

SKRIPSI
ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM SEBAGAI METODE
ALTERNATIF UNTUK MEMPERTAHANKAN STABILITAS
FREKUENSI DI PLTMh SELOLIMAN TRAWAS KABUPATEN
MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE
PSCAD/EMTD



Disusun oleh :
YOYOK ARIANTO
NIM : 1012917



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2012

3543

INDONESIA KEMENTERIAN PERTANIAN DAN PERUMAHAN
KERTAJATI
KEMENTERIAN PERTANIAN DAN PERUMAHAN
KEMENTERIAN PERTANIAN DAN PERUMAHAN
KEMENTERIAN PERTANIAN DAN PERUMAHAN

KEMENTERIAN
PERTANIAN DAN
PERUMAHAN

KEMENTERIAN

INDONESIA KEMENTERIAN PERTANIAN DAN PERUMAHAN
KEMENTERIAN PERTANIAN DAN PERUMAHAN
KEMENTERIAN PERTANIAN DAN PERUMAHAN
KEMENTERIAN PERTANIAN DAN PERUMAHAN
KEMENTERIAN PERTANIAN DAN PERUMAHAN

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM SEBAGAI METODE
ALTERNATIF UNTUK MEMPERTAHANKAN STABILITAS
FREKUENSI DI PLTMh SELOLIMAN TRAWAS KABUPATEN
MOJOKERTO DENGAN 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 :

YOYOK ARIANTO

NIM : 10.12.917

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

NIP.Y.1018800189

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

(Ir.H.Taufik Hidayat, MT)

NIP.Y 1018700151

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)

NIP.Y 1018800188

**JURUSAN 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 : Yoyok Arianto
NIM : 1012917
Program Studi : Teknik Elektro
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, 29-09-2012

Yang membuat Pernyataan,



Yoyok Arianto
1012917

**ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM SEBAGAI METODE
ALTERNATIF UNTUK MEMPERTAHANKAN STABILITAS
FREKUENSI DI PLTMh SELOLIMAN TRAWAS KABUPATEN
MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTD**

Yoyok Arianto

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

Abstrak

Dalam upaya menjaga mutu/kualitas daya listrik sistem PLTMh, dua dekade terakhir ini mulai dikembangkan beberapa alat sebagai Pengatur beban. Pada sistem PLTMh, D-Statcom merupakan alat untuk mengkompensasi daya reaktif dan diharapkan sistem PLTMh tersebut bisa selalu terjaga dengan kondisi beban non linier. Dengan mengoperasikan sistem PLTMh pada beban relatif konstan, maka akan membuat generator berputar pada putaran yang relatif konstan pula, sehingga dengan demikian tegangan dan frekuensi sistem pun akan ikut konstan tidak terpengaruh oleh perubahan pemakaian beban utama yang kondisinya tidak menentu. Dengan memanfaatkan D-Statcom sebagai pengendali utama (main controller) maka D-Statcom mampu menginjeksi daya reaktif untuk memperbaiki frekuensi hingga 6.73 (Hz) dari 43.3 (Hz) menjadi 50.03 (Hz) dan D-Statcom mampu menyerap daya reaktif untuk memperbaiki frekuensi hingga 3.22 (Hz) dari 53.3 (rad/s) menjadi 50.08 (Hz). Maka dengan menggunakan software PSCAD/EMTD, akan dapat menganalisa frekuensi di PLTMh akibat beban non linier. Sehingga akan didapat mutu/kualitas daya listrik yang handal.

Kata kunci: PLTMh, D-Statcom, PSCAD/EMTD

Abstrak

In lieu of ELC (Electronik load controller) in an effort to maintain the quality / quality of electric power systems MHP, the last two decades is starting to develop some tools for the load manager. In the MHP system, D-STATCOM is a tool to compensate for reactive power and is expected to MHP systems can always be maintained with non-linear load conditions. With the operating system on the load is relatively constant MHP, it will make the generator spin at a relatively constant round anyway, and thus the voltage and frequency constant system will also be unaffected by the change of use of the main burden of the condition is uncertain. By utilizing the D-STATCOM as the main controller (main controller) then the D-STATCOM can overcome the burden of change is uncertain. Then using the software PSCAD / EMTD, will be able to analyze the frequency of the MHP from non linear loads. So will the be the quality / reliable power quality.

Key words: PLTMh, D-Statcom, PSCAD/EMTD

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kehadiran Tuhan YME yang dengan segala Kasih dan Anugerah – Nya, telah memberikan kekuatan, kesabaran, bimbingan dan perlindungan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul : **“ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM SEBAGAI METODE ALTERNATIF UNTUK MEMPERTAHANKAN STABILITAS FREKUENSI DI PLTMh SELOLIMAN TRAWAS KABUPATEN MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTD”**

Pembuatan skripsi ini disusun guna memenuhi syarat akhir kelulusan pendidikan jenjang Strata I di Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan baik moril maupun materiil, saran dan dorongan semangat dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku rektor ITN Malang
2. Bapak Ir. Sidik Noertjahjono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
3. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
4. Bapak Ir. H. Taufik Hidayat, MT selaku Dosen Pembimbing satu.
5. Bapak Ir. M. Abdul Hamid, MT selaku Dosen Pembimbing dua.
6. Bapak Awan Uji Krismanti, ST.MT selaku dosen penguji satu
7. Bapak Ir. Choirul Saleh, MT selaku dosen penguji dua
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih banyak yang perlu disempurnakan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Akhir kata, penulis mohon maaf kepada semua pihak bilamana selama penyusunan skripsi ini penyusun membuat kesalahan secara tidak sengaja dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, September 2012



Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi Penelitian	2
1.6. Sistematika Pembahasan	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro	5
2.2. Sistem Hybrid.....	6
2.3. Bangunan Sipil PLTMh	7
2.4. Perangkat Mekanik dan Peralatan Elektrikal	7
2.4.1. Turbin Air.....	8
2.4.2. Generator Sinkron	9
2.4.3. Kontruksi Generator Sinkron	9
2.4.4. Prinsip Kerja Generator Sinkron	10
2.4.5. Modul Maincon	11
2.5. D-Statcom.....	11
2.6. Pengaturan Frekuensi	12
BAB III METODOLOGI	18
3.1. Data Sistem Operasi PLTMh Seloliman	18
3.1.1. Sejarah Singkat PLTMh Seloliman.....	18
3.1.2. PLTMh Seloliman	19

3.1.3. Daya Terbangkit dan Terjual.....	21
3.1.4. Spesifikasi Bangunan Sipil.....	21
3.1.5. Spesifikasi Peralatan Elektrikal.....	22
3.1.6. Generator Sinkron	23
3.1.7. <i>Electronic Load Controller</i> ELC.....	23
3.1.8. Modul Mainscon	24
3.2. Keterkaitan Fluktuasi Beban Terhadap Perubahan Frekuensi	25
3.3. Penerapan D-Statcom di PLTMh Seloliman	26
3.3.1. Pengaturan Daya Aktif.....	27
3.4. Program Simulation Software	29
3.4.1. <i>Software PSCAD/EMTDC</i>	29
3.4.2. Flowchart Simulasi Sistem Dengan D-Statcom Menggunakan Software PSCAD/EMTDC.....	33
3.4.3. PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>).....	32
3.4.4. Konfigurasi D-Statcom dan PWM.....	33
BAB IV ANALISA	36
4.1. Simulasi dan Hasil.....	36
4.2. Grafik Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan D-Statcom.....	37
4.2.1. Kondisi Saat Terjadi Beban Masuk.....	37
4.2.2. Kondisi Saat Terjadi Pelepasan Beban.....	39
4.3. Grafik Hasil Simulasi Setelah Pemasangan D-Statcom	42
4.3.1. Kondisi Saat Terjadi Beban Masuk.....	42
4.3.2. Kondisi Saat Terjadi Pelepasan Beban.....	44
4.4. Perhitungan Perbaikan Frekuensi Saat Sebelum Dan Sesudah Kompensasi	47
BAB V PENUTUP	48
5.1. Kesimpulan.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.4.1 Turbin Air	9
Gambar 2.5 Blok Diagram D-Statcom	10
Gambar 2.6 (a) Grafik Perubahan Frekuensi Sebagai Fungsi Waktu Dengan Adanya Pelepasan Beban.	15
Gambar 2.6 (b) Grafik Turunnya Frekuensi Sebagai Akibat Gangguan Unit	16
Gambar 2.6 (c) Grafik Naiknya Frekuensi Setelah Adanya Pelepasan Beban	17
Gambar 3.1.2 Single Line Pembebanan PLTMh Seloliman	19
Gambar 3.3 Penerapan D-Statcom Di PLTMh Seloliman	27
Gambar 3.3.1 Hubungan Antara V_c dan V_s Untuk Pengirim Daya Aktif.....	28
Gambar 3.4.2 <i>Flowchart</i> Penyelesaian Masalah	31
Gambar 3.4.3 <i>Flowchart</i> Desain Control D-Statcom	32
Gambar 3.4.4 (a) D-Statcom Sistem	33
Gambar 3.4.4 (b) Konfigurasi PWM D-Statcom.	34
Gambar 4.1 Single Line Simulasi	36
Gambar 4.2.1 (a) Bentuk Gelombang Speed Generator 1.....	37
Gambar 4.2.1 (b) Bentuk Gelombang Frekuensi Generator 1.	38
Gambar 4.2.1 (c) Bentuk Gelombang Speed Generator 2.....	38
Gambar 4.2.1 (d) Bentuk Gelombang Frekuensi Generator 2.	39
Gambar 4.2.2 (a) Bentuk Gelombang Speed Generator 1.....	39
Gambar 4.2.2 (b) Bentuk Gelombang Frekuensi Generator 1.	40
Gambar 4.2.2 (c) Bentuk Gelombang Speed Generator 2.....	41
Gambar 4.2.2 (d) Bentuk Gelombang Frekuensi Generator 2.	41
Gambar 4.3.1 (a) Bentuk Gelombang Speed Generator 1.....	42
Gambar 4.3.1 (b) Bentuk Gelombang Frekuensi Generator 1.	43
Gambar 4.3.1 (c) Bentuk Gelombang Speed Generator 2.....	43
Gambar 4.3.1 (d) Bentuk Gelombang Frekuensi Generator 2.	44
Gambar 4.3.2 (a) Bentuk Gelombang Speed Generator 1.....	44
Gambar 4.3.2 (b) Bentuk Gelombang Frekuensi Generator 1.	45
Gambar 4.3.2 (c) Bentuk Gelombang Speed Generator 2.....	46
Gambar 4.3.2 (d) Bentuk Gelombang Frekuensi Generator 2.	46

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.2 Pembebanan PLTMh Seloliman.	20
Tabel 3.1.3 (a) Penjualan Daya PLTMh Pada Siang Hari.	21
Tabel 3.1.3 (b) Penjualan Daya PLTMh Pada Malam Hari.	21
Tabel 3.1.4 Daftar Bangunan Sipil Pada PLTMh Kalimaron.....	21
Tabel 3.1.5 Daftar Komponen Elektrikal Pada PLTMh Kalimaron	22

**ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM SEBAGAI METODE
ALTERNATIF UNTUK MEMPERTAHANKAN STABILITAS FREKUENSI
DI PLTMh SELOLIMAN TRAWAS KABUPATEN MOJOKERTO DENGAN
MENGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTD**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Adalah sebuah kenyataan bahwa kebutuhan akan energi, khususnya energi listrik, semakin berkembang dan menjadi bagian tak terpisahkan dari kebutuhan hidup manusia seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan di berbagai bidang. Berkurangnya ketersediaan sumber daya energi fosil, khususnya minyak bumi, menyebabkan kita harus berpikir untuk mencari alternatif penyediaan energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) merupakan salah satu alternatif solusi yang dapat menembus keterbatasan akses transportasi, teknologi, hingga biaya. Dalam PLTMh sebagian air sungai diarahkan ke saluran pembawa kemudian dialirkan melalui penstock (pipa pesat) menuju turbin. Selepas dari turbin, air kembali ke sungai. Sehingga dalam hal ini, hanya energi airnya saja yang diambil. Masukan energi primer berupa aliran massa air, tidak dikurangi, tetapi hanya dimanfaatkan energi potensialnya saja. Sistem tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik bagi pelanggan dengan frekuensi yang konstan. Penyimpangan frekuensi dari nilai nominal harus selalu dalam batas toleransi yang diperbolehkan sebesar ± 0.6 Hz (49.4 Hz - 50.6 Hz). Pada pembangkit, peralatan kontrol diperlukan untuk mengendalikan putaran (frekuensi) generator.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini adalah menganalisa pemasangan D-Statcom untuk mengetahui seberapa besar mempertahankan frekuensi di PLTMh Seloliman.

