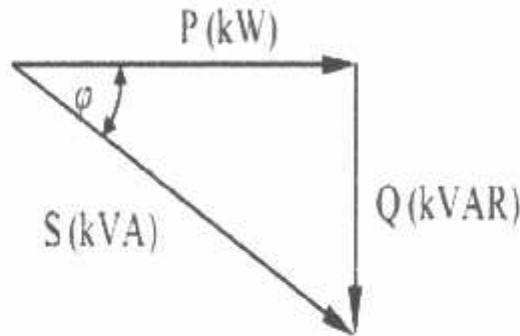
I = Arus yang mengalir pada penghantar (Amper)

2.5.4 Faktor daya ^[5]

Faktor daya pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata dan daya semu, dinyatakan oleh persamaan:

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya Nyata (kW)}}{\text{Daya Semu (kVA)}} \dots\dots\dots (4)$$

Untuk daya sendiri dibentuk oleh dua komponen, daya nyata (P) dan komponen daya reaktif (Q). Hubungan ini dapat digambarkan dalam diagram vektor berikut :



Gambar 2.6 Segitiga daya

Dengan Faktor Daya :

$$\text{Dengan faktor daya} = \text{Cos}\phi = \frac{P}{S}$$

$$\text{Cos}\phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana : P = Daya Nyata (kW)

Q = Daya Semu (kVAR)

S = Daya Semu (kVA)

ϕ = Sudut Fasa

Faktor daya ($\text{Cos}\phi$) akan mendahului (*leading*) apabila arus mendahului tegangan dan akan tertinggal (*lagging*) bila arus terbelakang terhadap tegangan. Dengan diketahui besarnya faktor daya yang terjadi maka, berdasarkan gambar diatas dapat ditentukan nilai masing-masing daya yaitusebagai berikut:

Daya semu : $S = P + jQ$ dengan satuan kVA

Daya nyata : $P = S \text{ Cos } \phi$ dengan satuan kW

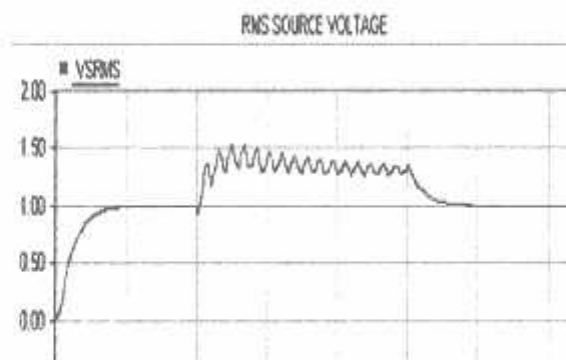
Daya Reaktif : $Q = S \text{ Sin } \phi$ dengan satuan kVar

2.6 Voltage Swell

Ada berbagai macam gangguan terhadap tegangan, diantaranya adalah *voltage sag*, *voltage swell*, harmonisa, ketidakseimbangan tegangan. Di antara gangguan-gangguan tersebut gangguan yang paling sering terjadi adalah *voltage swell*. Hal ini akan mempengaruhi kualitas tegangan itu sendiri.

2.6.1 Definisi Voltage Swell

Voltage Swell didefenisikan sebagai kenaikan tegangan rms atau arus pada frekuensi daya antara 1.1 dan 1.8 pu untuk durasi dari 0.5 cycle hingga 10 cycle atau 50 sampai 170 milidetik. Voltage swell dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan karena mengalami kenaikan tegangan di atas nilai yang diijinkan.



Gambar 2.7 Voltage Swell

- Penyebab Voltage Swell ^[5],

Swell biasanya timbul saat :

1. Bersama-sama dengan kondisi gangguan sistem
2. Dapat juga terjadi karena adanya kenaikan tegangan temporer pada fasa yang tidak terganggu selama gangguan satu fasa ke tanah
3. Saat energisasi kapasitor
4. Pelepasan beban-beban besar.

Voltage swell banyak disebabkan karena adanya reduksi beban pada suatu rangkaian dengan regulator tegangan yang jelek, dan dapat juga karena disebabkan kehilangan koneksi netral.

Dalam hal ini IEEE memberikan klasifikasi umum dari fenomena *voltage swell* berdasarkan hal-hal berikut ^[6]

- *principal spectral content*
- Durasi gangguan
- Besarnya gangguan

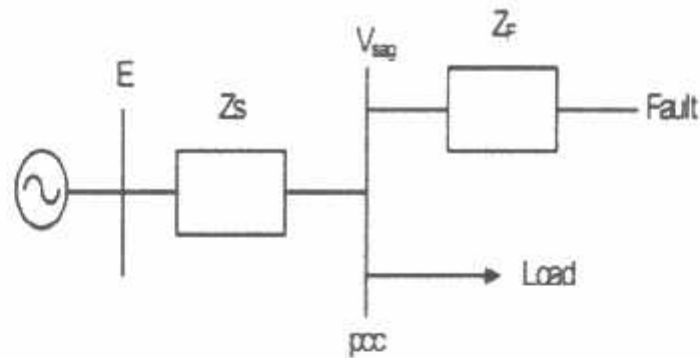
No.	Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0	Transients			
1.1	Impulsive			
1.1.1	Nanosecond	5-ns rise	< 50 ns	
1.1.2	Microsecond	1- μ s rise	50 ns - 1 ms	
1.1.3	Millisecond	0.1-ms rise	> 1 ms	
1.2	Oscillatory			
1.2.1	Low Frequency	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu (per unit)
1.2.2	Medium Frequency	5 - 500 kHz	20 μ s	0 - 8 pu
1.2.3	High Frequency	0.5 - 5 MHz	5 μ s	0 - 4 pu
2.0	Short-duration variations			
2.1	Instantaneous			
2.1.1	Interruption		0.5 - 30 cyc	< 0.1 pu
2.1.2	Sag (Dip)		0.5 - 30 cyc	0.1 - 0.9 pu
2.1.3	Swell		0.5 - 30 cyc	1.1 - 1.8 pu
2.2	Momentary			
2.2.1	Interruption		30 cy - 3 s	< 0.1 pu
2.2.2	Sag (Dip)		30 cy - 3 s	0.1 - 0.9 pu
2.2.3	Swell		30 cy - 3 s	1.1 - 1.4 pu
2.3	Temporary			
2.3.1	Interruption		3 sec - 1 min	< 0.1 pu
2.3.2	Sag (Dip)		3 sec - 1 min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3	Swell		3 sec - 1 min	1.1 - 1.2 pu

Source: IEEE Std 1159-1995

Gambar 2.8 standar IEEE 1159-1995, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*

2.6.2 Perhitungan Nilai *Voltage Swell* Pada Sistem

Untuk menghitung besaran *voltage swell* pada sistem radial dapat dilihat pada contoh model yang ditunjukkan pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Model Pembagi Tegangan untuk *Voltage swell*

Dari Gambar 2.9 diatas dilihat adanya 2 impedansi yaitu; Z_s (impedansi sumber pada titik kopling bersama) dan Z_f (impedansi antara titik kopling bersama dan gangguan). Titik kopling bersama (point of common coupling atau PCC) adalah titik dimana cabang-cabang arus beban dalam posisi off dari arus gangguan. Jadi besaran kedip tegangan dinyatakan dengan persamaan:

$$V_{swell} = \frac{Z_f}{Z_s + Z_f} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Persamaan 1 dapat digunakan untuk menghitung besaran voltage swell sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan. Karenanya dinyatakan $ZF = Z * L$, dimana Z adalah impedansi dari saluran per unit panjang dan L adalah jarak antara kesalahan dan PCC. Besaran kedip tegangan sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan dinyatakan dengan persamaan :

$$V_{swell} = \frac{zL}{Z_s + zL} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Dimana,

V_{swell} : tegangan swell (pu),

Z_f : impedansi antara titik kopling bersama dan gangguan (Ω)

Z_s : impedansi sumber pada titik kopling bersama (Ω)

Z : impedansi dari saluran per unit panjang (Ω)

L : adalah jarak antara kesalahan dan PCC (m)

2.6.3 Pengaruh *Voltage Swell* Pada Peralatan

Dampak utama *voltage swell* adalah terhentinya proses produksi. Adapun dampak lainnya yaitu, bisa berpengaruh fatal pada mesin-mesin produksi.

Pada peralatan kontrol yang berbasis mikroprosesor / mikrokontroler, *voltage swell* dapat mengakibatkan hilangnya catu daya ke memori sehingga sistem akan reset begitu juga pada *Programmable Logic Controller* (PLC) yang bisa mengalami *shut off* karna tegangan suplai tidak sesuai dengan nilai nominal operasi.

Voltage swell juga akan sangat berpengaruh terhadap relay-relay pengaman, pada saat terjadi *voltage swell*, relay akan mendeteksi sebagai gangguan sehingga menghentikan kerja peralatan.

2.7 Software PSCAD / EMTDC

PSCAD (*Power Sistem CAD*) 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.

2.8 Peralatan Elektronika Daya *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT)

IGBT – insulated gate bipolar transistor) adalah piranti semikonduktor yang setara dengan gabungan sebuah *BJT* dan sebuah *MOSFET*. Jenis peranti baru yang berfungsi sebagai komponen saklar untuk aplikasi daya ini muncul sejak tahun 1980-an.

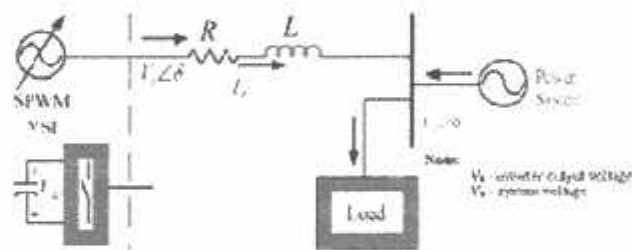
Masukan dari *IGBT* adalah terminal *Gerbang* dari *MOSFET*, sedang terminal *Sumber* dari *MOSFET* terhubung ke terminal *Basis* dari *BJT*. Dengan gabungan sifat kedua unsur tersebut, *IGBT* mempunyai perilaku yang cukup ideal sebagai sebuah saklar elektronik. Di satu pihak *IGBT* tidak terlalu membebani sumber, di pihak lain mampu menghasilkan arus yang besar bagi beban listrik yang dikendalikannya. Di samping itu, kecepatan pensaklaran *IGBT* juga lebih tinggi dibandingkan peranti *BJT*, meskipun lebih rendah dari peranti *MOSFET* yang setara. Dengan demikian bila tegangan jatuh serta borosan dayanya pada saat keadaan menghantar juga kecil. Dengan sifat-sifat seperti ini, *IGBT* akan sesuai untuk dioperasikan pada arus yang besar, hingga ratusan Ampere, tanpa terjadi kerugian daya yang cukup berarti. *IGBT* sesuai untuk aplikasi pada perangkat *Inverter* maupun Kendali Motor Listrik (*Drive*).

2.9 Peralatan Kompensasi *Distribution Static Compensator (D-STATCOM)*

Pada bagian ini akan dijelaskan model dari *D-STATCOM* dan prinsip kerja dari alat tersebut.

2.9.1 Model *D-STATCOM*

D-STATCOM merupakan sistem 3 fasa yang dihubungkan secara shunt pada peralatan berbasis elektronika daya dan dipasang di dekat beban pada suatu sistem distribusi. *D-STATCOM* pada umumnya merupakan sebuah saklar *solid-state* yang mempunyai kemampuan untuk membangkitkan atau menyerap daya nyata atau reaktif. *D-STATCOM* terdiri dari beberapa bagian yaitu VSC (*Voltage Source Converter*), menghasilkan tegangan ac tiga phase. Tegangan dc disediakan oleh kapasitor penyimpan energi. Komponen utama dari *D-STATCOM* ditunjukkan pada Gambar 2.10 Terdiri dari kapasitor dc, inverter tiga fasa (IGBT, thyristor) modul, ac filter, kopling transformator dan strategi pengendalian [7].

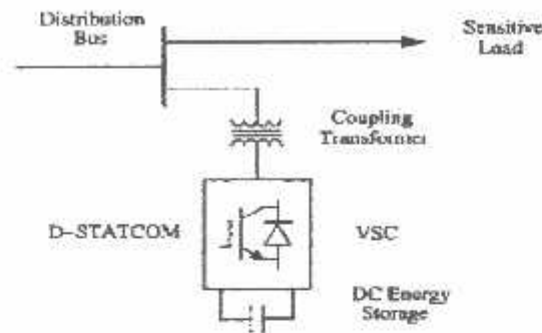


Gambar 2.10 Diagram Dasar Blok *D-STATCOM*

Blok elektronik *D-STATCOM* berfungsi sebagai inverter tegangan-sumber yang mengubah tegangan masukan menjadi tegangan keluaran tiga-fasa pada frekuensi dasar.