1.3 Tujuan

Tujuan yang diharapkan dapat dicapai dari skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan analisis pemasangan D-Statcom di PLTMh Seloliman, Terawas, Mojokerto.
2. Mengetahui seberapa besar D-Statcom mengkompensasi.
3. Mengetahui seberapa besar watu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi konstan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan skripsi ini meliputi :

1. Tidak membahas exitasi (pengatan medan) generator.
2. Hanya membahas pemasangan D-Statcom sebagai metode alternatif untuk mempertahankan stabilitas frekuensi

1.5 Metodologi penelitian

Metode yang digunakan pada penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengumpulan materi dan studi literatur yang berhubungan dengan frekuensi.
2. Pengumpulan data. Data yang diambil diperoleh dari PLTMh Siloluman, Terawas, Mojokerto.

3. Perencanaan dan perhitungan dari data – data tersebut. Melakukan perencanaan dan perhitungan berdasarkan formulasi yang telah diketahui.
4. Simulasi pemasangan D-Statcom dengan menggunakan software PSCAD/EMTD.
5. Analisa dan pembahasan terhadap hasil dari simulasi program dengan data lapangan sebagai validasi.
6. Pembuatan skripsi. Melakukan penulisan laporan yang menunjukkan hasil akhir dari skripsi ini.

1.6. Sistematika Pembahasan

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

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan penyusunan, rumusan masalah, batasan masalah, metodologi penelitian, serta sistematika laporan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada Bab ini membahas, pembangkit listrik tenaga mikrohidro, perangkat mekanik dan peralatan elektrikal.prinsip kerja turbin air, generator dan D-Statcom.

BAB III METODOLOGI

Berisi tentang sejarah dan system pembangkitan di PLTMh Siloluman, Terawas, Mojokerto.

BAB IV ANALISIS

Pembahasan dari bab ini berdasarkan landasan teori dan *flowchart* pengerjaan.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) adalah pembangkit listrik berskala kecil antara (5 kW - 100 kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMh termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut clean energy karena ramah lingkungan. Dari segi teknologi, PLTMh dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang.

PLTMh pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik.

Biasanya PLTMh dibangun berdasarkan kenyataan bahwa adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (flow capacity) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah head. Mikrohidro juga dikenal sebagai white resources dengan terjemahan bebas bisa dikatakan "energi putih". Dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan daerah tertentu (tempat instalasi akan dibangun) dapat diubah menjadi energi listrik.

Besarnya daya yang dapat dibangkitkan generator yang diputar oleh turbin pada sebuah PLTMh dapat dihitung melalui persamaan:

$$P = \kappa \cdot \eta \cdot H \cdot Q$$

Dimana; P = daya (kW)

K = konstanta gravitasi (9,8)

η = efisiensi keseluruhan (turbin dan generator)

H = tinggi terjun air (meter)

Q = debit air (m^3 /detik)

2.2 System Hybrid

Pengertian Hybrid pada tulisan ini adalah penggunaan 2 atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda, Dengan tujuan utama adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber energi (system pembangkit) sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan supply dan efisiensi ekonomis pada type load (Load profile) tertentu.

Sistem Hybrid dibedakan menjadi dua macam;

1) Grid Connectet

Gabungan 2(dua) atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda(antara PV-Mikro Hydro, dan Mikro Hydro-Wind), umumnya system ini digunakan pada daerah terpencil yang jauh dari jangkauan listrik.

2) Grid Interractive

Gabungan 2(dua) atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda(antara Mikro Hydro-PLN, dan Wind-PLN), umumnya system ini digunakan pada jaringan interkoneksi.

Syarat Kerja Pararel;

- Polaritas dari generator harus sama dan tidak bertentangan setiap saat terhadap satu sama lainnya.
- Nilai efektif tegangan harus sama.

- Tegangan Generator yang diparalelkan mempunyai bentuk gelombang yang sama.
- Frekuensi kedua generator atau frekuensi generator dengan jala-jala harus sama.
- Urutan fasa dari kedua generator harus sama.

2.3 Bangunan Sipil PLTMh

Secara umum bangunan sipil sebuah instalasi PLTM terdiri atas;

1. Bendungan
2. Bangunan Pengambil Air (Intake)
3. Saluran Pembawa (Head Race)
4. Bak Pengendap (Siltng Basin)
5. Bak Penenang (Forebay)
6. Pipa Pesat (Penstock)
7. Tangki Pendatar (Surge Tank)
8. Rumah Pembangkit (Power House)

2.4 Perangkat Mekanik Dan Peralatan Elektrikal

Sedangkan untuk perangkat mekanik elektrik sebuah PLTM biasanya terdiri atas;

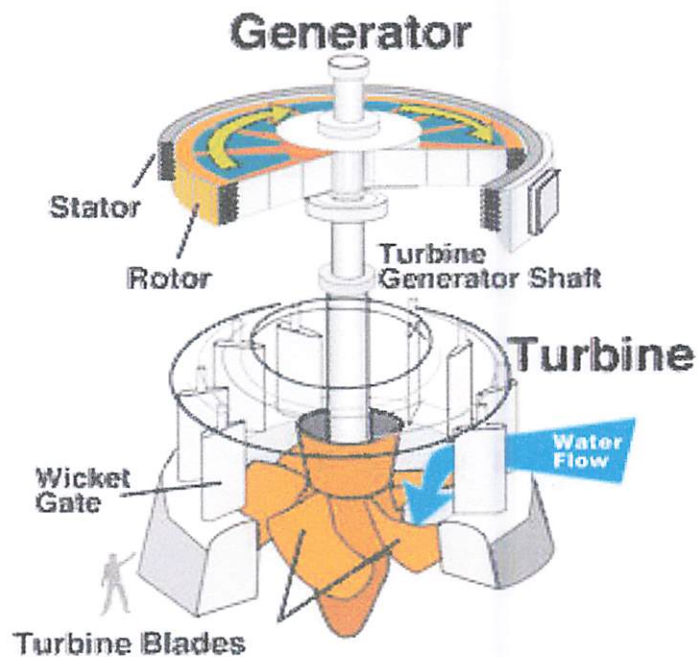
1. Turbin
2. Transmisi Mekanik
3. Generator
4. Transformator

5. Peralatan Pengaman yang terdiri atas;

- Panel Pengukuran
- Pengaman Generator
- Pentanahan

2.4.1. Turbin Air

Turbin air adalah konversi energy yang merubah energy elevasi fluida menjadi energy mekanik. Biasanya energy mekanik dibuat menggerakkan generator yang akan menghasilkan energy listrik. prinsip kerja turbin air adalah mengubah energi elevasi yang berupa perbedaan ketinggian atau air yang jatuh ke sudu - sudu di ubah menjadi energi kinetik lalu diubah lagi menjadi energi mekanik pada poros.



Gambar 2.4.1. Turbin Air

2.4.2. Generator Sinkron

Hampir semua energi listrik dibangkitkan dengan menggunakan mesin sinkron. Generator sinkron (sering disebut alternator) adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator sinkron dapat berupa generator sinkron tiga fasa atau generator sinkron AC satu fasa tergantung dari kebutuhan.

2.4.3. Konstruksi Generator Sinkron

Pada generator sinkron, arus DC diterapkan pada lilitan rotor untuk menghasilkan medan magnet rotor. Rotor generator diputar oleh prime mover menghasilkan medan magnet berputar pada mesin. Medan magnet putar ini menginduksi tegangan tiga fasa pada kumparan stator generator. Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa salient (kutub sepatu) dan non salient (rotor silinder).

Rotor silinder umumnya digunakan untuk rotor dua kutub dan empat kutub, sedangkan rotor kutub sepatu digunakan untuk rotor dengan empat atau lebih kutub. Pemilihan konstruksi rotor tergantung dari kecepatan putar prime mover, frekuensi dan rating daya generator. Generator dengan kecepatan 1500 rpm ke atas pada frekuensi 50 Hz dan rating daya sekitar 10MVA menggunakan rotor silinder. Sementara untuk daya dibawah 10 MVA dan kecepatan rendah maka digunakan rotor kutub sepatu.

Arus DC disuplai ke rangkaian medan rotor dengan dua cara:

1. Menyuplai daya DC ke rangkaian dari sumber DC eksternal dengan sarana slip ring dan sikat.
2. Menyuplai daya DC dari sumber DC khusus yang ditempelkan langsung pada batang rotor generator sinkron

2.4.4. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Jika sebuah kumparan diputar pada kecepatan konstan pada medan magnet homogen, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumparan tersebut. Medan magnet bisa dihasilkan oleh kumparan yang dialiri arus DC atau oleh magnet tetap. Pada mesin tipe ini medan magnet diletakkan pada stator (disebut generator kutub eksternal / external pole generator) yang mana energi listrik dibangkitkan pada kumparan rotor. Hal ini dapat menimbulkan kerusakan pada slip ring dan karbon sikat, sehingga menimbulkan permasalahan pada pembangkitan daya tinggi. Untuk mengatasi permasalahan ini, digunakan tipe generator dengan kutub internal (internal pole generator), yang mana medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor dan tegangan AC dibangkitkan pada rangkaian stator. Tegangan yang dihasilkan akan sinusoidal jika rapat fluks magnet pada celah udara terdistribusi sinusoidal dan rotor diputar pada kecepatan konstan. Tegangan AC tiga fasa dibangkitkan pada mesin sinkron kutub internal pada tiga kumparan stator yang diset sedemikian rupa sehingga membentuk beda fasa dengan sudut 120° .

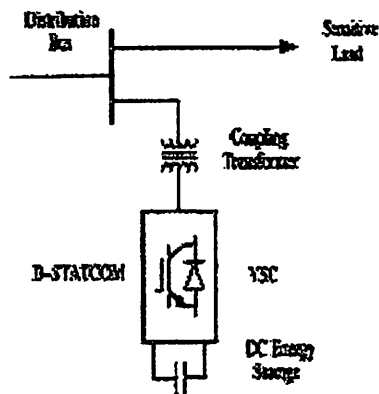
Pada rotor kutub sepatu, fluks terdistribusi sinusoidal didapatkan dengan mendesain bentuk sepatu kutub. Sedangkan pada rotor silinder, kumparan rotor disusun secara khusus untuk mendapatkan fluks terdistribusi secara sinusoidal. Untuk tipe generator dengan kutub internal (internal pole generator), suplai DC yang dihubungkan ke kumparan rotor melalui slip ring dan sikat untuk menghasilkan medan magnet merupakan eksitasi daya rendah. Jika rotor menggunakan magnet permanen, maka tidak slip ring dan sikat karbon tidak begitu diperlukan.

2.4.5. Modul Maincon

Maincon merupakan pengontrol sekaligus protektor pembangkit untuk sistem interkoneksi dengan grid. Pembangkit yang sebelumnya menggunakan ELC dengan tambahan alat ini dapat bekerja secara isolated dan interkoneksi. Prinsip kerja dari *maincon* secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut. Pembukaan katup turbin dilakukan secara manual. Setelah turbin berputar dan mengeluarkan daya listrik, ELC masih mengambil kendali untuk mengontrol frekuensi dengan mengatur pembuangan daya ke ballast load. Apabila frekuensi dan tegangan pembangkit sudah normal, maka *maincon* akan mulai mengendalikan ELC untuk proses sinkronisasi antara pembangkit dengan grid. Setelah pembangkit dan jaringan sinkron, maka *maincon* menghidupkan kontaktor sehingga pembangkit dengan grid terhubung. Setelah itu ELC secara otomatis akan mematikan ballast load. Daya yang diserap oleh grid sebesar daya yang sebelumnya dibuang ke ballast load. Dengan demikian daya pembangkit dapat dioptimalkan tanpa ada daya yang dibuang ke ballast.

2.5 D-Statcom

Dalam fungsi yang paling dasar, konfigurasi DSTATCOM terdiri dari dua tingkat konverter tegangan sumber (VSC), sebuah perangkat penyimpanan energi dc, transformator kopling terhubung di shunt dengan sistem ac. Konfigurasi yang lebih canggih menggunakan multipulse dan konfigurasi bertingkat. Para VSC mengubah tegangan dc di perangkat penyimpanan ke dalam satu set dari tiga fase tegangan output ac. Ini tegangan berada dalam fase dan digabungkan dengan sistem ac melalui reaktansi transformator kopling. Cocok penyesuaian dari fase dan besarnya tegangan output D-Statcom memungkinkan kontrol yang efektif dari pertukaran daya aktif dan reaktif antara D-Statcom dan sistem ac.



Gambar 2.5 Blok Diagram D-Statcom

Para VSC terhubung di shunt dengan sistem ac menyediakan topologi multifungsi yang dapat digunakan untuk sampai tiga tujuan yang sangat berbeda:

- Regulasi tegangan dan kompensasi daya reaktif
- Perbaikan faktor daya
- Mereduksi harmonik

Pendekatan desain sistem kontrol menentukan prioritas dan fungsi yang dikembangkan dalam setiap kasus. Dalam hal ini, DSTATCOM digunakan untuk mengatur tegangan pada titik sambungan. Kontrol adalah berdasarkan PWM sinusoidal dan hanya membutuhkan pengukuran tegangan rms pada titik beban.

2.6 Pengaturan Frekuensi

Sistem tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik bagi para pelanggan dengan frekuensi yang praktis konstan. Penyimpangan frekuensi dari nilai nominal harus selalu dalam batas toleransi yang diperbolehkan. Daya aktif mempunyai hubungan erat dengan nilai frekuensi dalam sistem, sedangkan beban sistem yang berupa daya aktif maupun daya reaktif selalu berubah sepanjang waktu. Sehubungan dengan hal ini harus ada penyesuaian antara daya aktif yang dihasilkan

dalam sistem pembangkitan harus disesuaikan dengan beban daya aktif. Penyesuaian daya aktif ini dilakukan dengan mengatur besarnya kopel penggerak generator.

Menurut hukum Newton ada hubungan antara kopel mekanis penggerak generator dengan perputaran generator

$$T_G - T_B = Hx \frac{d\omega}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

T_G = Kopel penggerak generator

T_B = Kopel beban yang membebani generator

H = Momen inersia dari generator beserta mesin penggeraknya

$\dot{\omega}$ = kecepatan sudut perputaran generator

$$f = \frac{\dot{\omega}}{2\pi} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana;

secara mekanis dengan melihat persamaan (1) dan (2) maka :

$T_G - T_B = \Delta T < 0$, maka $\omega < 0$ frekuensi turun

$T_G - T_B = \Delta T > 0$, maka $\omega > 0$ frekuensi naik

dari persamaan di atas terlihat bahwa besarnya frekuensi tergantung dari besarnya selisih antara kopel generator dengan kopel yg membebani generator, sehingga untuk mengatur frekuensi dalam sistem tenaga listrik dapat diatur dari dua sisi yaitu sisi generator maupun sisi beban

Cara pengaturan frekuensi

1. Pengaturan daya aktif (sisi generator)
2. Load shedding (sisi beban)
3. Pengalihan daya pada saluran

➤ Pengaturan daya aktif

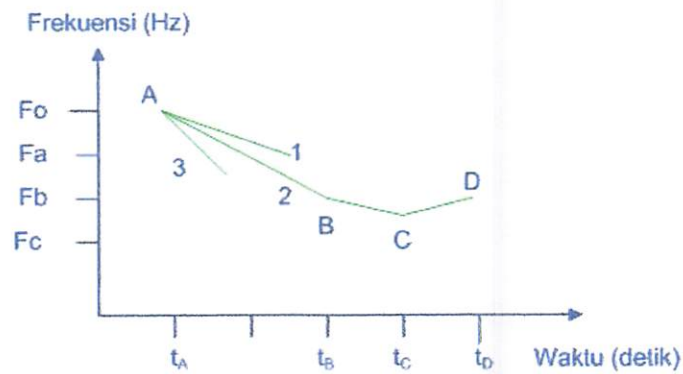
Frekuensi pada sistem tenaga listrik dapat diatur dengan melakukan pengaturan daya aktif yang dihasilkan generator. Pengaturan daya aktif ini erat kaitannya dengan kenaikan jumlah bahan bakar yang digunakan untuk menaikkan daya aktif. Pada PLTU adalah berapa laju batu bara yang ditambah untuk dibakar sedangkan pada PLTA adalah berapa besar debit air yang dinaikkan untuk menggerakkan turbin sehingga menghasilkan kenaikan daya aktif. Pengaturan bahan bakar ini dilakukan dengan menggunakan governor. Sehingga pada pengaturan daya aktif ini erat kaitannya dengan kerja governor pada sistem pembangkit thermal maupun air.

➤ Load shedding (pelepasan beban)

Jika terdapat gangguan dalam sistem yang menyebabkan daya tersedia tidak dapat melayani beban, misalnya karena ada unit pembangkit yang besar jatuh (trip), maka untuk menghindarkan sistem menjadi collapsed perlu dilakukan pelepasan beban. Keadaan yang kritis dalam sistem karena jatuhnya unit pembangkit dapat dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat.

Pada sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan karena lepasnya (trip) unit generator yang besar dapat mengurangi aliran daya aktif yang mengalir ke beban, sehingga menyebabkan generator-generator yang lain dipaksa bekerja. Jika hal ini berlangsung terus menerus dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada batang kopel generator karena dipaksa bekerja.

Untuk itu diperlukan relay under frequency yang berfungsi untuk mendeteksi penurunan frekuensi sistem secara tiba-tiba akibat adanya unit pembangkit besar yang lepas dari sistem. Salah satu cara untuk menaikkan frekuensi tersebut adalah dengan melepas beban.



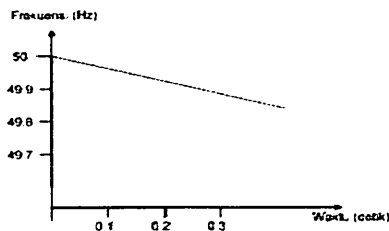
Gambar 2.6 (a)

grafik perubahan frekuensi sebagai fungsi waktu dengan adanya pelepasan beban

Turunnya frekuensi dapat menurut garis 1 , garis 2, atau garis 3. Makin besar unit pembangkit yang jatuh (makin besar daya tersedia yang hilang) makin cepat frekuensi menurun. Kecepatan menurunnya frekuensi juga bergantung

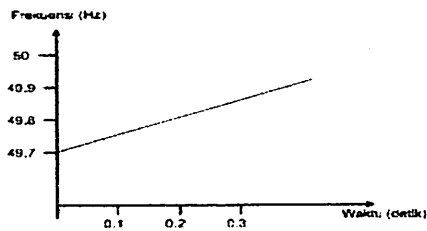
pada besar kecilnya inersia sistem. Semakin besar inersia sistem, makin kokoh sistemnya, makin lambat turunnya frekuensi.

Dalam gambar 2.6 (a) dimisalkan bahwa frekuensi menurun menurut garis 2. Setelah mencapai titik B dilakukan pelepasan beban tingkat pertama oleh under frequency control relay (UFR) yang bekerja setelah mendeteksi frekuensi sebesar F_b dengan adanya pelepasan beban tingkat pertama maka penurunan frekuensi berkurang kecepatannya. Sampai di titik C UFR mendeteksi frekuensi sebesar F_c dan akan melakukan pelepasan beban tingkat kedua dst sampai frekuensi sistem kembali normal ke frekuensi F_o .



Gambar 2.6 (b)

Grafik turunnya frekuensi sebagai akibat gangguan unit pembangkit



Gambar 2.6 (c)

Grafik naiknya frekuensi setelah adanya pelepasan beban

➤ **Pengalihan daya pada saluran**

Cara lain untuk mengatur frekuensi sistem yaitu dengan mengatur pengiriman daya aktif pada daerah yang memiliki kerapatan beban yang tinggi. Penulis masih belum memahami dengan benar cara terakhir ini dalam mengatur frekuensi dalam sistem tenaga listrik.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Data Sistem Operasi PLTMh Seloliman

3.1.1 Sejarah Singkat PLTMh Seloliman

Desa Seloliman adalah salah satu desa yang berada di wilayah Kecamatan Trawas Kabupaten Mojokerto. Di awal tahun 1990an desa ini merupakan salah satu dari sekian banyak desa di Indonesia yang belum dapat menikmati energi listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN).

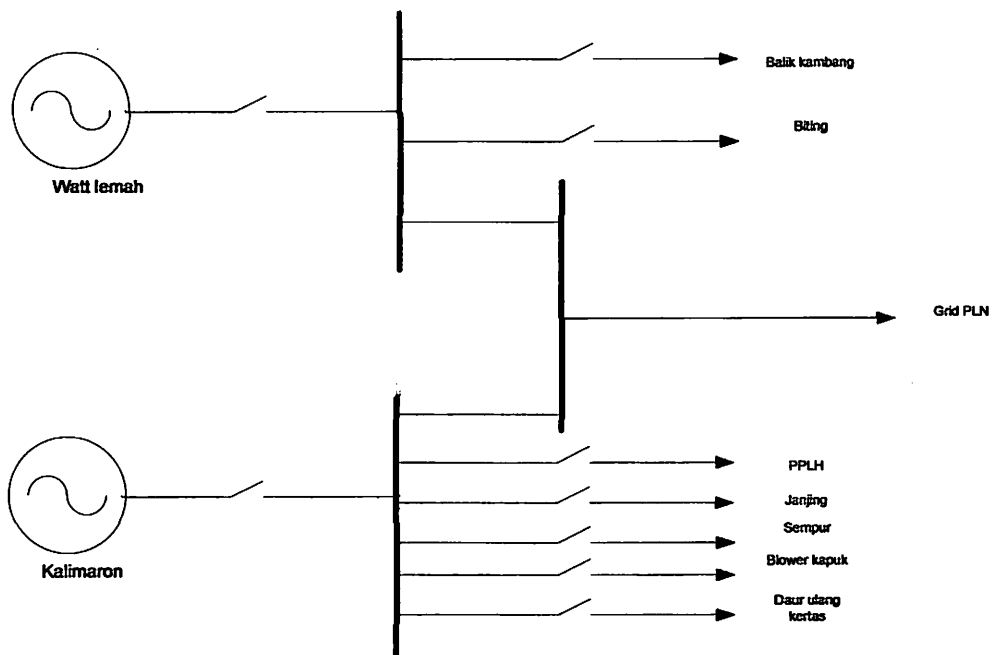
Maka, dengan bantuan dan swadaya masyarakat, pada tahun 1994 dibangunlah sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) di Kali Maron, yang selanjutnya diberi nama PLTM Kali Maron dengan kapasitas 12 kW. Kemudian pada tahun 2000 kapasitas PLTM Kali Maron ditingkatkan menjadi 25 kW dan dibentuk organisasi swadaya masyarakat bernama Paguyuban Kali Maron (PKM) sebagai pengelolanya. Dalam rangka meningkatkan daya guna PLTM Kali Maron, khususnya bagi masyarakat Desa Seloliman, PKM mengembangkan suatu sistem interkoneksi listrik kepada Perusahaan Listrik Negara (PLN) melalui Kepmen ESDM No. 1122 K/30/MEM/2002, tanggal 12 Juni 2002. Dengan potensi debit air sekitar 300 liter/dt dari Kali (Sungai) Maron dan kebutuhan listrik yang terus meningkat, maka pada tahun 2005 kapasitas PLTM Kali Maron ditingkatkan menjadi 30 kW.

Sukses dengan PLTM Kali Maron, maka pada tahun 2007 PKM bekerjasama dengan Yayasan Lingkungan Hidup Seloliman (YLHS) membangun PLTM kedua yang diberi nama PLTM Wot Lemah. PLTM Wot Lemah ini memiliki kapasitas daya sebesar 20 kW. Sama dengan pendahulunya, PLTM Wot Lemah juga diinterkoneksi dengan jaringan PLN.

3.1.2 PLTMh Seloliman

PLTMh (Pembangkit Listrik Tenaga Microhydro) yang terletak di desa seloliman seloliman kecamatan terawas kabupaten mojokerto mempunyai pembangkit yaitu;

- 1) PLTMh kalimaron, dengan berkapasitas 30 kW.
- 2) PLTMh wot lemah, dengan berkapasitas 20 kW.



Gambar 3.1.2 Single lin pembebanan PLTMh Seloliman.