2.9.2 Prinsip Kerja *D-STATCOM* [5]

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*.



Gambar 2.11 Diagram Blok Fungsional *D-STATCOM*

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 aktif dan daya reaktif dari *D-STATCOM* dan sistem arus bolak-balik. VSC yang dihubungkan secara *shunt* dengan sistem arus bolak-balik^[5]

D-STATCOM dapat meningkatkan kemampuan sistem tenaga pada beberapa bagian antara lain :

1. Kontrol tegangan dinamik pada sistem distribusi
2. Meredam osilasi daya pada sistem transmisi daya
3. Stabilitas transient
4. Kontrol kedip tegangan (*voltage swell*)

2.10 Kontrol PWM Berbasis Sinusoida^[8]

Bagian ini menguraikan skema kontrol PWM yang berbasis dengan mengacu pada *D-STATCOM*. Skema kontrol untuk DVR mengikuti prinsip yang sama. Tujuan dari skema kontrol adalah untuk menjaga besarnya tegangan konstan pada titik di mana beban sensitif terhubung, di bawah gangguan sistem. Sistem kontrol hanya mengukur tegangan rms pada titik beban, tidak ada pengukuran daya reaktif yang diperlukan. Strategi Peralihan VSC didasarkan pada teknik PWM sinusoidal yang menawarkan kesederhanaan dan respon yang baik. Karena daya kustom adalah sebuah aplikasi yang relatif berdaya rendah, metode PWM menawarkan pilihan yang lebih fleksibel dibandingkan *switching* frekuensi dasar.

Selain itu, frekuensi *switching* tinggi dapat digunakan untuk memperbaiki efisiensi konverter, tanpa menimbulkan *switching losses* yang signifikan.

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*) dengan tujuan menghasilkan sinyal penyakelaran untuk VSC.

Parameter utama dalam rencana sinusoidal PWM adalah index sinyal amplitudo modulasi (m_a) pada sinyal $V_{control}$, dan sinyal segitiga pada index modulasi frekuensi (m_f). Index Amplitudo M_a dipertahankan tetap pada 1 (pu), dalam hal memperoleh komponen dasar tegangan tinggi pada pengontrol keluaran. Frekwensi Switching ditetapkan pada 450 Hz, $M_f=9$ dan kasus pengujian dilakukan pada jaringan yang stabil. Sudut modulasi diterapkan pada pembangkitan sinyal PWM pada fasa A. Untuk fasa B dan C dengan pergeseran berturut turut 120° dan 240° . Penerapan pengendalian sangat sederhana dengan menggunakan sinyal tegangan sebagai variabel umpan balik dalam perencanaan pengontrolan. Kecepatan respon dan efektifitas perencanaan pengontrolan ditunjukkan dalam simulasi.

2.11 Kontrol Proporsional Integral (PI)

Kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi. Disamping banyak diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudi pesawat dan sebagainya. Kontrol otomatis telah menjadi bagian penting dan terpadu dari proses-proses dalam pabrik dan industri modern. Pada bagian ini akan dijelaskan apa itu kontrol PI secara umum, prinsip pengendalian proses, serta prinsip kerjanya.

2.11.1 Umum

Kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Disamping banyak diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudi pesawat, dan sebagainya. Kontrol otomatis telah menjadi bagian yang sangat penting dan terpadu dari proses – proses dalam pabrik dan industri modern. Misalnya, kontrol otomatis sangat diperlukan di

dalam dunia industri seperti pengontrolan tekanan, suhu, kelembaban, viskositas, dan arus dalam industri proses.

Karena kemajuan dalam teori dan praktek kontrol otomatis memberikan kemudahan dalam mendapatkan performansi dari sistem dinamik, mempertinggi kualitas dan menurunkan biaya produksi, mempertinggi laju produksi, meniadakan pekerjaan-pekerjaan rutin dan membosankan yang harus dilakukan oleh manusia, dan sebagainya.

Sejarah perkembangan. Hasil karya pertama yang sangat penting dalam kontrol otomatis adalah governor sentrifugal untuk pengontrolan kecepatan mesin uap yang dibuat oleh *James Watt* pada abad ke delapan belas. Hasil karya lainnya yang penting pada tahap awal perkembangan teori kontrol dibuat oleh *Minorsky*, *Hazen*, *Nyquiste*, dan sebagainya. Pada tahun 1922, *Minorsky* membuat kontroler otomatis untuk mengendalikan pengemudian kapal dan menunjukkan cara menentukan kestabilan dari persamaan differensial yang melukiskan sistem. Pada tahun 1932 *Nyquis* mengembangkan suatu prosedur yang relatif sederhana untuk menentukan kestabilan sistem loop tertutup pada basis sistem loop terbuka terhadap masukan tunak (*steady state*) sinusoida. Pada tahun 1934 *Hazen*, yang memperkenalkan istilah servomekanis untuk sistem kontrol posisi, membahas desain servomekanis relay yang mampu mengikuti dengan baik masukan yang berubah. Selama dasawarsa 1940-an, metode respon frekuensi memungkinkan para insinyur untuk mendesain sistem kontrol linier berumpan balik yang memenuhi persyaratan kinerja. Metode respon frekuensi dan tempat kedudukan akar, yang merupakan inti teori kontrol fisik, akan membawa sistem yang stabil dan memenuhi seperangkat persyaratan kinerja yang hampir seimbang.

Hampir semua proses dalam industri membutuhkan peralatan – peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak saja diperlukan demi operasi, keamanan, ekonomi maupun mutu produk, tetapi lebih merupakan kebutuhan pokok. Kelak akan dipelajari alat tidak mungkin menjalankan suatu proses industri tanpa bantuan sistem pengendali. Contohnya adalah pengendalian penggilingan minyak. Proses disuatu penggilingan minyak tidak mungkin dapat dijalankan tanpa bantuan fungsi sistem dari pengendalian.

Ada banyak parameter yang baru dikendalikan di dalam suatu proses. Diantaranya yang paling umum adalah tekanan (*pressure*) didalam sebuah *vassel* atau pipa, aliran (*flow*)

didalam pipa, suhu temperatur di unit proses seperti *heat exchanger*, atau permukaan zat cair (*level*) disebuah tangki. Ada beberapa parameter lain diluar keempat parameter diatas yang cukup penting dan perlu dikendalikan karena kebutuhan spesifik proses, diantaranya : PH di industri petrokimia, *water cut (w&w)* diladang minyak mentah, warna produksi suatu fasilitas pencairan gas (NGL) dan sebagainya.

Gabungan serta kerja alat-alat pengendalian otomatis inilah dinamai sistem pengendalian proses (proses contoh sistem). Sedangkan semua peralatan yang menjalankan sistem pengendali disebut instrumentasi pengendalian proses (*Process Control Instrumentation*).

Kedua hal ilmu tersebut berhubungan satu dengan yang lain, dimana keduanya mempunyai hakikat yang berbeda. Pembahasan tentang ilmu proses kontrol sistem lebih dipusatkan pada kerja sistem, sering kali diperlukan penjelasan melalui alat kerja.

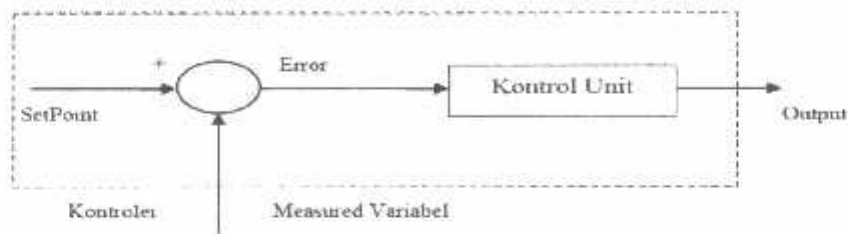
2.11.2 Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses

Dalam pengendali proses, operator mengerjakan empat langkah sebagai berikut: *Mengukur, Membandingkan, Menghitung dan Mengoreksi*. Keempat langkah yang dilakukan operator itu, seluruhnya dapat dikerjakan oleh instrumentasi. Manusia kemudian sama sekali tidak menentukan keempat langkah tadi. Operator hanya perlu menentukan besarnya *set point*, dan semuanya akan dikerjakan secara otomatis oleh instrument. Sistem pengendali semacam inilah yang disebut sistem pengendali otomatis (*automatic control sistem*). Keempat tahap pengendaliannya, sepenuhnya dilakukan oleh instrumentasi. Mata rantai pengendalinya kemudian disebut mata rantai tertutup, dan sistemnya juga disebut sistem pengendalian tertutup atau *sistem closed loop*.

2.11.3 Prinsip Kerja Pengendali

Ada tiga jenis pengendali kontinyu, yaitu pengendali proposional di singkat P, pengendali integral di singkat I, dan pengendali diferensial di singkat D. Karena kelebihan dan kekurangan ketiga pengendali itu, mereka seringkali dipakai dalam bentuk kombinasi, yaitu P+I disingkat PI, P+D disingkat PD, dan P+I+D disingkat PID. Ketiga jenis pengendali ini memberikan respon yang berbeda-beda. Pada dasarnya, tugas sebuah pengendali kontinyu terbagi dalam dua tahap, yaitu membandingkan dan menghitung.

Pembandingan itu sendiri dilakukan dengan mengurangi besarnya *set point* dengan besaran *measurement variabel*, yang hasilnya adalah besaran yang disebut *error*. Karena set point bisa lebih besar atau lebih kecil dari *measurement variable*, nilai *error* bisa positif dan bisa juga negatif. Jadi *error* adalah input unit kontrol dan *manipulated variable* adalah output unit kontrol. Besarnya *manipulated variable* dihitung berdasarkan *error* dan *transfer function* unit kontrol. Bentuk *transfer function* dari unit kontrol terhitung pada “mode” yang ada dikontroler.

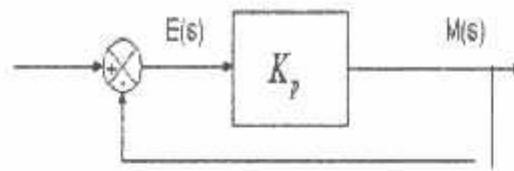


Gambar 2.12 Kontroler dan Diagram Kotaknya

2.11.4 Pengendali Proporsional (*Proporsional Controller*)

Salah satu dari ketiga unit kontrol yang paling populer dan paling banyak dipakai adalah unit kontrol P, seperti tercermin dari namanya, besar *output* unit kontrol P selalu sebanding dengan besarnya *input*. Bentuk *transfer function* unit kontrol *proporsional* oleh karenanya akan sederhana sekali, sehingga bentuk *transfer function*-nya juga sederhana. Unit kontrol P adalah unit kontrol yang paling banyak dipakai, baik tersendiri dalam bentuk pengendali *P-only* maupun dalam kombinasi dengan mode integral (I) dan differensial (D).

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding / proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukan. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya. Gambar 3.6 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran *setting*, besaran *actual* dengan besaran keluaran kontroler proporsional. Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi kontroler, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



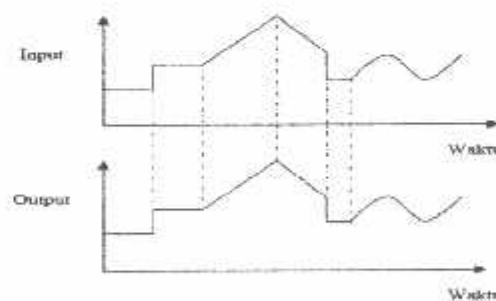
Gambar 2.13 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki 2 parameter, yaitu pita proporsional (*proportional band*) dan konstanta proporsional. Hubungan antara pita proporsional (*PB*) dengan konstanta proporsional (K_p) ditunjukkan secara prosentase oleh persamaan berikut ini :

$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\%$$

Dimana: PB = Proporsional Band
 K_p = Konstanta Proporsional

Walaupun hubungan input-output unit kontrol proporsional bukan merupakan fungsi waktu, untuk bahan perbandingan dengan unit kontrol lain, ada baiknya kalau hubungan itu dinyatakan dalam bentuk kurva fungsi waktu. Dari gambar 3.6 jelas terlihat bahwa output selalu mengikuti input secara proporsional. Naik turunnya input diikuti secara langsung oleh output, dan besarnya selalu sama dengan input kali gain. Karena unit kontrol proporsional ini bukan fungsi waktu, dinamik gain pengendali ini sama dengan *steady state* gainnya. Dengan kata lain, besarnya gain tidak tergantung pada besarnya frekuensi loop.



Gambar 2.14 Response Sebuah Pengendali Proporsional

Contoh pengendali integral proporsional yang mudah ditemui dalam kehidupan sehari-hari adalah pengisian tangki penampung air di kloset. Hal yang perlu diperhatikan

pada contoh ini adalah bahwa kontrol unit di contoh bekerja secara proporsional. Artinya, koreksi dalam hal ini buka tutupnya *control valve* akan selalu sebanding dengan ketinggian level. *Set point* dalam hal ini adalah sama dengan ketinggian level maksimum.