Tabel beban 3.1.2

PLTMh	BEBAN	kVA
Wot Lemah	Ds.balik	12150
	Ds.kambang	
	Ds.Biting	11250
Kalimaron	Kantor PPLH	3500
	Restauran PPLH	3500
	Blower kapuk	2500
	Daur ulang kertas	1300
	Ds.janjing	18850
	Ds.sempur	2250

Kedua pembangkit tersebut diinterkoneksi dengan PLN dengan tujuan menjual daya sisa dari pembangkitan. Sistem *Hybrid* yang digunakan pada PLTMh ini adalah

➤ **Grid Interactive**

Gabungan 2(dua) atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda(antara Mikro Hydro-PLN, dan Wind-PLN), umumnya system ini digunakan pada jaringan interkoneksi.

Dengan Syarat Kerja Pararel;

- Polaritas dari generator harus sama dan tidak bertentangan setiap saat terhadap satu sama lainnya.
- Nilai efektif tegangan harus sama.
- Tegangan Generator yang diparalelkan mempunyai bentuk gelombang yang sama.
- Frekuensi kedua generator atau frekuensi generator dengan jala-jala harus sama.
- Urutan fasa dari kedua generator harus sama.

3.1.3 Daya Terbangkit dan Daya Terjual

Tabel 3.1.3 a) Penjualan Daya PLTM Pada Siang Hari

PLTMh	Konsumen		Total (KWH)
	PLN(KWH)	Masyarakat (KWH)	
Kalimaron	20	5	25
Wot Lemah	18.5	1.5	20

Tabel 3.1.3 b) Penjualan Daya PLTM pada Malam Hari

PLTMh	Konsumen		Total (KWH)
	PLN(KWH)	Masyarakat (KWH)	
Kalimaron	15	10	25
Wot Lemah	15	5	20

3.1.4 Spesifikasi Bangunan Sipil

Tabel 3.1.4 Daftar Bangunan Sipil pada PLTMh Kalimaron Beserta Spesifikasinya

Bangunan	Keterangan
Tinggi Kotor	15m
Tinggi Bersi	14m
Design flow	305 It/detik
Daaya listrik	30kW
Bak pengendap	Off-take dari saluran irigasi sungai kalimaron
Headrace	Satu bak pengendap lebar 3m, panjang 20m dilengkapi dengan dinding pelimpah
Spillway	Terpadu dengan bak pengendap dan saringan "tyrolean"

Pipa pesat	Pipa dari pelat diameter: 380 mm, panjang 45m
Powerhouse	Bangunan tembok dengan pondasi beton atap asbes, ukuran lantai: 3 × 4m ²
Acces road	100 m dari jalan raya kalimaron
Tipe intake	Off-take dari saluran irigasi sungai kalimaron

3.1.5 Spesifikasi Peralatan Elektrikal

Tabel 3.1.5 Daftar Komponen Elektrikal pada PLTMh Kalimaron Beserta Spesifikasinya

Komponen	Spesifikasi
Jumlah pembangkit	1
Tipe turbin	Crossflow, T14
Tinggi bersih	14m
Design flow	305lt/detik
Diameter runner	300mm
Kecepatan putar turbin	573/750rpm

Komponen	Spesifikasi
Efisiensi maksimum turbin	80%
Tipe generator	Sinkron
Drive	Belt datar
Kapasitas generator	40kVA
Kecepatan putar generator	1500rpm
Efisiensi maksimum genrator	90%

3.1.6 Generator Sinkron

Generator yang digunakan sebagai pembangkit daya pada PLTM Kalimaron merupakan generator sinkron 3 fasa. Generator sinkron pada PLTM Kalimaron ini menggunakan penguat sendiri atau eksitasi sendiri. Arus DC untuk mensuplai rotor dibangkitkan melalui AVR (Automatic Voltage Regulator) dan exciter. Exciter ini pada dasarnya merupakan generator kecil yang menyatu dengan generator utama. Pada start (penyalan awal), arus DC dihasilkan oleh tegangan residu atau tegangan sisa di AVR. Apabila rotor generator utama diputar, maka rotor generator exciter yang terletak satu poros dengan generator utama juga akan ikut berputar dan membangkitkan tegangan AC 3 fasa. Adapun name plate generator yang digunakan pada PLTM Kalimaron adalah sebagai berikut;

- Rating daya 40 kVA
- Power factor 0.8
- Tegangan 400/231 V
- Arus Beban Penuh 57.7 A
- Kecepatan putar 1500 rpm
- Frekuensi 50 Hz
- Eksitasi 27 V, 2.15 A

Tahun pembuatan 1994, di bawah lisensi dari A. Van Kaick, Neu-Isenburg GmbH&60, D-6078 Neu Isenburg West Germany.

3.1.7 Electronic Load Controller (ELC) GP

STARCCT1-25kW Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) Kalimaron ini menggunakan ELC GP STARCCT1-25kW. Adapun komponen utama utamanya adalah sebagai berikut:

- 1) Frequency Trip Board (FTB) adalah rangkaian yang mengatur daerah frekuensi yang diijinkan untuk penyalan kontaktor. Apabila frekuensi di luar daerah yang diijinkan tersebut, kontaktor tidak dapat dinyalakan atau

kontaktor akan secara otomatis dimatikan apabila dalam kondisi menyala. Pada FTB terdapat potensiometer untuk keperluan setting (penyetelan) daerah frekuensi.

- 2) Kontaktor digunakan untuk menyalakan dan mematikan ke arah jalur konsumen. Kontaktor dapat dimatikan secara otomatis atas perintah dari FTB apabila terjadi kelebihan beban oleh konsumen (overload, under frequency) atau kelebihan input dari daya turbin (overload, over frequency).
- 3) Silicone Controlled Rectifier (SCR), merupakan saklar elektronik yang mengatur besar kecilnya pembuangan daya ke ballast load. Besar kecilnya daya ballast load tergantung dari sudut penyalan SCR. Keluaran dari SCR berupa tegangan AC dari 0 sampai 220 V.
- 4) Trafo Arus Sensing (CTS) bersama dengan Sensing Resistor (R) untuk keperluan pengontrolan. Berfungsi untuk mendeteksi arus beban. Apabila arus beban pada fasa tersebut lebih besar maka arus yang dibuang ke ballast dikurangi. Demikian pula sebaliknya.
- 5) Ballast Load adalah bagian dari ELC, tidak untuk keperluan konsumen. Ballast load merupakan beban resistif yang digunakan untuk membuang kelebihan beban untuk menjaga kestabilan frekuensi yang dihasilkan oleh generator. Dipasang secara paralel untuk masing-masing fasa. Terdapat dua macam tipe ballast load yaitu ballast load tipe pemanas air dan ballast load tipe pemanas udara.

3.1.8 Modul Mainscon

Mainscon merupakan pengontrol sekaligus protektor pembangkit untuk sistem interkoneksi dengan grid. Pembangkit yang sebelumnya menggunakan ELC dengan tambahan alat ini dapat bekerja secara isolated dan interkoneksi. Prinsip kerja dari mainscon secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut. Pembukaan katup turbin dilakukan secara manual. Setelah turbin berputar dan mengeluarkan daya listrik, ELC masih mengambil kendali untuk mengontrol frekuensi dengan mengatur pembuangan daya ke ballast load. Apabila frekuensi dan tegangan pembangkit sudah normal, maka mainscon akan mulai mengendalikan ELC untuk proses

sinkronisasi antara pembangkit dengan grid. Setelah pembangkit dan jaringan sinkron, maka maincon menghidupkan kontaktor sehingga pembangkit dengan grid terhubung. Setelah itu ELC secara otomatis akan mematikan ballast load. Daya yang diserap oleh grid sebesar daya yang sebelumnya dibuang ke ballast load. Dengan demikian daya pembangkit dapat dioptimalkan tanpa ada daya yang dibuang ke ballast.

3.2 Keterkaitan Fluktuasi Beban Terhadap Perubahan Frekuensi

Pada sebuah generator, beban pada dasarnya merupakan beban listrik. Apabila beban tersebut diterjemahkan sebagai torsi, maka torsi tersebut dapat diterjemahkan sebagai torsi elektrik. Sedangkan daya yang keluar atau terbangkit dari generator dapat diterjemahkan sebagai torsi mekanik. Pada pengoperasian generator dalam kondisi tetap, nilai torsi mekanik akan sama dengan nilai torsi elektrik.

$$T_m = T_e$$

Dimana, T_m = Torsi mekanik yang dihasilkan generator

T_e = Torsi elektrik beban

Namun pada prakteknya, kondisi beban seringkali akan mengalami fluktuasi. Fluktuasi beban ini dapat berupa kenaikan maupun penurunan beban. Adapun selisih daya antara sisi generator dengan sisi beban ini dapat diterjemahkan sebagai torsi percepatan.

$$T_m = T_e + T_a$$

Dimana,

$$T_a = Mx \frac{d\omega}{dt}$$

dengan T_m = Torsi mekanik yang dihasilkan generator

T_e = Torsi elektrik beban

T_a = Torsi percepatan

M = Momen inersia dari generator

$\frac{d\omega}{dt}$ = perubahan kecepatan sudut putaran generator terhadap waktu

Torsi percepatan inilah yang menyebabkan percepatan atau perlambatan pada putaran rotor generator sinkron yang pada akhirnya mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan oleh generator.

Hubungan antara torsi dengan dengan kecepatan putar rotor dapat dirumuskan sebagai,

$$T = \frac{P}{\dot{\omega}}$$

dengan, T = Torsi generator

P = Daya aktif output generator, dan

$\dot{\omega}$ = Kecepatan sudut putaran generator

Sementara itu, frekuensi yang dihasilkan oleh generator merupakan fungsi dari kecepatan sudut putaran generator yang dirumuskan dengan,

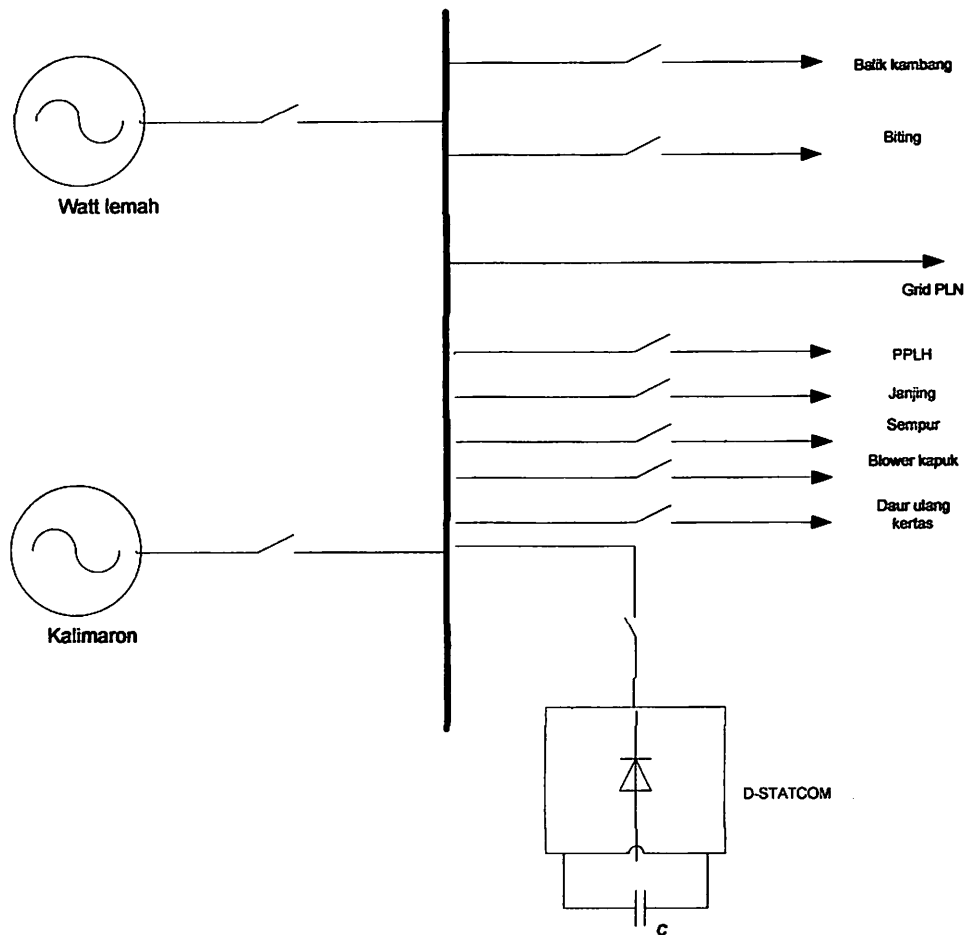
$$f = \frac{\dot{\omega}}{2\pi}$$

Sehingga perubahan frekuensi terkait dengan fluktuasi/perubahan beban dapat dituliskan sebagai berikut;

- a. $T_m - T_e = T_a < 0$, maka $\frac{d\dot{\omega}}{dt} < 0$, sehingga frekuensi akan turun.
- b. $T_m - T_e = T_a > 0$, maka $\frac{d\dot{\omega}}{dt} > 0$, sehingga frekuensi akan naik.