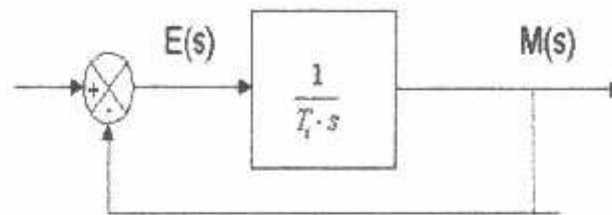
2.11.5 Pengendali Integral (*Integrator Controller*)

Setelah pengendali proporsional diketahui “gagal” mengendalikan sistem secara sempurna dalam arti masih adanya *offset*. Dikarenakan sifat dasar pengendali proporsional yang masih memerlukan *error* untuk menghasilkan *output*. Oleh karena itu, untuk menghilangkan *offset*, diperlukan pengendali lain yang dapat menghasilkan *output* walaupun sudah tidak ada *input* lagi. Sifat unit inilah yang dimiliki oleh pengendali integral. Sayangnya, kemampuan pengendali integral menghilangkan *offset* tidak disertai kemampuan bereaksi secara cepat. Karena lambatnya reaksi tersebut maka pengendali integral biasanya dipakai dalam kombinasi dengan pengendali proporsional. Kedua pengendali tersebut dipasang secara paralel sehingga kelebihan kedua pengendali dapat dimanfaatkan secara serempak. Kalau diteliti dengan seksama, *offset* dapat terjadi di sistem pengendali proporsional, karena pengendali proporsional selalu membutuhkan *error* (dalam hal ini *input* ke *unit control*) untuk menghasilkan suatu *output*. Kalau tidak ada *error*, *output* yang keluar dari pengendali proporsional hanyalah bias yang biasanya disetel 50%.

Jadi untuk menghasilkan *offset* dibutuhkan sebuah pengendali lain, yang dapat menghasilkan *output* walaupun padanya tidak diberikan *input*. Dengan kata lain, diperlukan pengendali yang dapat menghasilkan *output* lebih besar atau lebih kecil dari bias pada saat *input (error)* sama dengan nol. Pengendali yang memenuhi kriteria ini adalah pengendali integral, disingkat I.

Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah *plant* tidak memiliki unsur *integrator* ($1/s$), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Dengan kontroler integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol. Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang

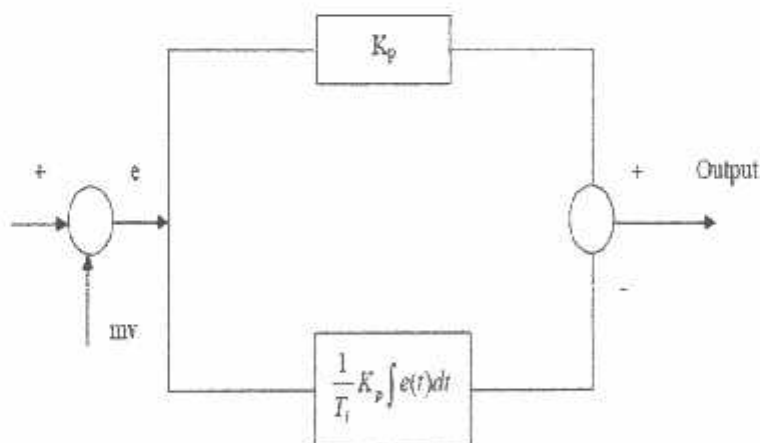
terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Gambar 3.8 menunjukkan blok diagram antara kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.



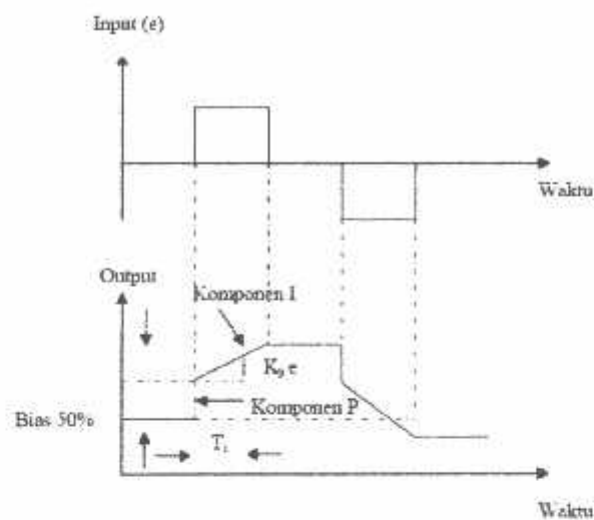
Gambar 2.15 Blok Diagram Kontroler Integral

2.11.6 Pengendali Proporsional Integral (*PI Controller*)

Karena sifatnya yang tidak mengeluarkan *output* sebelum selang waktu tertentu, pengendali integral jadi memperlambat respon, walaupun *offset* hilang oleh karenanya. Untuk memperbaiki lambatnya respon, umumnya pengendali integral dipasang paralel dengan pengendali proporsional seperti gambar 3.9. Gabungan kedua pengendali tersebut lazim disebut dengan pengendali PI atau PI kontroler, dan pengendali dikatakan punya dua mode, yaitu P dan I.



Gambar 2.16 Diagram Kotak Pengendali PI



Gambar 2.17 Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu

2.12 Kompensasi *D-STATCOM* Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Ketidakstabilan tegangan dalam sistem distribusi bisa menyebabkan terjadinya pemborosan energi listrik. Ketidakstabilan itu dapat diartikan tegangan pada suatu fase lebih besar, lebih kecil atau berfluktuasi terhadap tegangan standar. Sedangkan akibat pemborosan energi listrik itu maka timbul panas sehingga bisa menyebabkan pertama kerusakan isolator peralatan yang dipakai. Kedua memperpendek daya isolasi pada lilitan. Sementara itu dengan ketidakseimbangan sebesar 3% saja dapat memperbesar suhu motor yang sedang beroperasi sebesar 18% dari keadaan semula. Hal ini tentunya akan menimbulkan suara bising pada motor dengan kecepatan tinggi.

Untuk mengoptimalkan pemakaian energi listrik bisa digunakan beban-beban tiruan berupa LC yang dilengkapi dengan teknologi pengendalian. Sehingga ketepatan dan keandalan dalam mendeteksi kualitas daya listrik bisa diperoleh. Pengendali itu berfungsi untuk mengolah komponen-komponen yang menentukan kualitas tenaga listrik. Seperti keseimbangan beban antar fasa dan harmonik. Apabila terdapat ketidakseimbangan antara fasa satu dengan fasa yang lainnya, maka pengendali akan memerintahkan beban-beban LC untuk membuka atau menutup agar arus disuplai ke fasa satu sehingga selisih arus antara fasa satu dengan fasa yang lainnya tidak ada. Banyaknya L atau C yang dibuka atau ditutup tergantung dari kondisi ketidakseimbangan beban yang terdeteksi oleh pengontrol.

Komponen *LC* yang dimaksudkan diatas sudah terintegrasi dalam peralatan *D-STATCOM*. Hampir semua beban dalam sistem tenaga listrik didominasi oleh beban-beban induktif seperti motor-motor listrik, inverter, *UPS* dan masih banyak lagi peralatan yang menggunakan komponen-komponen induktif yang berakibat menimbulkan gangguan *voltage swell*. Untuk mengatasi permasalahan ini *D-STATCOM* menawarkan pengendalian yang fleksibel dalam mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut. Ini mungkin dilakukan dengan adanya perkembangan piranti elektronika daya yang berkembang cukup pesat, *full controlable* dan penggunaannya dapat dipadukan ke dalam sistem tenaga listrik baik sisi tegangan tinggi maupun tegangan rendah. Dalam hal ini *D-STATCOM* dilengkapi dengan pengendali PI dan kontrol PWM berbasis sinusoida.

3.1.3 Data Motor

Tabel 3.2 Data motor gardu produksi

No	Nama motor	KW	HP	RPM	Tegangan (V)	Arus (I)
1	Condensate Pump 1	5,5	7,5	2900	380/660	11,3/6,5
2	Condensate Pump 2	5,5	7,5	2900	380/660	11,3/6,5
3	Analiser Reboiler Rec. Pump 1	110	150	988	380	207
4	Analiser Reboiler Rec. Pump 2	110	150	988	380	207
5	Analiser Reboiler Rec. Pump 3	110	150	988	380	207
6	Spent Wash Transfer Pump 1	11	15	2920	380/660	21,2/12,2
7	Spent Wash Transfer Pump 2	11	15	2920	380/660	21,2/12,2
8	Rectifier Reflux Pump 1	11	15	2890	380/660	21,3/12,3
9	Rectifier Reflux Pump 2	11	15	2890	380/660	21,3/12,3
10	Rectifier Transfer Pump 3	0,55	0,75	2780	220/380	2,85/1,65
11	Rectifier Transfer Pump 4	0,55	0,75	2780	220/380	2,85/1,65
12	FOC Reflux Pump 1	0,75	1	2760	220/380	3,6/2,1
13	FOC Reflux Pump 2	0,75	1	2760	220/380	3,6/2,1
14	Purifier Transfer Pump 1	7,5	10	2850	380/660	16,5/9,5
15	Purifier Transfer Pump 2	7,5	10	2850	380/660	16,5/9,5
16	Lees Feed for Purifier 1	2,2	3	2830	220/380	8,3/4,8
17	Lees Feed for Purifier 2	4	5,5	2860	220/380	14,8
18	Vacuum Pump 1	11	15	1460	380	21,5
19	Vacuum Pump 2	11	15	1460	380/660	22,3/12,8
20	Vacuum Pump 3	11	15	1460	380/660	22,3/12,8
21	Lees Feed for Aldehyde 1	5,5	7,5	2915	380/660	10,9/6,3
22	Lees Feed for Aldehyde 2	5,5	7,5	2915	380/660	10,9/6,3
23	Wash Water Feed Pump 1	1,1	1,5	1380	220/380	5/2,9
24	Wash Water Feed Pump 2	1,1	1,5	1380	220/380	5/2,9
25	Weak Beer Transfer Pump 1	11	15	2920	400	22
26	Weak Beer Transfer Pump 2	11	15	2910	380/660	21,8/12
27	Boster Pump Aldehyde / H304	5,5	7,5	1440	220/380	20,1/11,6
28	Boster Pump Super	7,5	10	1450	380/660	14,9/8,6
29	DMC Transfer Pump 1	1,5	2	2865	220/380	6,3/3,6
30	DMC Transfer Pump 2	1,5	2	2865	220/380	6,3/3,6
31	DMC Reflux Pump 1	1,5	2	2865	220/380	5,3/3,1
32	DMC Reflux Pump 2	1,5	2	2865	220/380	6,3/3,6
33	DMC IS Transfer Pump 1	1,1	1,5	1405	220/380	4,9/2,9
34	DMC IS Transfer Pump 2	0,75	1	1410	220/380	3,57/2,06
35	Super Rectifier Reflux Pump 1	2,2	3	2860	220/380	8,6/5,5
36	Super Rectifier Reflux Pump 2	1,5	2	2865	220/380	6,3/3,6
37	Super Rectifier Transfer Pump 1	2,2	3	2860	220/380	8,6/5,0
38	Super Rectifier Transfer Pump 2	1,1	1,5	2850	220/380	6,3/3,6
39	Reboiler Super Pum 1	4	5,5	1430	380/660	8,7/5,0

40	Reboiler Super Pum 2	5.5	7.5	1459	380/660	11.7/6.8
41	Pumpa Penguapan TK 1	0.75	1	1383	380	1.982
42	Pumpa Penguapan TK 2	0.55	0.75	1400	220/380	2.7/1.6
43	Feed Distilasi 1	22	30	2935	380	42.5
44	Feed Distilasi 2	22	30	2935	380	42.5
45	P.Air vacuum	7.5	10	2800	220/380	25.6/14.8
46	P.Falling film 1	7.5	10	2900	380-415	15-13.7
47	P.Falling film 2	4	5.5	2900	220/380	14

Tabel 3.3 Data motor gardu boiler batu bara

No	Nama motor	KW	HP	RPM	Tegangan (V)	Arus (I)
1	Screw Feed	2.2	3	1440	230/400	9.0/5.22
2	Coil Handling/Hopper elevator	4	5.5	960	380/660	9.7/5.6
3	RH Swing Cute	0.25	0.33	1345	230/400	1.3/0.75
4	LH Swing Cute	0.25	0.33	1400	220/380	1.26/0.72
5	RH Stroker	0.55	0.75	1410	220/380	2.4/1.39
6	LH Stroker	0.55	0.75	1410	220/380	2.4/1.39
7	RH FD Fan	7.5	10	1440	400/690	14.6/8.46
8	LH FD Fan	7.5	10	1440	400/690	14.6/8.46
9	Soot Blower 1	0.25	0.33	1345	230/400	1.3/0.75
10	Soot Blower 2	0.25	0.33	1345	230/400	1.3/0.75
11	Soot Blower 3	0.25	0.33	1345	230/400	1.3/0.75
12	Soot Blower 4	0.25	0.33	1345	230/400	1.3/0.75
13	Feed Pump 1	18.5	25	2940	380/660	34/19.5
14	Feed Pump 2	18.5	25	2940	380/660	34/19.5
15	ID Fan	75	100	1475	380	140
16	Aux ID Fan	3	4	2880	220/380	12.2/6.9
17	Ash Valve 1	0.37	0.5	920	220/380	2.4/1.4
18	Ash Valve 2	0.37	0.5	920	220/380	2.4/1.4
19	Ash Valve 3	0.37	0.5	920	220/380	2.4/1.4
20	Ash Conveyor	0.75	1	1350	230/400	3.13/1.8
21	Rota tool	2.2	3	3000	380	5.6

Tabel 3.4 Data motor gardu spraypond

No	Nama motor	KW	HP	RPM	Tegangan (V)	Arus (I)
1	P.CT Spray pond 1	160	215	1485	380/660	295/170
2	P.CT Spray pond 2	160	215	1485	380/660	295/170
3	P.Boster Spray pond 1	90	120	1485	380/660	164/94.9
4	P.Boster Spray pond 2	90	120	1485	380/660	164/94.9
5	P.Air crusser	7.5	10	2800	380	14.8/8.46

6	Fan gardu induk	0.38	0.5	1400	380	0.7
7	P.Sirkulasi spray ponds	22	30	1440	380	42,7

3.2 Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation

Pada prinsipnya, aplikasi perangkat lunak (*software*) pada komputer digital bertujuan untuk mempermudah dilakukannya analisis terhadap sistem tenaga listrik, terutama terhadap sistem yang besar dan kompleks. Salah satu software khusus yang mempermudah perhitungan analisis sistem tenaga ini adalah PSCAD/EMTDC.

PSCAD (*Power System Computer Aided 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 yang terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga tersedia, jadi pengguna dapat mengubah parameter sistem, menjalankan simulasi dan melihat hasil secara langsung.



Gambar 3.2 Logo PSCAD

Software ini memberikan fasilitas untuk studi dan analisis dalam bidang elektronika daya, kualitas daya, proteksi dan perencanaan peralatan yang mendukung kinerja sistem tenaga listrik. Dibandingkan dengan software lain dengan tujuan yang sama, PSCAD memiliki kecepatan dan akurasi yang lebih baik serta lebih mudah digunakan.

PSCAD juga dikenal dengan nama PSCSD/EMTDC karena EMTDC (*Electromagnetic Transient Including DC*) merupakan bagian fungsi simulasi yang terintegrasi dengan PSCAD untuk mendukung fungsi tampilan grafis PSCAD. Dengan adanya fasilitas EMTDC, software ini sangat sesuai untuk mendesain simulasi suatu sistem tenaga listrik beserta sistem kontrolnya secara online berdasarkan rentang waktu tertentu (*time domain instantaneous response*). Fungsi desain, analisis dan tampilan grafis untuk suatu sistem yang akan dianalisa dapat ditampilkan dalam suatu paket dengan dilengkapi fasilitas kontrol unit, meter dan online plottinggrafis yang interaktif. Dengan kemampuannya ini,

software PSCAD/EMTDC sudah digunakan dalam bidang manufaktur, penelitian dan konsultan sebagai alat analisa yang utama^[11].

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*

3.3 Kontrol PWM berbasis sinusoida^[8]

Bagian ini menguraikan skema kontrol PWM yang berbasis dengan mengacu pada D-STATCOM. Skema kontrol untuk DVR mengikuti prinsip yang sama. Tujuan dari skema kontrol adalah untuk menjaga besarnya tegangan konstan pada titik di mana beban sensitif terhubung, di bawah gangguan sistem. Sistem kontrol hanya mengukur tegangan rms pada titik beban, tidak ada pengukuran daya reaktif yang diperlukan. Strategi Peralihan VSC didasarkan pada teknik PWM sinusoidal yang menawarkan kesederhanaan dan respon yang baik. Karena daya kustom adalah sebuah aplikasi yang relatif berdaya rendah, metode PWM menawarkan pilihan yang lebih fleksibel dibandingkan *switching* frekuensi dasar. Selain itu, frekuensi *switching* tinggi dapat digunakan untuk memperbaiki efisiensi konverter, tanpa menimbulkan *switching losses* yang signifikan.

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. Dalam generator PWM, kendali sinyal sinusoidal adalah *phase-modulated* dengan cara sudut (δ). Sinyal yang diatur dibandingkan dengan suatu sinyal bersegi tiga (*carrier*) dengan tujuan menghasilkan sinyal penyakelaran untuk VSC.

Parameter utama dalam rencana sinusoidal PWM adalah index sinyal amplitudo modulasi (m_a) pada sinyal $V_{control}$, dan sinyal segitiga pada index modulasi frekuensi (m_f). Index Amplitudo M_a dipertahankan tetap pada 1 (pu), dalam hal memperoleh komponen dasar tegangan tinggi pada pengontrol keluaran. Frekwensi Switching ditetapkan pada 450 Hz, $M_f=9$ dan kasus pengujian dilakukan pada jaringan yang stabil. Sudut modulasi diterapkan pada pembangkit sinyal PWM pada fasa A. Untuk Fasa B dan C dengan pergeseran berturut turut 120° dan 240° . Penerapan pengendalian sangat sederhana dengan menggunakan sinyal tegangan sebagai variabel umpan balik dalam perencanaan pengontrolan. Kecepatan respon dan efektifitas perencanaan pengontrolan ditunjukkan dalam simulasi.

3.4 Lokasi Dan Waktu Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data untuk penelitian ini adalah PT. Molindo Raya Industrial Lawang. Waktu pengambilan data dilakukan pada tanggal 21 mei 2012 – 25 mei 2012. Waktu pengerjaan penelitian ini akan dilaksanakan bulan juni - juli 2012.

3.5 Algoritma Simulasi *Software* PSCAD/EMTDC

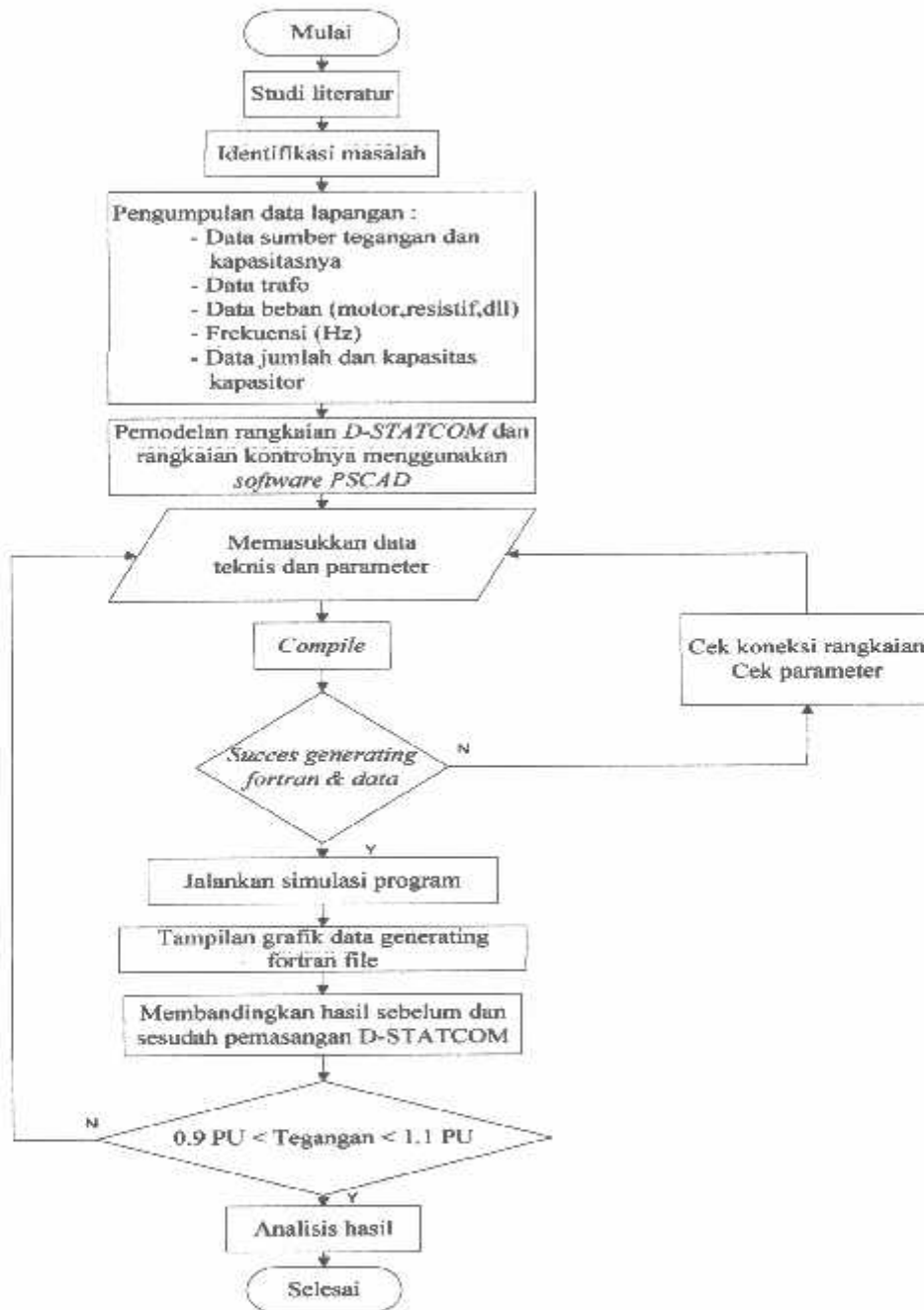
1. Mulai
 2. Studi literatur
 3. Pengumpulan data yang diperlukan untuk pemodelan.
 4. Pemodelan *single line* diagram, *D-STATCOM*, dan rangkaian kontrolnya.
 5. Masukkan data teknis kedalam pemodelan *single line* yang meliputi data sumber tegangan dan kapasitasnya, data trafo, data beban, frekuensi, arus ,tegangan.
 6. Compile.
 7. Success generating fortran & data. Apabila tidak sukses maka kembali ke poin 6 dan mengecek kembali koneksi rangkaian dan parameternya. Apabila sukses maka berlanjut ke tahap berikutnya.
-

8. Menjalankan simulasi gangguan *voltage swell* .
 9. Menampilkan grafik hasil simulasi.
 10. Menjalankan simulasi gangguan *voltage swell* yang dikompensasi dengan D-STATCOM.
 11. Menampilkan grafik hasil simulasi.
 12. Membandingkan hasil grafik sebelum dan sesudah simulasi.
 13. Apabila tegangan tidak normal maka kita akan memasukkan data setelan yang baru dan kembali ke poin 6 dan apabila tegangan normal maka akan langsung analisis hasil.
 14. Analisis hasil.
 15. Selesai.
-