3.3 Penerapan D-Statcom di PLTMh Seloliman

Beberapa Negara termasuk Indonesia menggunakan frekuensi listrik standar sebesar 50 Hz dengan toleransi sebesar 0.6 Hz (49.4 Hz- 50.6 Hz). Diharapkan dengan pemasangan D-Statcom pada sisi beban kali ini dapat memperbaiki stabilitas frekuensi pada PLTMh seloliman.



Gambar 3.3

Penerapan D-statcom diPLTMh Seloliman.

3.3.1 Pengaturan Daya Aktif

Frekuensi pada sistem tenaga listrik dapat diatur dengan melakukan pengaturan daya aktif yang dihasilkan generator. Pengaturan daya aktif ini erat kaitannya dengan kenaikan jumlah bahan bakar yang digunakan untuk menaikkan daya aktif. Dengan menggunakan D-Statcom pengaturan daya aktif dilakukan dengan cara mengompen sasi daya reaktif.

Pengaturan daya reaktif oleh D-Statcom terjadi dengan cara membandingkan besarnya nilai tegangan terminal antara D-Statcom dengan system. Apabila tegangan D-Statcom bernilai lebih rendah dari system maka D-Statcom akan menyerap daya reaktif

dari system. Sementara apabila tegangan D-statcom bernilai lebih tinggi dari system maka D-Statcom akan menghasilkan daya reaktif ke system. Dengan pengaturan ini D-Statcom mampu untuk mengompensasi jumlah daya reaktif yang ada pada system.

Persamaan aliran daya pada system yang menggunakan D-Statcom dapat dinyatakan pada persamaan berikut ini:

$$S = 3 \frac{V_S V_C}{X_L} \sin \alpha - j3 \left(\frac{V_S V_C}{X_L} \cos \alpha - \frac{V_S^2}{X_L} \right) = P - jQ$$

S = Daya kompleks (VA)

V_C = Tegangan terminal D-Statcom

P = Daya aktif (W)

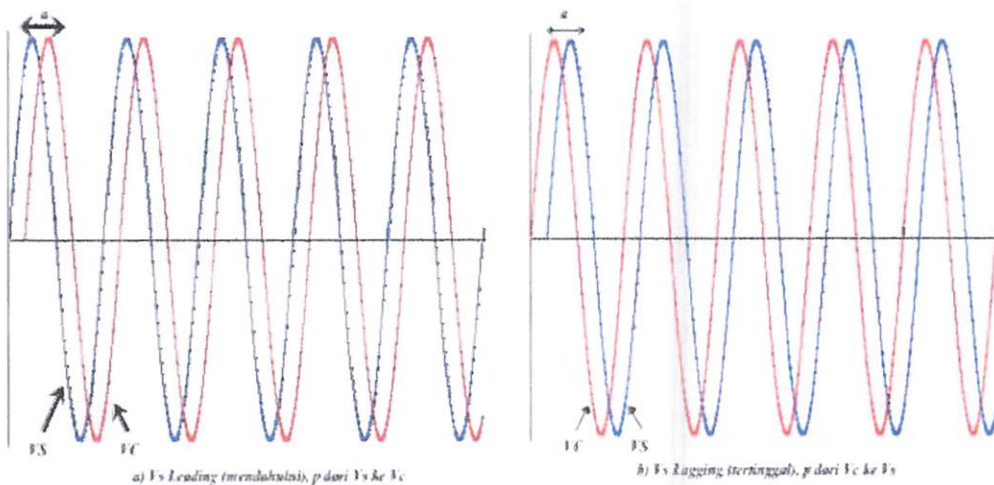
X_L = Reaktansi

Q = Daya reaktif (VAR)

α = Beda fasa antara V_S dan V_C

V_S = Tegangan dari grid/system

Dalam persamaan tersebut terlihat bahwa variasi α akan mempengaruhi aliran daya aktif antara system dengan D-Statcom. Untuk nilai α tertinggal (lagging), maka daya aktif akan mengalir dari V_C ke V_S . Sementara untuk nilai α mendahului (leading) maka daya aktif akan mengalir dari V_S ke V_C . Pada keadaan V_S memiliki fasa yang sama dengan V_C ($\alpha = 0$), maka daya aktif akan bernilai nol.



Gambar 3.3.1 Hubungan antar V_C dan V_S untuk pengiriman daya aktif

Nilai ($\alpha = 0$) akan didapat ketika system berada pada keadaan stabil atau (steady-state). Dari sini kita mendapat persamaan untuk menentukan besarnya nilai daya reaktif yang bekerja:

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

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

Perubahan nilai daya reaktif yang ada pada system inilah yang kemudian menjadi besar pengoperasian D-Statcom. Hal ini menjadikan D-Statcom memiliki 3 jenis operasi kerja, yaitu:

- 1) Keadaan operasi kapasitif
- 2) Keadaan operasi 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 ke V_s adalah sama ($V_s = V_c$). Hal ini yang mengakibatkan daya reaktif yang berada pada D-Statcom akan bernilai nol.

3.4 Program Simulation Software

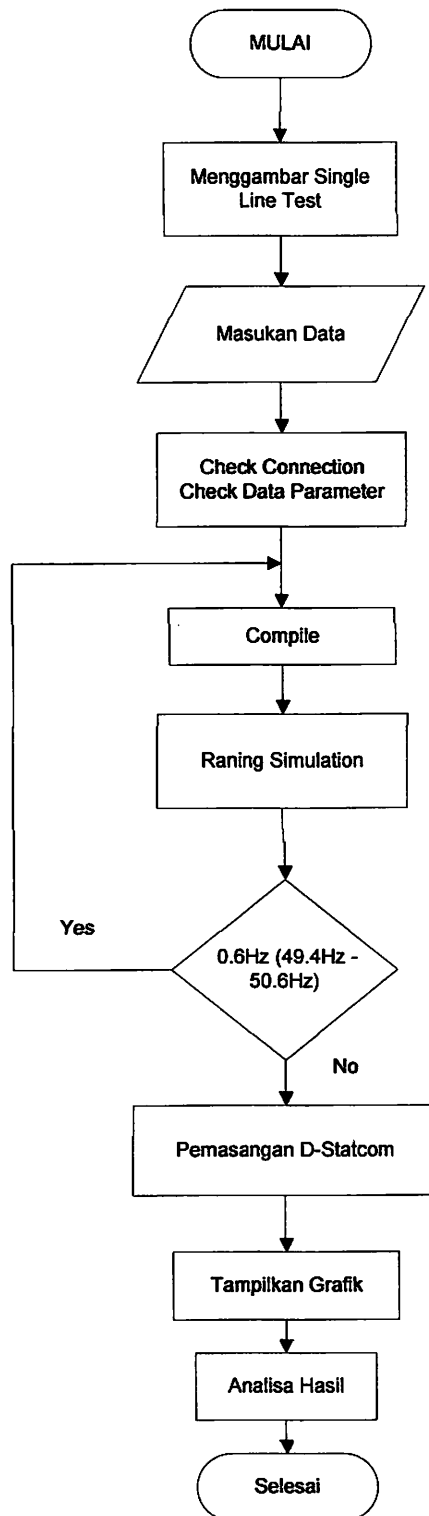
3.4.1 Software PSCAD/EMTDC

PSCAD/EMTDC merupakan suatu program interaktif untuk menganalisis suatu besaran system daya listrik, misalnya pembagi tegangan, penyearah setengah gelombang, penyearah gelombang penuh, auto transformer using tap, konverter (penaik tegangan, penurun tegangan dan penaik/penurun tegangan), SVC (Static VAR Compensator), ASVC (Advanced SVC) atau biasa disebut dengan STATCOM (Static Synchronous

Compensator) secara simulasi ataupun dengan interfacing. Untuk yang interfacing ini memerlukan program tersendiri yang dinamakan *RTDS* (Real Time Digital Simulator).

3.4.2 Flowchart Simulasi Sistem dengan D-Statcom menggunakan software *PSCAD/EMTDC*

Dibawah ini adalah gambar berupa flowchart yang menunjukkan bagaimana D-Statcom ini dapat bekerja dalam mengatasi frekuensi yang diakibatkan oleh beban non linier.

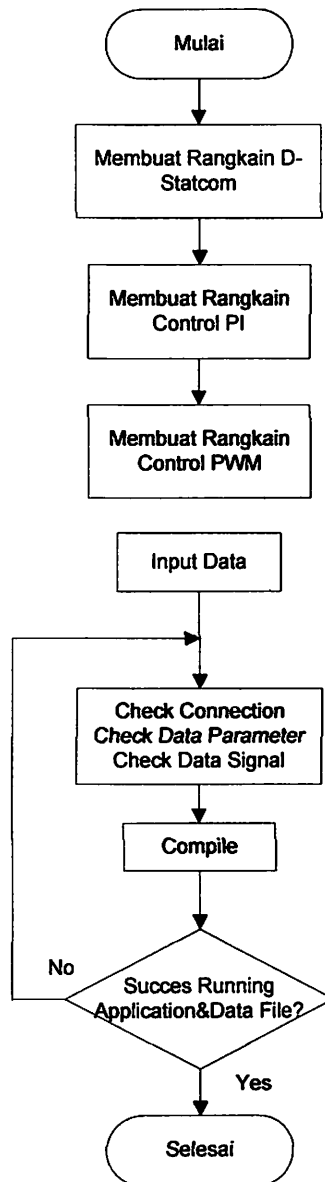


Gambar 3.4.2

Flowchart Penyelesaian Masalah

3.4.3 PWM (Pulse Width Modulation)

Strategi penyakelaran D-Statcom adalah didasarkan pada suatu teknik PWM sinusoidal, yang sederhana dan memberikan respon yang baik dalam system. Dalam proses pemasangan D-Statcom dan PWM mengikuti alur flowchart dibawah ini.

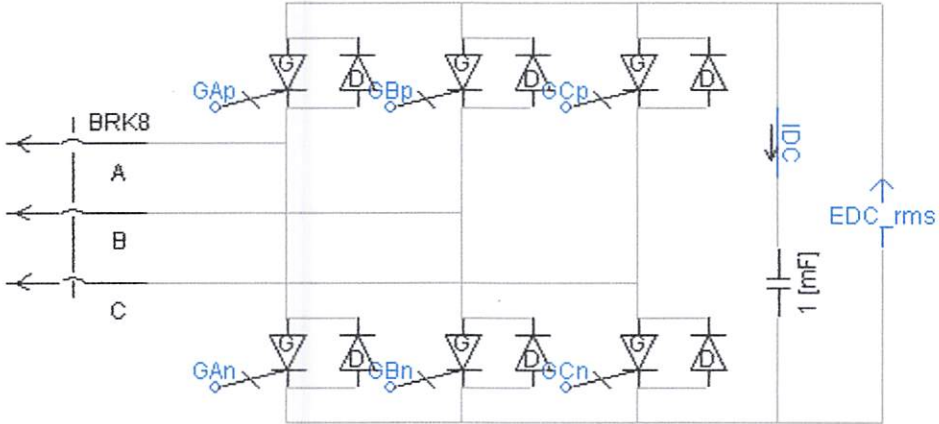


Gambar 3.4.3

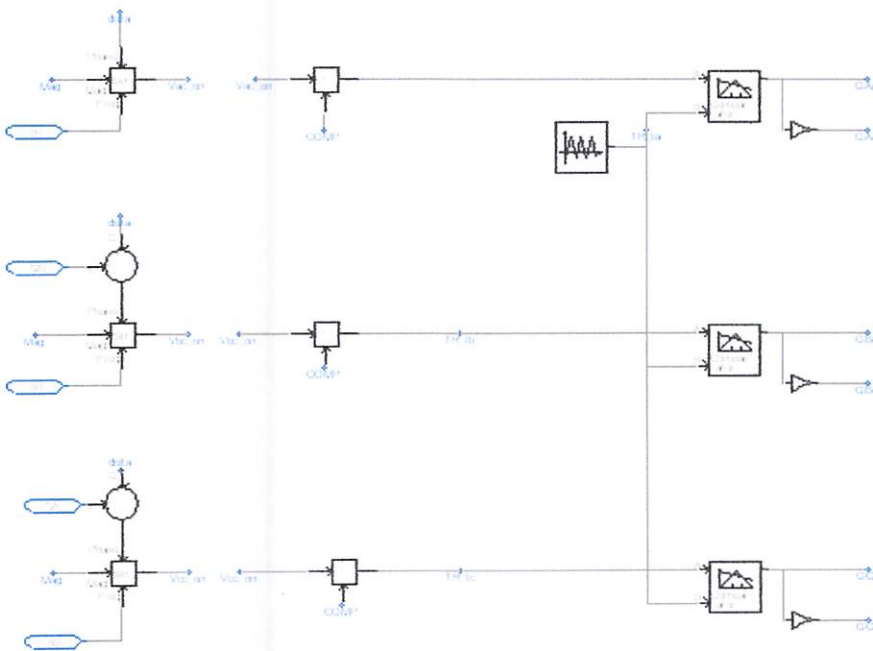
Flowchart desain control D-Statcom menggunakan PSCAD/EMTDC