3.6 Flowchart

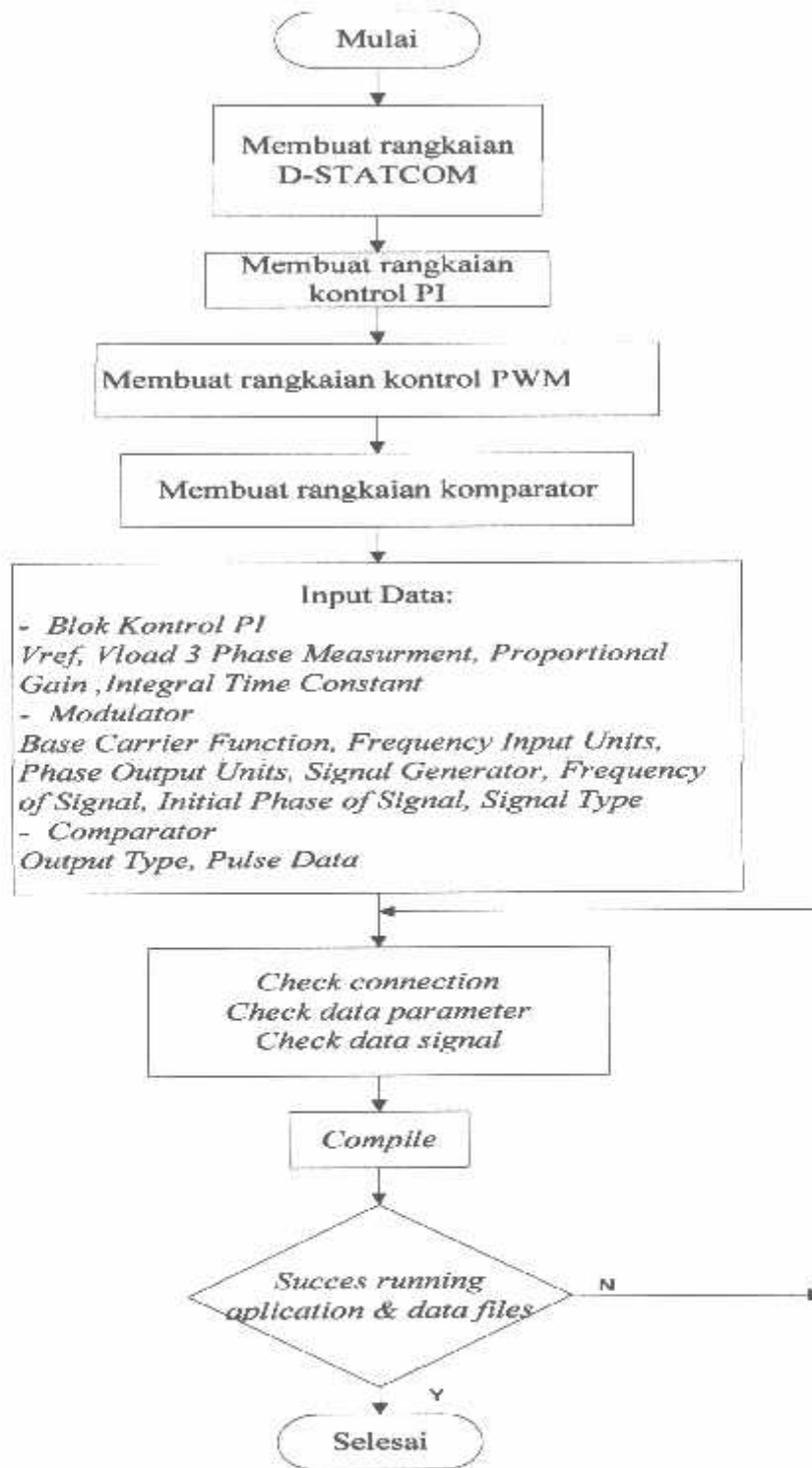
Pada bagian ini akan dijelaskan alur *flowchart* desain dan simulasi system serta *flowchart* untuk desain rangkaian control PWM.

3.6.1 Flowchart Desain dan Simulasi Sistem dengan *Distribuion Static Compensator (D-STATCOM)*



Gambar 3.3 Flowchart Desain dan Simulasi Sistem dengan *D-STATCOM*

3.6.2 Flowchart Desain Rangkaian Kontrol PWM



Gambar 3.4 Flowchart Desain Rangkaian Kontrol PWM

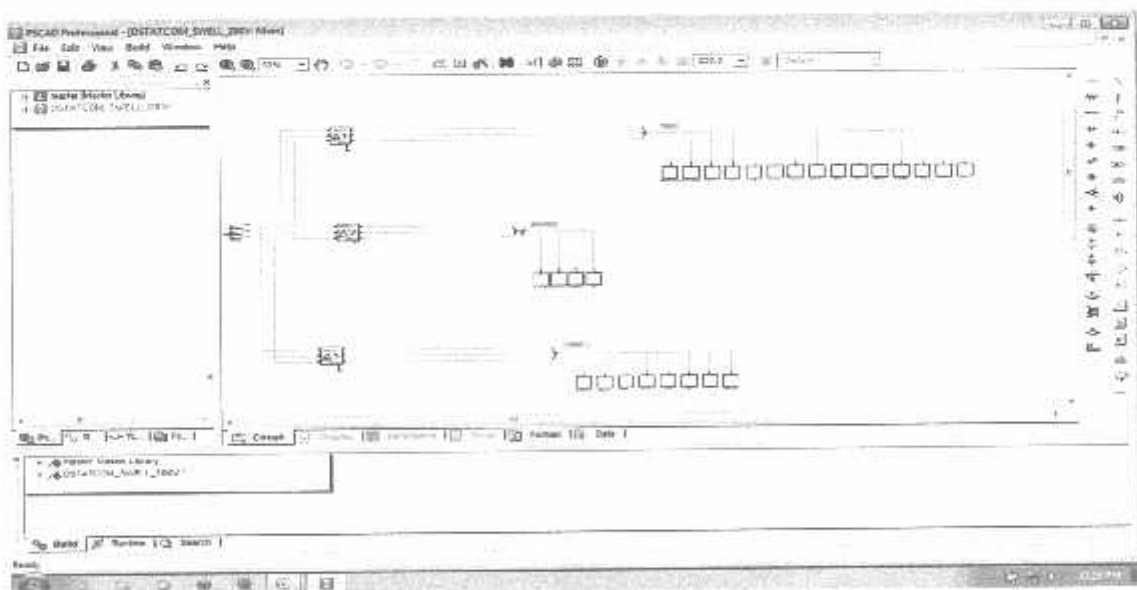
BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1. Solusi Perbaikan Kualitas Tegangan Menggunakan *Software PSCAD Power Simulation*

Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation merupakan *graphical user interface* yang fleksibel dan *powerful*. Dengan *software* ini secara skematik kita dapat mengkonstruksi rangkaian, menjalankan simulasi, menganalisa hasil dan manajemen data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk kontrol dan alat-alat ukur. Dengan demikian permasalahan yang ada pada PT. Molindo Raya Industrial dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan menggunakan *software PSCAD*.

4.2. *Single Line* PT. Molindo Raya Industrial dalam *Software PSCAD Power Simulation*

Membuat pemodelan *single line* diagram merupakan langkah awal dalam melakukan analisa. Untuk mensimulasi sistem dalam *software PSCAD Power Simulation* maka terlebih dahulu digambarkan rangkaian tersebut ke dalam lembar kerja pada *software* kemudian disimulasi sesuai dengan urutan langkah kerja dan menganalisa hasilnya. Berikut adalah gambar *single line* PT. Molindo Raya Industrial yang digambarkan menggunakan *software PSCAD/EMTDC SIMULATION*.

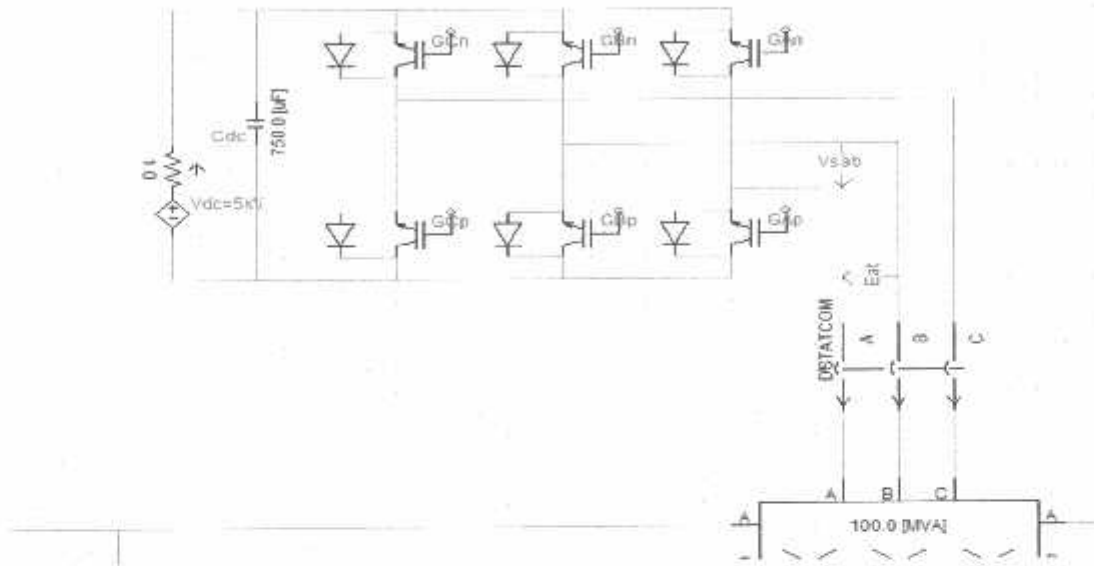


Gambar 4.1

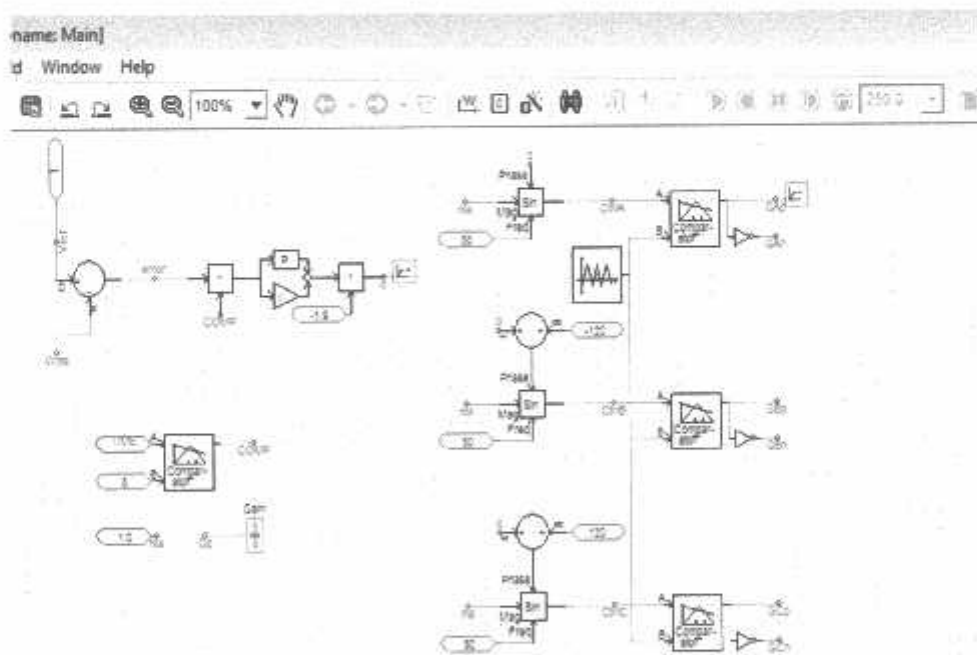
Sistem kelistrikan PT. Molindo Raya Industrial Dalam *Software PSCAD*

4.3 Pemodelan *D-STATCOM* Pada Sistem

Sebelum melakukan analisa lebih lanjut, terlebih dahulu membuat pemodelan *D-STATCOM* dan sistem kontrolnya ke dalam single line yang telah dibuat. Gambar di bawah ini menunjukkan konfigurasi dari PWM dan *D-statcom* untuk mengatasi *voltage swell* dalam sistem kelistrikan PT Molindo Raya Industrial

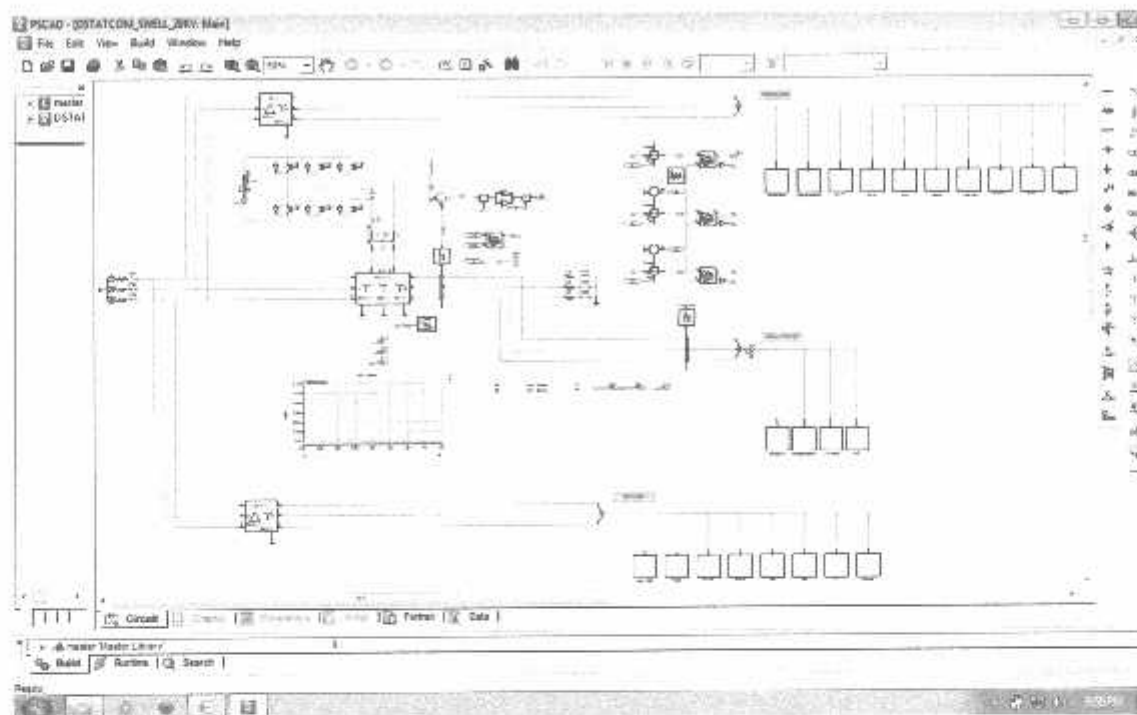


Gambar 4.2 *D-STATCOM* dalam sistem



Gambar 4.3 Kontrol PWM sebagai pengendali *D-STATCOM*

Sistem yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan diatas diaplikasikan kedalam *Software PSCAD Power Simulation*. Berikut adalah gambar sistem saat simulasi menggunakan *D-STATCOM*.



Gambar 4.4 *D-STATCOM* dalam Sistem

4.4. Hasil dan Analisa Hasil Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat *Voltage Swell* Menggunakan *D-STATCOM*

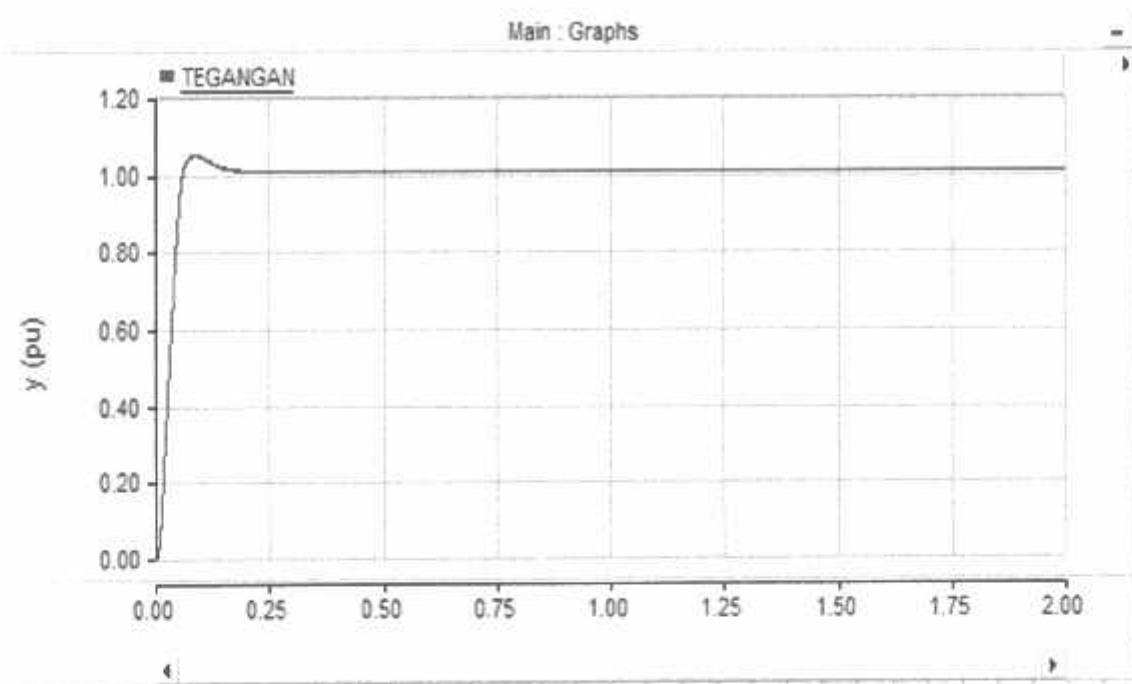
Hasil dan analisa meliputi sistem sebelum diberikan kompensasi *D-STATCOM* dan keadaan sistem setelah diberikan kompensasi *D-STATCOM*.

4.4.1 Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Kompensasi *D-STATCOM*

Pada simulasi awal, komponen *D-STATCOM* tidak melakukan kompensasi sama sekali. *D-STATCOM* belum bekerja dan tidak memberikan tegangan injeksi ke beban yang mengalami gangguan, maka dengan ini akan dapat diketahui perbedaan kondisi sistem sebelum dan sesudah menggunakan peralatan *D-STATCOM* dalam hal mereduksi *voltage swell*.

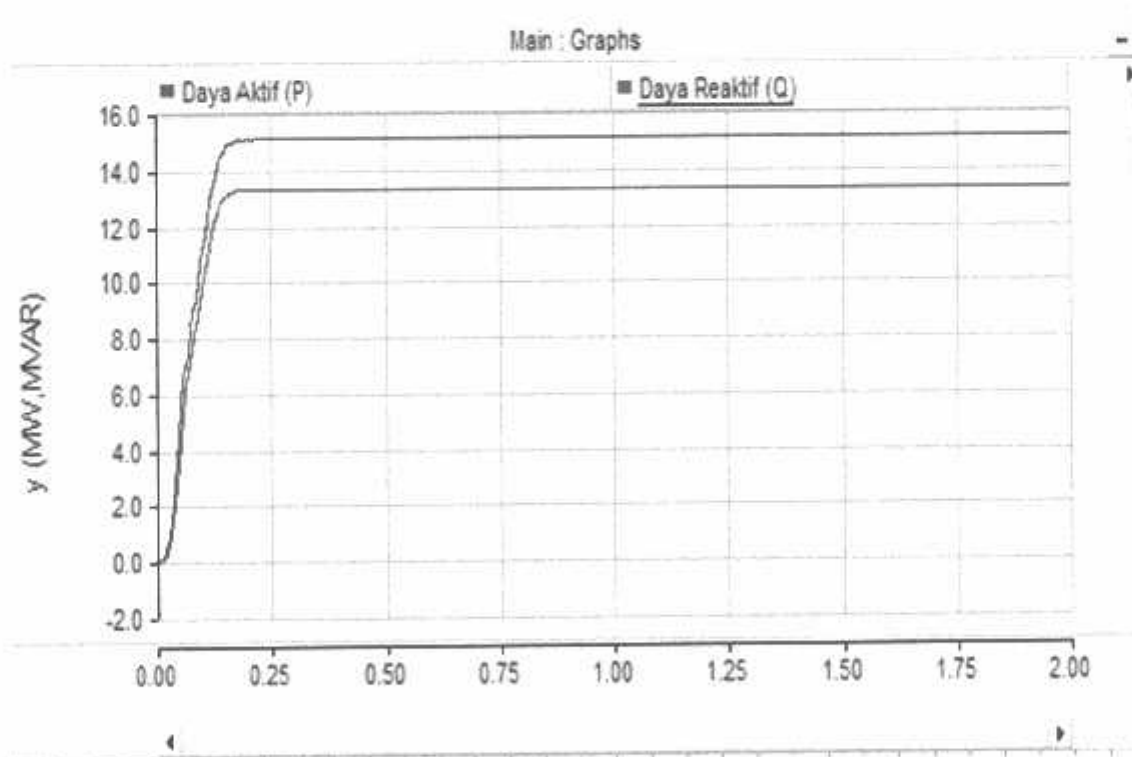
4.4.2. Sistem Sebelum Mengalami Gangguan

Berikut ini adalah grafik dari simulasi yang menampilkan bentuk gelombang tegangan dalam satuan (pu), bentuk gelombang daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR) pada saat kondisi normal sebelum diinjeksikan kapasitor maupun akibat pelepasan beban.



Grafik 4.1 Bentuk gelombang tegangan normal

Dari gambar gelombang diatas terlihat sistem beroperasi normal. Nilai tegangan berada pada kisaran 1.00 pu.

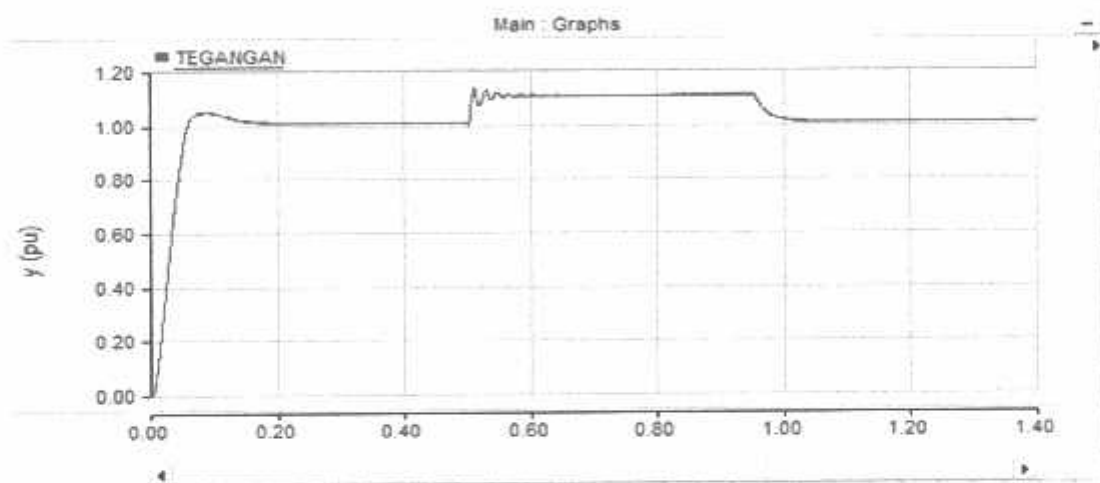


Grafik 4.2 Bentuk gelombang daya normal

4.4.3. Grafik Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi *D-STATCOM*

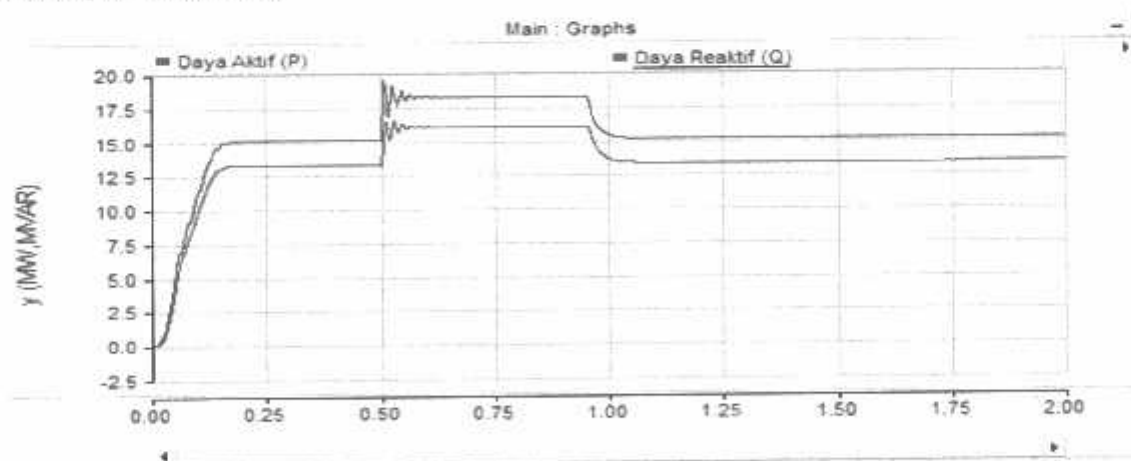
Berikut ini adalah grafik dari simulasi yang menampilkan bentuk gelombang tegangan dalam satuan (pu) pada saat kondisi terjadi gangguan *voltage swell* sebelum dikompensasi dengan *D-STATCOM*.

- A. Berikut ini adalah grafik dari simulasi yang menampilkan bentuk gelombang tegangan dalam satuan (pu) pada saat kondisi terjadi gangguan *voltage swell* dengan menginjeksikan kapasitor sebelum dikompensasi dengan *D-STATCOM*. Pada grafik ini dapat dilihat besar kenaikan tegangannya pada saat terjadi gangguan *swell* pada sistem.