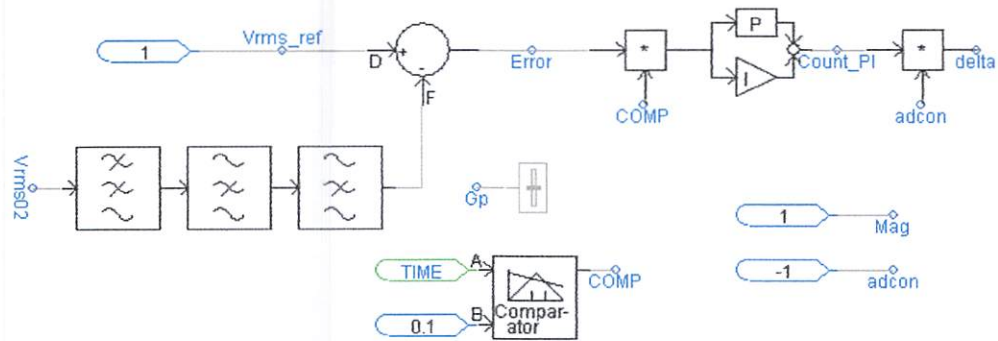
3.4.4 Konfigurasi D-Statcom dan PWM

Gambar dibawah ini menunjukkan konfigurasi dari PWM dan D-Statcom untuk perbaikan frekuensi yang tidak konstan.



Gambar 3.4.4 (a)
D-Statcom System





Gambar 3.4.4 (b)
Konfigurasi PWM D-Statcom

➤ PWM Sinusoida

Tujuan rencana kendali adalah untuk memelihara magnitudo tegangan konstan suatu beban sensitif. Sistem kendali mengukur tegangan rms di titik beban. strategi penyakelaran 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 penyakelaran untuk VSC. parameter utama dalam rencana sinusoidal PWM adalah index sinyal amplitudo modulasi (mag) pada sinyal V control , dan sinyal segi tiga pada index modulasi frekuensi (mf). Index Amplitudo (Mag) dipertahankan tetap pada 1 pu.

➤ Aksi Kontrol PWM Sinusoida Terhadap D-STATCOM

Prinsip dari 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

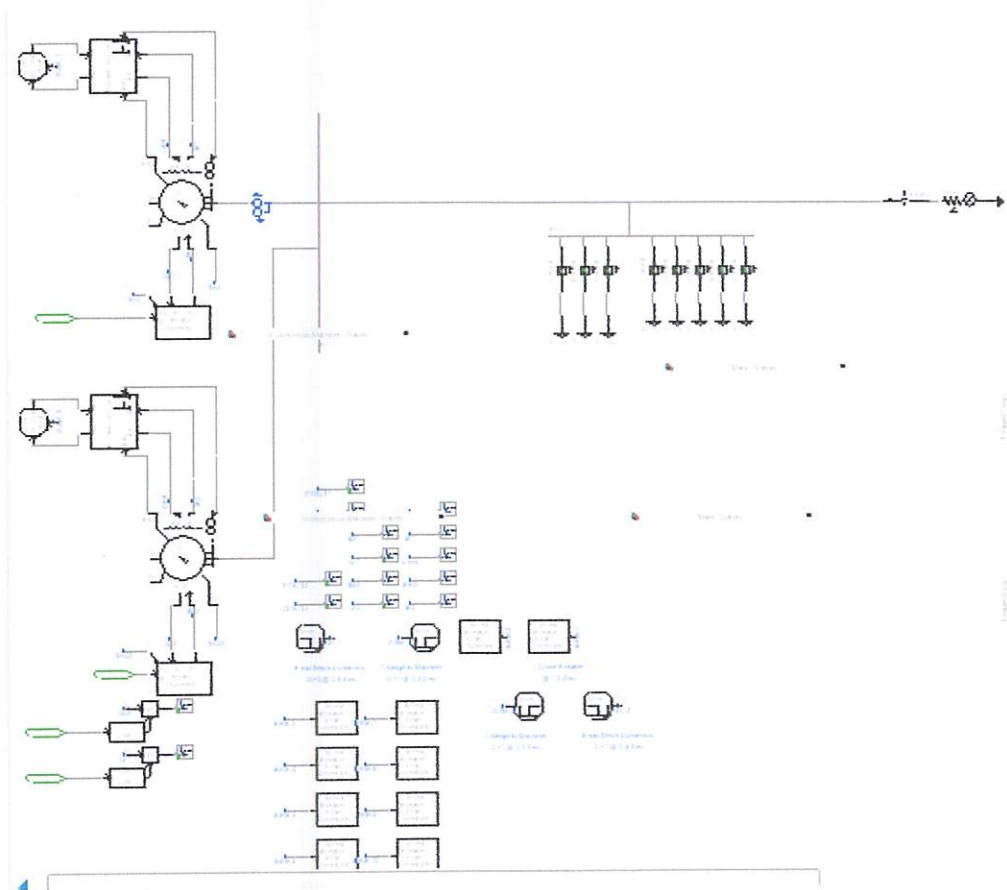
dihasilkan oleh sinyal error antara tegangan beban dengan tegangan referensi. Jadi sinyal yang diolah oleh PWM merupakan sinyal referensi yang diperoleh dari hasil perhitungan tersebut. Sinyal referensi ini kemudian dimodulasikan dengan sinyal carrier (triangular wave) yang berupa sinyal gigi gergaji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

BAB IV

ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM DI PLTMh SELULOMAN TRAWAS MOJOKERTO

4.1. Simulasi Dan Hasil

Pada simulasi akan dilakukan pengambilan data dengan perbandingan saat sebelum menggunakan D-Statcom dan sesudah menggunakan D-Statcom. Setelah itu hasil keluaran frekuensi akan dianalisa dan dapat dilihat seberapa besar D-Statcom mengkompensasi daya reaktif saat frekuensi tidak konstan.



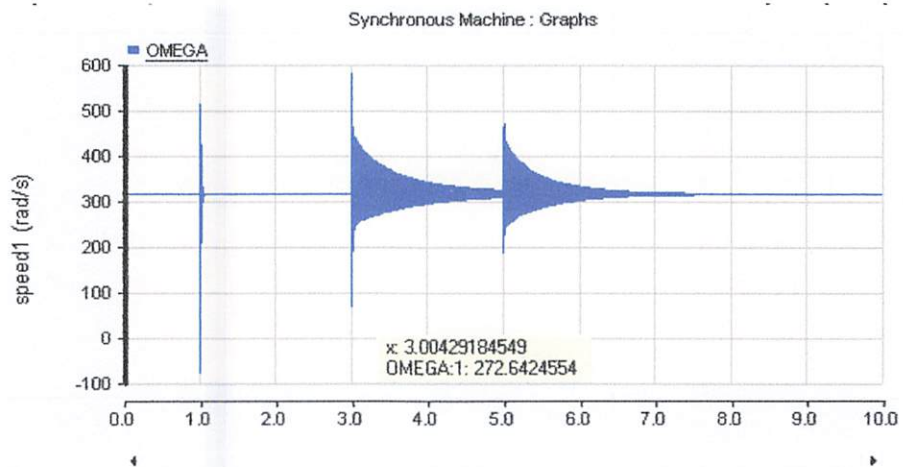
Gambar 4.1

Singel line simulasi

4.2 Grafik Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan D-Statcom

4.2.1 Kondisi saat terjadi beban masuk

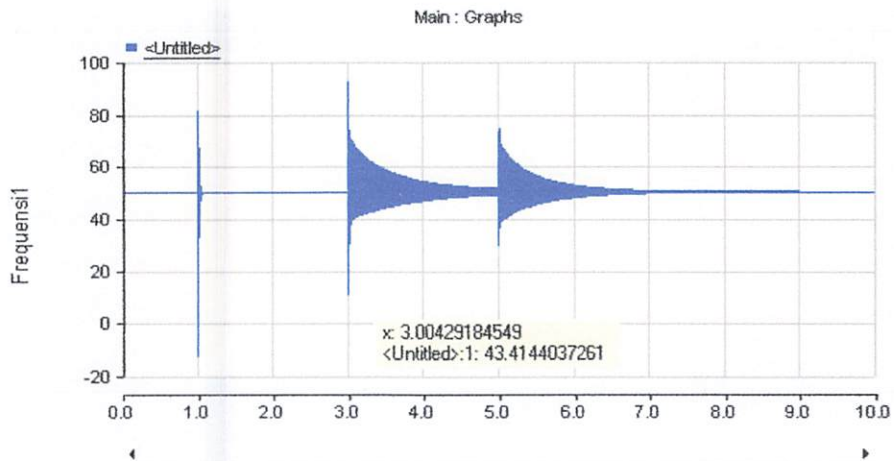
- a) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator1 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *open* pada waktu 3.01(s) mengalami penurunan kecepatan hingga mencapai 272.5 (rad/s)



Grafik 4.2.1 a

Bentuk Gelombang Speed generator1

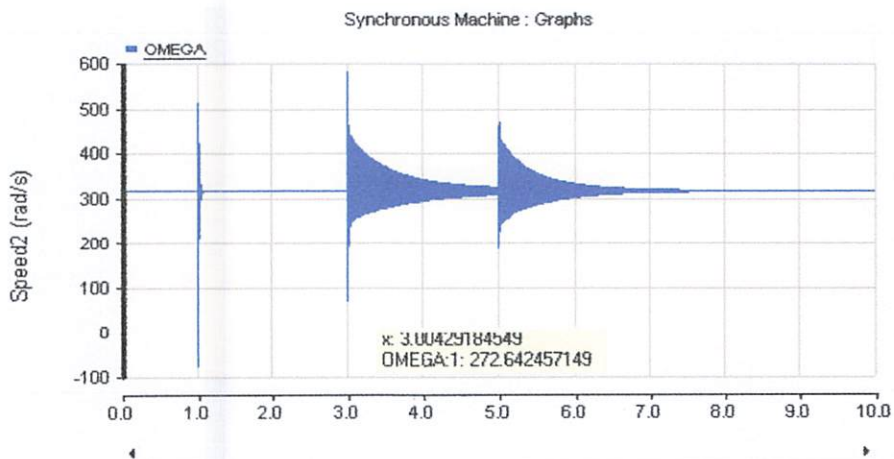
- b) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator1 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *open* pada waktu 3.0(s) mengalami penurunan frekuensi hingga mencapai 43.41(Hz).



Gambar 4.2.1 b

Bentuk Gelombang frekuensi Generator 1

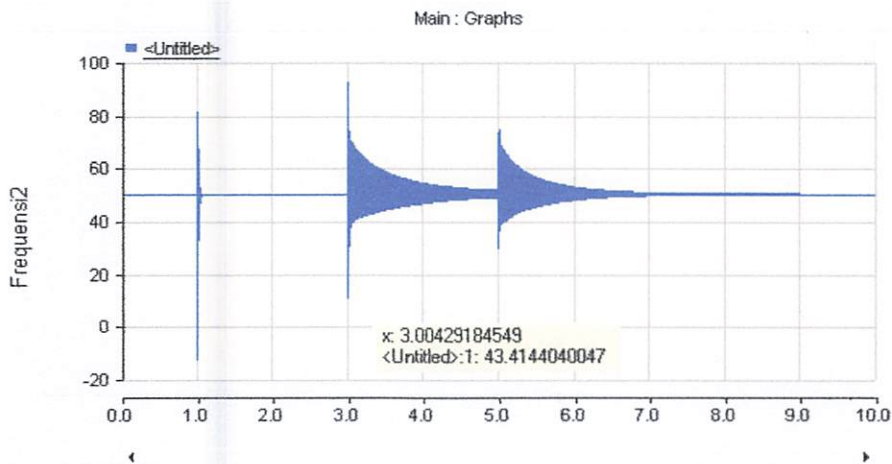
- c) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator2 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *open* pada waktu 3.0(s) mengalami penurunan kecepatan hingga mencapai 272.64 (rad/s).