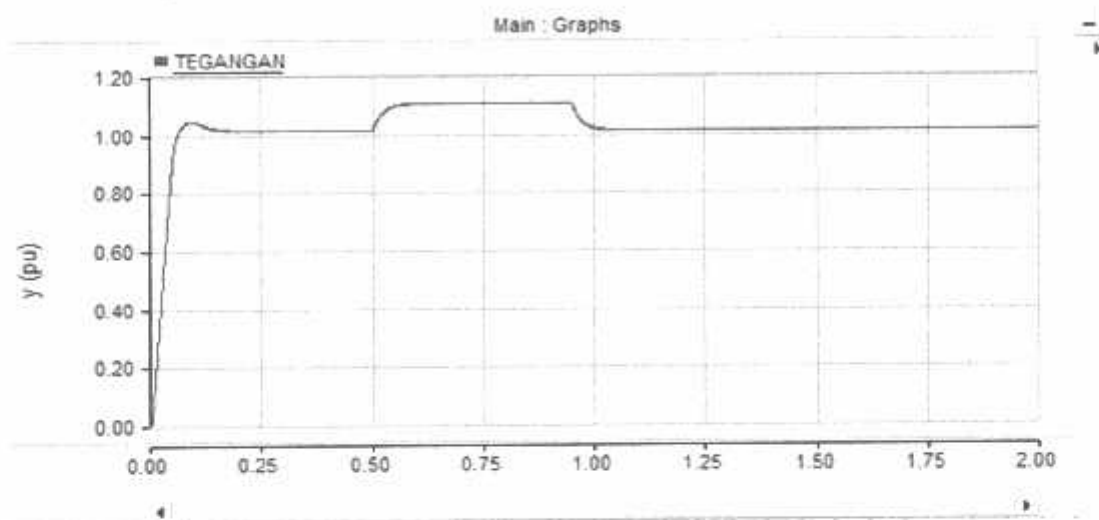
Grafik 4.3 Bentuk gelombang tegangan pada saat terjadi *voltage swell* akibat energisasi kapasitor tanpa kompensasi *D-STATCOM*

Pada saat terjadi *voltage swell* akibat energisasi kapasitor tegangan naik hingga mencapai 1.133 pu atau dengan tegangan referensi 380 v maka terjadi kenaikan hingga mencapai 430,54 volt.



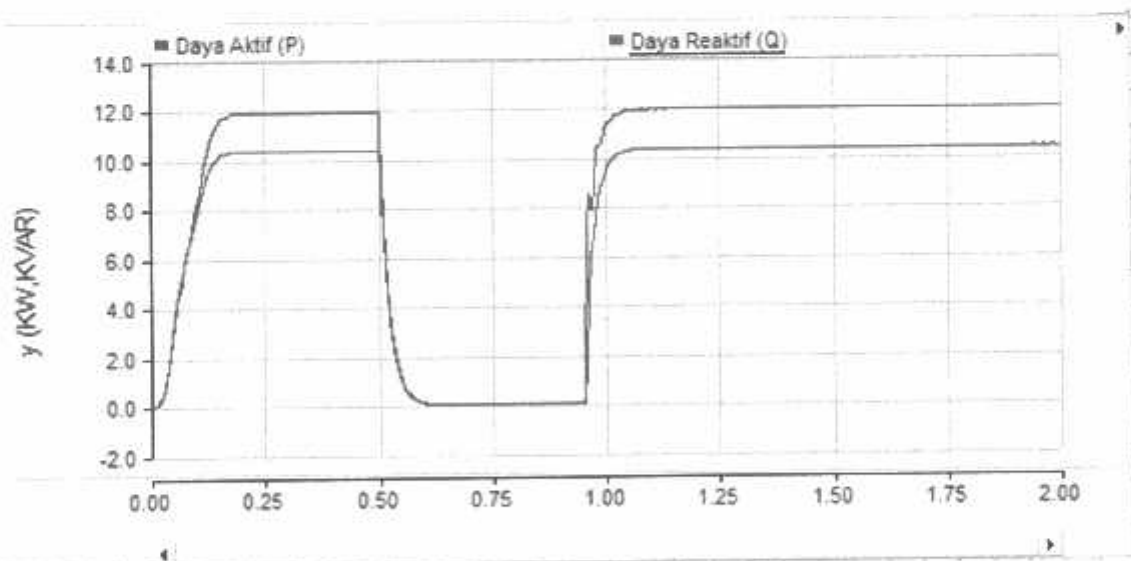
Grafik 4.4 Bentuk gelombang daya pada saat terjadi *voltage swell* akibat energisasi kapasitor sebelum kompensasi *D-STATCOM*

- B. Berikut ini adalah grafik dari simulasi yang menampilkan bentuk gelombang tegangan dalam satuan (pu) pada saat kondisi terjadi gangguan *voltage swell* akibat pelepasan beban besar sebelum dikompensasi dengan *D-STATCOM*. Pada grafik ini dapat dilihat besar kenaikan tegangannya pada saat terjadi gangguan *swell* pada sistem.



Grafik 4.5 Bentuk gelombang tegangan pada saat terjadi *voltage swell* akibat pelepasan beban tanpa kompensasi *D-STATCOM*

Pada saat terjadi *voltage swell* akibat pelepasan beban tegangan naik hingga mencapai 1.103 pu atau dengan tegangan referensi 380 v maka terjadi kenaikan hingga mencapai 419.14 volt.

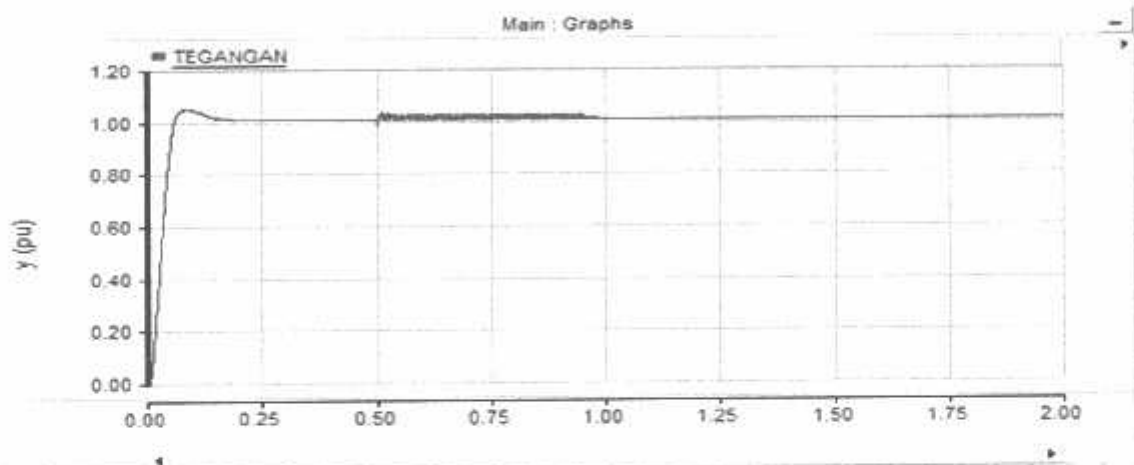


Grafik 4.6 Bentuk gelombang daya pada saat terjadi *voltage swell* akibat pelepasan beban sebelum kompensasi *D-STATCOM*

4.4.4 Grafik Hasil Simulasi Setelah Kompensasi *D-STATCOM*

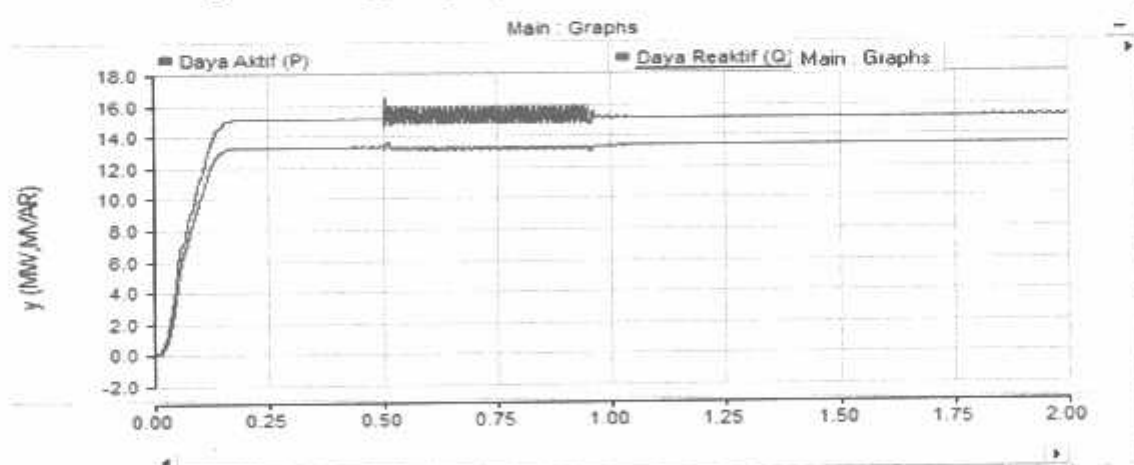
Berikut ini adalah grafik dari simulasi yang menampilkan bentuk gelombang tegangan dalam satuan (pu) pada saat kondisi terjadi gangguan *voltage swell* setelah dikompensasi dengan *D-STATCOM*.

- A. Berikut ini adalah grafik dari simulasi yang menampilkan bentuk gelombang tegangan dalam satuan (pu) pada saat kondisi terjadi gangguan *voltage swell* dengan menginjeksikan kapasitor setelah dikompensasi dengan *D-STATCOM*. Pada grafik ini dapat dilihat besar kompensasi setelah terjadi gangguan pada saat terjadi *swell*.



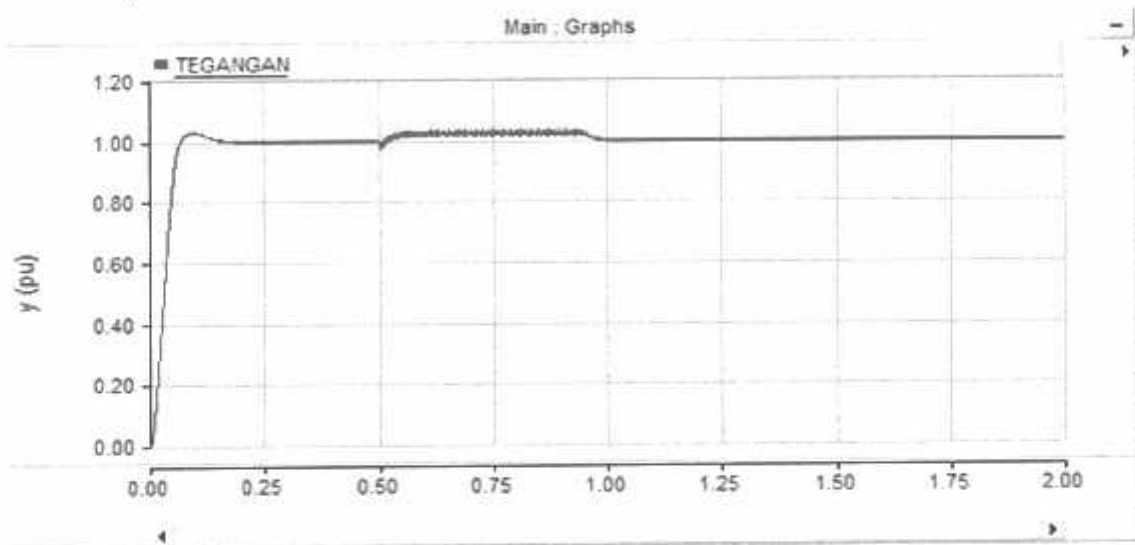
Grafik 4.7 Bentuk gelombang tegangan pada saat terjadi *voltage swell* akibat energisasi kapasitor dengan kompensasi *D-STATCOM*

Pada saat terjadi *voltage swell* tegangan direduksi oleh *D-STATCOM* hingga mencapai 1.023 pu atau dengan tegangan referensi 380 v maka *D-STATCOM* dapat mereduksi *voltage swell* hingga tegangan mencapai 388,74 volt



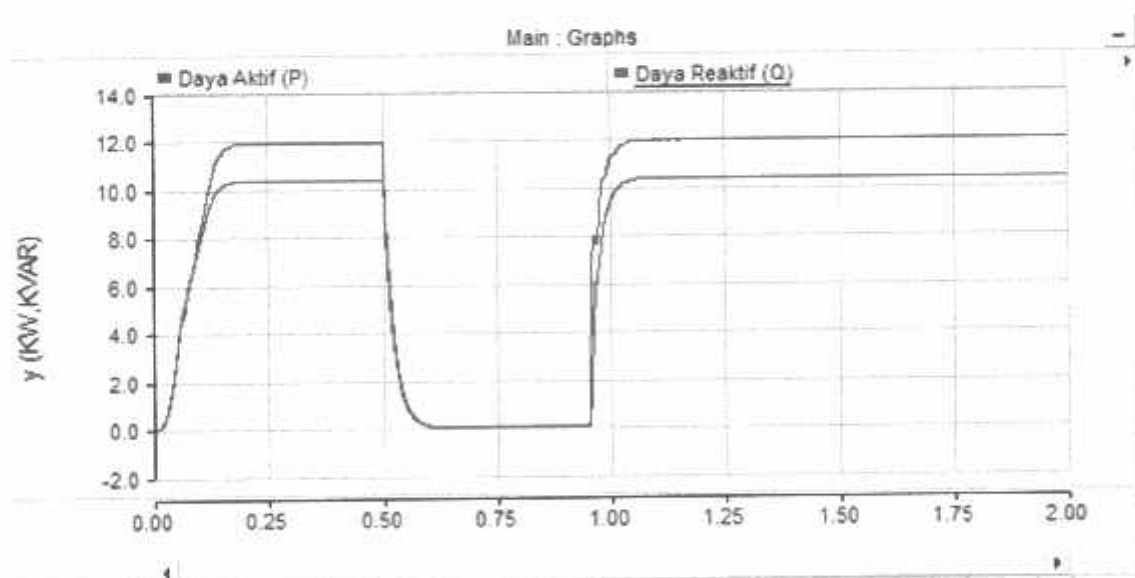
Grafik 4.8 Bentuk gelombang daya pada saat terjadi *voltage swell* akibat energisasi kapasitor dengan kompensasi *D-STATCOM*

- B. Berikut ini adalah grafik dari simulasi yang menampilkan bentuk gelombang tegangan dalam satuan (pu) pada saat kondisi terjadi gangguan *voltage swell* akibat pelepasan beban besar setelah dikompensasi dengan *D-STATCOM*. Pada grafik ini dapat dilihat besar kompensasi setelah terjadi gangguan pada saat terjadi *swell*.