Gambar 4.2.1 c

Bentuk Gelombang Speed Generator 2

- d) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator2 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *open* pada waktu 3.0(s) mengalami penurunan frekuensi hingga mencapai 43.41 (Hz).

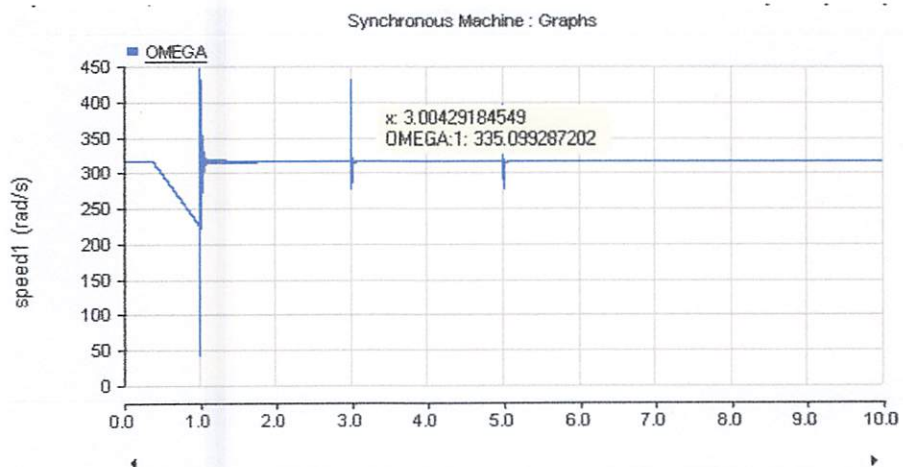


Gambar 4.2.1 d

Bentuk Gelombang frekuensi Generator 2

4.2.2 Kondisi saat terjadi pelepasan beban

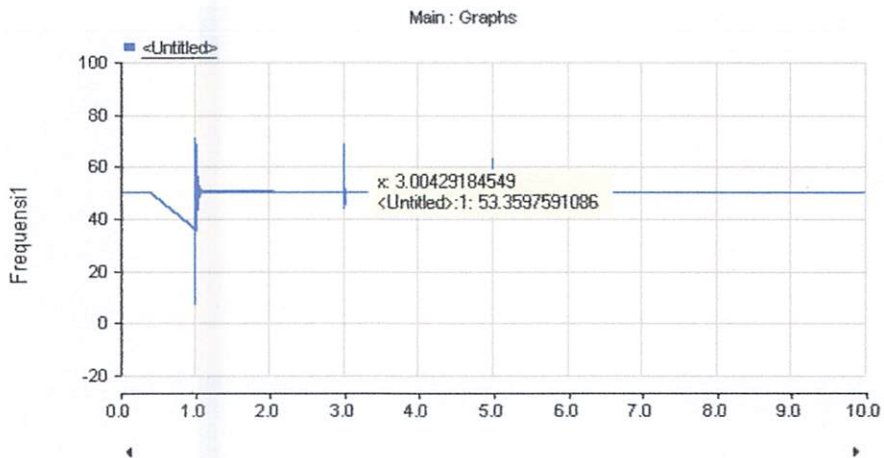
- a) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator1 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *close* pada waktu 3.0(s) mengalami kenaikan kecepatan hingga mencapai 335.09 (rad/s).



Grafik 4.2.2 a

Bentuk Gelombang Speed generator1

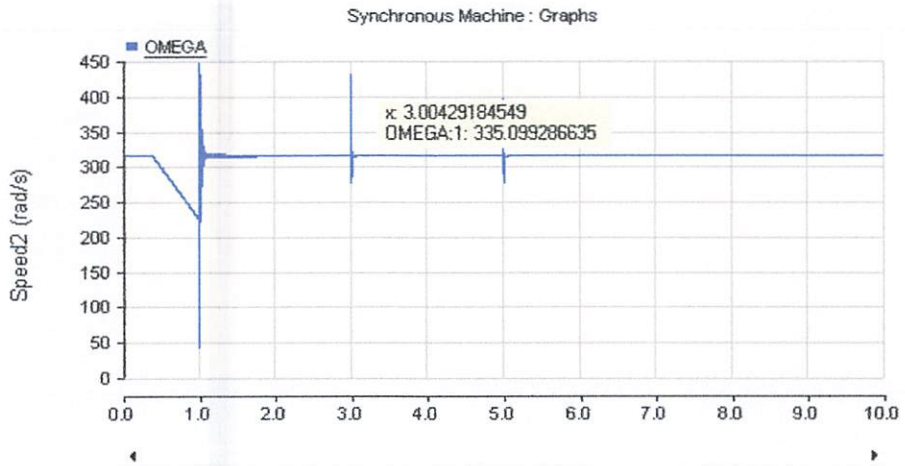
- b) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator1 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *close* pada waktu 3.0(s) mengalami kenaikan frekuensi hingga mencapai 53.35 (Hz).



Gambar 4.2.2 b

Bentuk Gelombang frekuensi Generator 1

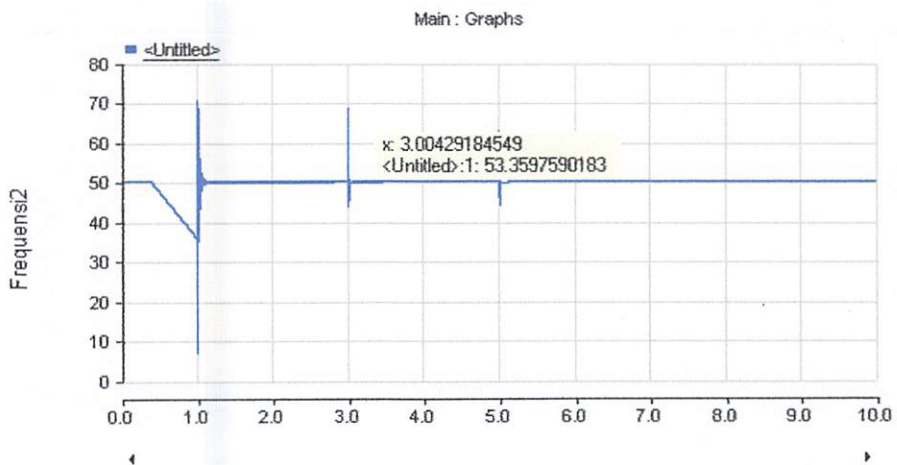
- e) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator2 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *close* pada waktu 3.0(s) mengalami kenaikan kecepatan hingga mencapai 335.09 (rad/s).



Gambar 4.2.2 c

Bentuk Gelombang speed Generator 2

- f) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator2 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *close* pada waktu 3.0(s) mengalami kenaikan frekuensi hingga mencapai 53.35 (Hz).



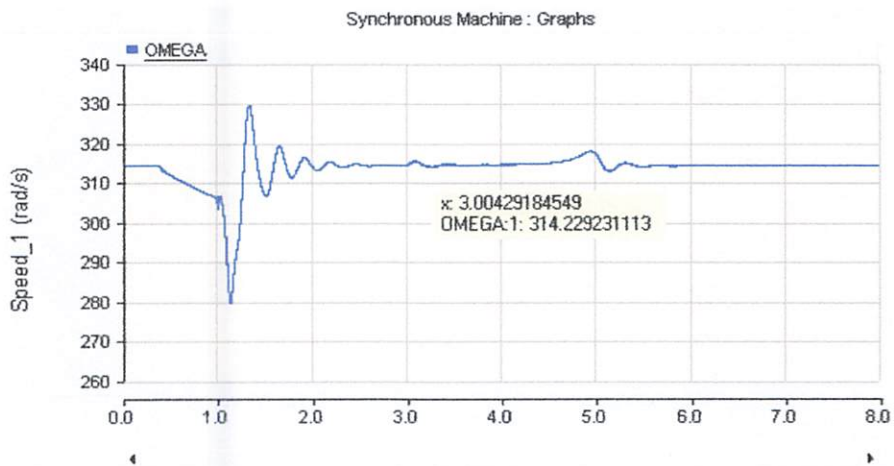
Gambar 4.2.2 d

Bentuk Gelombang Speed Generator 2

4.3 Grafik Hasil Simulasi Setelah Pemasangan D-Statcom

4.3.1 Kondisi saat terjadi beban masuk

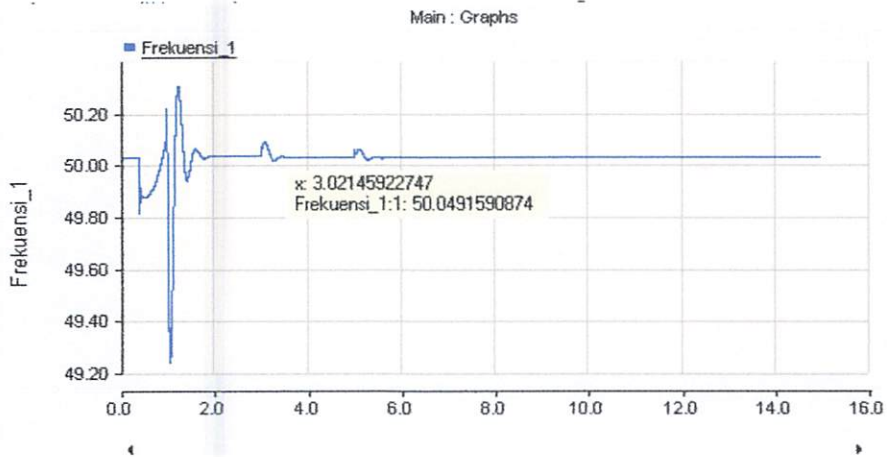
- a) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi menggunakan kompensasi D-Statcom pada generator1 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *open* pada waktu 3.0(s) mengalami kenaikan kecepatan hingga mencapai 314.22 (rad/s).



Gambar 4.3.1 a

Bentuk Gelombang Speed Generator 1

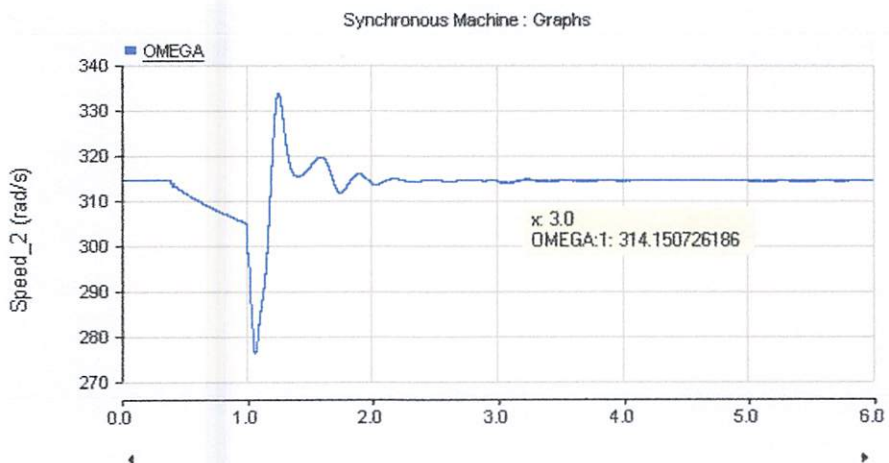
- b) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator1 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *open* pada waktu 3.0(s) mengalami kenaikan frekuensi hingga mencapai 50.04 (Hz).



Gambar 4.3.1 b

Bentuk Gelombang frekuensi Generator 1

- c) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi menggunakan kompensasi D-Statcom pada generator1 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *open* pada waktu 3.0(s) mengalami kenaikan kecepatan hingga mencapai 314.15 (rad/s).