Grafik 4.9 Bentuk gelombang tegangan pada saat terjadi *voltage swell* akibat pelepasan beban dengan kompensasi *D-STATCOM*

Pada saat terjadi *voltage swell* tegangan direduksi oleh *D-STATCOM* hingga mencapai 1.030 pu atau dengan tegangan referensi 380 v maka *D-STATCOM* dapat mereduksi *voltage swell* hingga tegangan mencapai 391.4 volt



Grafik 4.10 Bentuk gelombang daya pada saat terjadi *voltage swell* akibat pelepasan beban dengan kompensasi *D-STATCOM*

4.5 Perhitungan Optimasi Perbaikan Kualitas Tegangan Saat Sebelum dan Sesudah Kompensasi

Berikut adalah perhitungan optimasi perbaikan nilai tegangan saat sebelum dan sesudah kompensasi

A. V optimasi pada saat terjadi *voltage swell* akibat injeksi kapasitor.

$$\begin{aligned} V_{\text{optimasi}} &= V_{\text{without D-STATCOM}} - V_{\text{with D-STATCOM}} \\ &= 1.133 - 1.023 \\ &= 0.11 \text{ (pu)} \end{aligned}$$

Mengingat $V_{\text{ref}} = 380$ volt maka,

$$V_{\text{optimasi}} = 0.11 \times 380 \text{ V} = 41.8 \text{ Volt}$$

Presentase besar V_{optimasi} yang diperoleh adalah :

$$\begin{aligned} \% V_{\text{optimasi}} &= \left| \frac{V_{\text{without D-STATCOM}} - V_{\text{with D-STATCOM}}}{V_{\text{without D-STATCOM}}} \right| \times 100 \% \\ &= \left| \frac{1.133 - 1.023}{1.133} \right| \times 100 \% \\ &= 0.09708 \times 100 \% = 9.708 \% \end{aligned}$$

B. V optimasi pada saat terjadi *voltage swell* akibat pelepasan beban.

$$\begin{aligned} V_{\text{optimasi}} &= V_{\text{without D-STATCOM}} - V_{\text{with D-STATCOM}} \\ &= 1.103 - 1.030 \\ &= 0.073 \text{ (pu)} \end{aligned}$$

Mengingat $V_{\text{ref}} = 380$ volt maka,

$$V_{\text{optimasi}} = 0.073 \times 380 \text{ V} = 27.24 \text{ Volt}$$

Presentase besar V_{optimasi} yang diperoleh adalah :

$$\begin{aligned} \% V_{\text{optimasi}} &= \left| \frac{V_{\text{without D-STATCOM}} - V_{\text{with D-STATCOM}}}{V_{\text{without D-STATCOM}}} \right| \times 100 \% \\ &= \left| \frac{1.103 - 1.030}{1.103} \right| \times 100 \% \\ &= 0.06618 \times 100 \% = 6.618 \% \end{aligned}$$

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa terhadap pengaruh pemasangan *D-STATCOM* (*Distribution Static Compensator*) pada sistem kelistrikan PT. Molindo raya Industrial pada saat terjadi kenaikan tegangan akibat *voltage swell* dengan menggunakan bantuan *software PSCAD /EMTDC V4.2 Power System Simulation*, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Pada saat terjadi gangguan kenaikan tegangan sesaat pada sistem, dengan dipasangnya *D-STATCOM* maka tegangan pada sistem dapat dikompensasi dengan penurunan tegangan yang cukup bagus meskipun tegangan tidak sebgus seperti sebelum gangguan.
2. Pada saat terjadi gangguan *swell* akibat injeksi kapasitor dengan kompensasi *D-STATCOM* tegangan mengalami perbaikan dari 1.133 pu menjadi 1.023 pu atau sebesar 41.8 volt.
3. Presentase V_{optimasi} yang diperoleh adalah sebesar 9.708 %.
4. Pada saat terjadi gangguan *swell* akibat pelepasan beban dengan kompensasi *D-STATCOM* tegangan mengalami perbaikan dari 1.103 pu menjadi 1.030 pu atau sebesar 27.24 volt.
5. Presentase V_{optimasi} yang diperoleh adalah sebesar 6.618 %.
6. Walaupun tidak dapat mengkompensasi dengan sempurna akan tetapi secara umum *D-STATCOM* dapat digunakan untuk mengatasi *voltage swell* di PT. Molindo Raya Industrial.

5.2 Saran

Untuk menganalisa unjuk kerja sistem jika memungkinkan sebaiknya disertai data lapangan yang mencatat waktu dan lokasi terjadinya gangguan. Untuk lebih meningkatkan performa *D-STATCOM* dalam kinerjanya sebaiknya penempatannya menggunakan metode algoritma dalam optimasi penempatan atau letak dipasangnya perangkat tersebut agar kinerja *D-STATCOM* lebih bagus dalam menjaga tegangan pada sebuah sistem kelistrikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Krismanto, A.I. & Nakhoda, Y.I. 2011. Modul Pelatihan PSCAD/EMTDC. Malang: Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik ITN Malang
- [2] Hingorani, N. G., and Gyugyi, L. 2001, *Understanding FACTS: "Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems"*, New York: IEEE Press.
- [3] Basri, Hasan,," *Sistem Distribusi Daya Listrik*", (Jakarta: ISTN, 1997)
- [4] Djiteng Marsudi, "*Operasi sistem tenaga Listrik*", Edisi keempat, Erlangga, Jakarta, 1993
- [5] Nakhoda, Y.I. & Hasan, F.R., 2008, "Perbaikan Kualitas Tegangan Menggunakan Kompensasi *Dynamic Voltage Restorer (DVR)* dan *Distribution Static Compensator (D-STATCOM)* Dengan *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*" Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Elektro
- [6] IEEE *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. IEEE Std 1159-1995
- [7] Gareth A. Taylor, "*Power Quality Hardware Solutions for Distribution Systems: Custom power*", IEE North Eastern Centre Power Section Symposium, pp: 11/1-11/9. Durham, UK, 1995
- [8] Olimpo Anaya Lara and Acha, E.2002, "*Modeling and Analysis of Custom Power Systems*" by PSCAD/EMTDC, IEEE. Trans. on Power Delivery.17 (1): 265-272.





PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIADA 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 : Nuzuliannor Rahman
Nim : 08.12.016
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1
Masa Bimbingan : Semester Genap 2011-2012
Judul : **ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM UNTUK
MEMPERBAIKI KUALITAS TEGANGAN PADA
SISTEM KELISTRIKAN DI PT MOLINDO RAYA
INDUSTRIAL MENGGUNAKAN SOFTWARE
PSCAD/EMTDC**

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

Pada Hari : Selasa
Tanggal : 07 Agustus 2012
Dengan Nilai : 79.75 (B+) *rr*

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Ketua Majelis Penguji

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

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST, MT
NIP.YJ030800417

ANGGOTA PENGUJI

Dosen Penguji I

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y.1038900209

Dosen Penguji II

Awan Uji Krismanto, ST, MT
NIP.P.198003012005011002



FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Energi Listrik, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

Nama : Nuzuliannor Rahman
Nim : 08.12.016
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Genap 2011-2012
Judul Skripsi : ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM UNTUK
MEMPERBAIKI KUALITAS TEGANGAN PADA
SISTEM KELISTRIKAN DI PT MOLINDO RAYA
INDUSTRIAL MENGGUNAKAN SOFTWARE
PSCAD/EMTDC

No	Penguji	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	Penguji I	07 Agustus 2012	Perbaikan laporan Bab I: • Rumusan masalah kurang tepat	
2.	Penguji II	07 Agustus 2012	Perbaikan laporan Bab IV • Tambahkan grafik injeksi daya dari D-STATCOM.	

Disetujui:

Penguji I

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y.1038900209

Penguji II

Awan Uji Krismanto, ST, MT
NIP.P.198003012005011002

Mengetahui:

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Choirul Saleh, MT
NIP.Y.1018800190

Dosen Pembimbing II

Ir. H. Taufik Hidayat, MT
NIP.Y.1018700151



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Energi Listrik / T. Elektronika / T. Ir fikom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : NUZULIANNOR R
NIM : 0812016
Perbaikan melalui :

Rumusan Masalah : kurang tepat
Tujuan ?

Malang,



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : NUZULIANNOR RAHMAN
NIM : 1912016
Perbaikan meliputi :

Tersedianya gambar daya dari PSTATCOM

Malang,


AWAN DA' ... ST MT



Nomor Surat : ITN-200/EL-FTI/2012
Lampiran : -
Perihal : 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 : NUZULIANNOR RAHMAN
Nim : 0812016
Fakultas : Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

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

" Semester Genap Tahun Akademik 2011-2012 "

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



Mengetahui

Program Studi Teknik Elektro S-1

Yusuf Ismail Nakhoda
Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

NIP.Y. 1018200189



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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigurgura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : J. Raya Karenglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-200/EL.-FTI/2012
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Ir. Taufik Hidayat, MT**
Dosen Teknik Elektro S-1
IITN MALANG

Dengan Hormat
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : NUZULIANNOR RAHMAN
Nim : 0812016
Fakultas : Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : ~~Manajemen~~ ~~Kelesterian Energi~~ ~~PLN~~

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

" Semester Genap Tahun Akademik 2011-2012 "

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




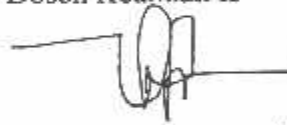


Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT



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

1.	Nim	: 0812016	
2.	Nama	: NUZULIANNOR RAHMAN	
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Energi Listrik	
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat
	13 April 2012	09 00	III.1.1
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM UNTUK MEMPERBAIKI KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN DI PT MOLINDO RAYA INDUSTRIAL MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC	
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian		
7.	Catatan :		
8.	Catatan :		
	Persetujuan judul Skripsi		
	Disetujui, Dosen Keahlian I  (ANAN USI KRISMAN)	Disetujui, Dosen Keahlian II  (.....)	Disetujui, Dosen Keahlian III  (LAUTIL M. HAYOSMAN)
	Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 <u>Ir. Yusuf Ismail</u> <u>Nakh da,MT</u> NIP. Y. 1018800189	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs	
	Pembimbing I (.....)	Pembimbing II  (.....)	

PERSEMBAHAN

Syukur Alhamdulillahirabbil 'Aalamiin segala puji bagi Allah SWT. atas segala nikmat serta limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam semoga tetap terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW. beserta keluarga dan para sahabatnya.

- ✚ *Dengan terselesainya Skripsi ini, saya persembahkan terima kasih sebesar-besarnya untuk kedua orang tuaku, Ayahanda Suratno dan Ibunda Nordinah yang telah ikhlas mendo'akan, mengorbankan tenaga, dan pikiran, serta hartanya untuk mengasuh, mendidik, memberi dukungan, dan nasehat demi kebahagiaan dan kesuksesan saya. Terimakasih juga untuk adikku Nurul Azizah Hasnah semoga kelak dapat menjadi orang berguna.*
- ✚ *Terima kasih pula untuk Bapak Ir. H. Choirul Saleh, MT dan Ir. H. Taufik Hidayat, MT yang telah ikhlas meluangkan waktu dan tenaganya untuk membimbing saya dalam penulisan skripsi ini. Terima kasih juga kepada para dosen-dosen di teknik elektro ITN Malang semoga ilmu yang diajarkan dapat bermanfaat.*
- ✚ *Terima kasih kepada sahabat-sahabatku di elektro 2008, aslab Kendali Industri, dan Komunitas Robotika yang telah menemani dan memberikan saran dalam menyelesaikan study S1 di Institut Teknologi Nasional Malang. Terima kasih atas segalanya, dan semoga silaturahmi kita selalu terjaga.*
- ✚ *Terima kasih kepada penghuni kos Kembang Kertas Kav 1, canda tawa kalian akan menjadi kenangan.*
- ✚ *Terima kasih Anis Wardati Tilawah yang selalu mendo'akan dan memberi semangat sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.*