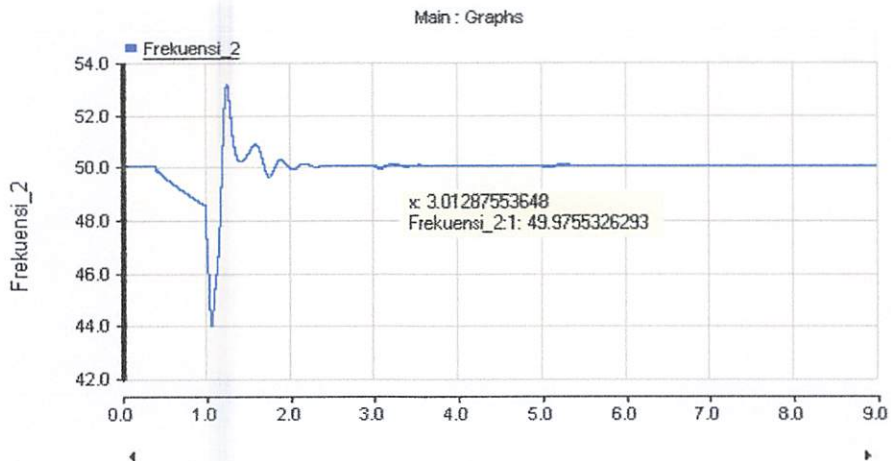


Gambar 4.3.1 c

Bentuk Gelombang Speed Generator 2

- d) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator2 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6

open pada waktu 3.0(s) mengalami kenaikan frekuensi hingga mencapai 49.97 (Hz).

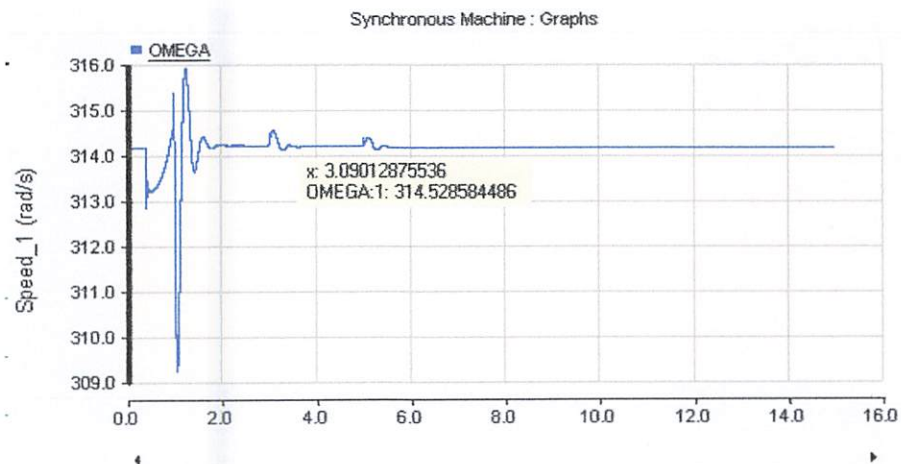


Gambar 4.3.1 d

Bentuk Gelombang frekuensi Generator 2

4.3.2 Kondisi saat terjadi pelepasan beban

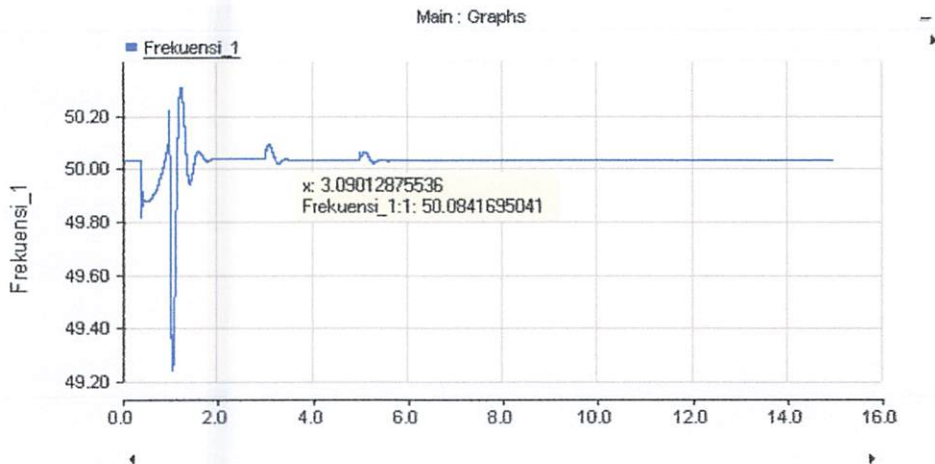
- a) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi menggunakan kompensasi D-Statcom pada generator1 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *close* pada waktu 3.0(s) mengalami penurunan kecepatan hingga mencapai 314.52 (rad/s).



Gambar 4.3.2 a

Bentuk Gelombang Speed Generator 1

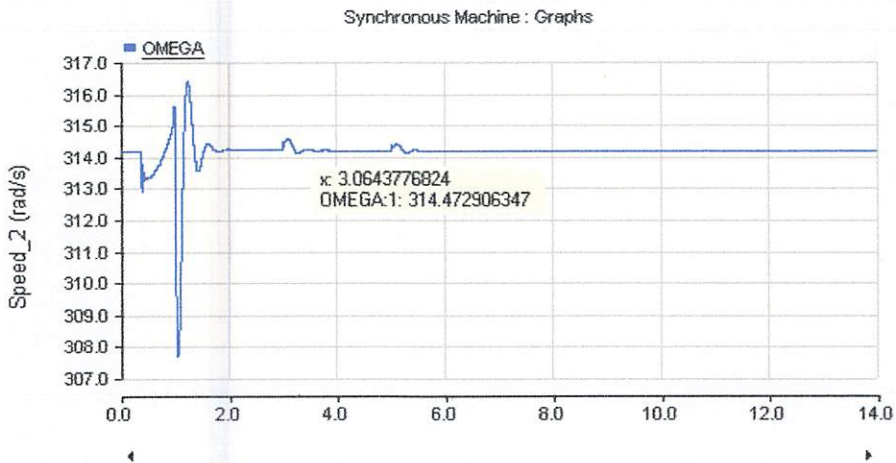
- b) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator1 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *close* pada waktu 3.0(s) mengalami penurunan frekuensi hingga mencapai 50.08 (Hz).



Gambar 4.3.2 b

Bentuk Gelombang frekuensi Generator 1

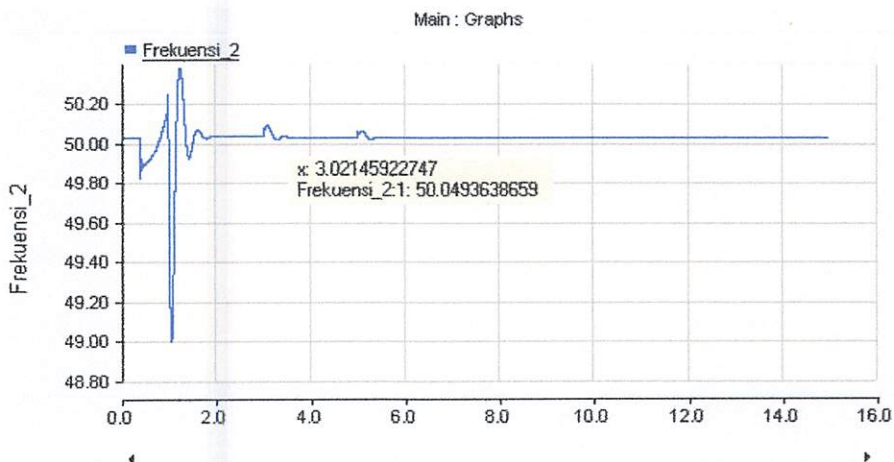
- c) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi menggunakan kompensasi D-Statcom pada generator1 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *close* pada waktu 3.0(s) mengalami penurunan kecepatan hingga mencapai 314.47 (rad/s).



Gambar 4.3.2 c

Bentuk Gelombang Speed Generator 2

- d) Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi D-Statcom pada generator2 dengan kondisi BRK3, BRK4, BRK5, BRK6 *close* pada waktu 3.0(s) mengalami penurunan frekuensi hingga mencapai 50.04 (Hz).



Gambar 4.3.2 d

Bentuk Gelombang frekuensi Generator 2

4.4 Perhitungan Perbaikan Frekuensi Saat Sebelum Dan Sesudah Kompensasi

Berikut ini adalah perhitungan perbaikan nilai frekuensi saat sebelum dan sesudah kompensasi pada saat beban masuk dan pelepasan beban.

- A. Hasil perhitungan frekuensi pada saat beban masuk sebelum dikompensasi dengan D-Statcom, dengan nilai $\omega = 272.5$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$
$$f = \frac{272.5}{6.28} = 43.3 \text{ Hz}$$

- B. Hasil perhitungan frekuensi pada saat pelepasan beban sebelum dikompensasi dengan D-Statcom, dengan nilai $\omega = 335.09$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$
$$f = \frac{335.09}{6.28} = 53.3 \text{ Hz}$$

- C. Hasil perhitungan frekuensi pada saat beban masuk setelah dikompensasi dengan D-Statcom, dengan nilai $\omega = 314.22$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$
$$f = \frac{314.22}{6.28} = 50.03 \text{ Hz}$$

- D. Hasil perhitungan frekuensi pada saat pelepasan beban setelah dikompensasi dengan D-Statcom dengan nilai $\omega = 314.52$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$
$$f = \frac{314.52}{6.28} = 50.08 \text{ Hz}$$

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pengaruh pemasangan D-Statcom di PLTMh Seloliman pada saat terjadi frekuensi tidak konstan dengan menggunakan bantuan software PSCAD/EMTDC *V4.2 Power System Simulation*, maka dapat diambil kesimpulan;

1. D-Statcom mampu menginjeksi daya reaktif untuk memperbaiki frekuensi hingga 6.73 (Hz) dari 43.3 (Hz) menjadi 50.03 (Hz)
2. D-Statcom mampu menyerap daya reaktif untuk memperbaiki frekuensi hingga 3.22 (Hz) dari 53.3 (rad/s) menjadi 50.08 (Hz)
3. Waktu yang dibutuhkan D-Statcom untuk mencapai kondisi konstan adalah 0.1 (s).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://journal.uui.ac.id/index.php/Teknoin/article/viewFile/2163/1972>
- [2] <http://www.scribd.com/doc/59462579/BAB-II>
- [3] <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/04/metode-paralel-generator-sinkron.html>
- [4] Zuhail, "*dasar tenaga listrik*" Bandung 1991
- [5] Marsudi, djiteng, "*pembangkitan energi listrik*" Erlangga, 2005.
- [6] Haque, M.H., "Compensation of distribution system voltage sag by DVR and D-STATCOM", Power

LAMPIRAN



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

NAMA : YOYOK ARIANTO
NIM : 10.12.917
JURUSAN : Teknik Elektro S-1
KONSENTRASI : Teknik Energi Listrik
MASA BIMBINGAN : Semester Genap 2011-2012
JUDUL : ***ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM SEBAGAI METODE ALTERNATIF UNTUK MEMPERTAHANKAN STABILITAS FREKUENSI DI PLTMh SELOLIMAN TRAWAS KABUPATEN MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTD***

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

Hari : Kamis
Tanggal : 02 Agustus 2012
Dengan Nilai : 77,75 (B+)

PANITIA UJIAN SKRIPSI

KETUA,

SEKRETARIS,


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


Dr. Eng. Aryuanto S, ST, MT
NIP.Y.1030800417

ANGGOTA PENGUJI

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II


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


Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y.1018800190



FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Dalam pelaksanaan ujian skripsi jenjang Strata Satu (S-1) Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Komputer dan Informatika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : YOYOK ARIANTO
 NIM : 10.12.917
 JURUSAN : Teknik Elektro S-1
 KONSENTRASI : Teknik Energi Listrik
 MASA BIMBINGAN: Semester Genap 2011-2012
 JUDUL : ***ANALISA PEMASANGAN D-STATCOM SEBAGAI METODE ALTERNATIF UNTUK MEMPERTAHANKAN STABILITAS FREKUENSI DI PLTMh SELOLIMAN TRAWAS KABUPATEN MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTD***

Tanggal	Uraian	Paraf
Penguji 02 - 08 - 2012	Flowchart	
	Dasar Teori D-Statcom untuk perbaikan frekuensi	
	Analisa BAB IV	

Dosen Pembimbing I

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

Mengetahui,

Dosen Pembimbing II

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

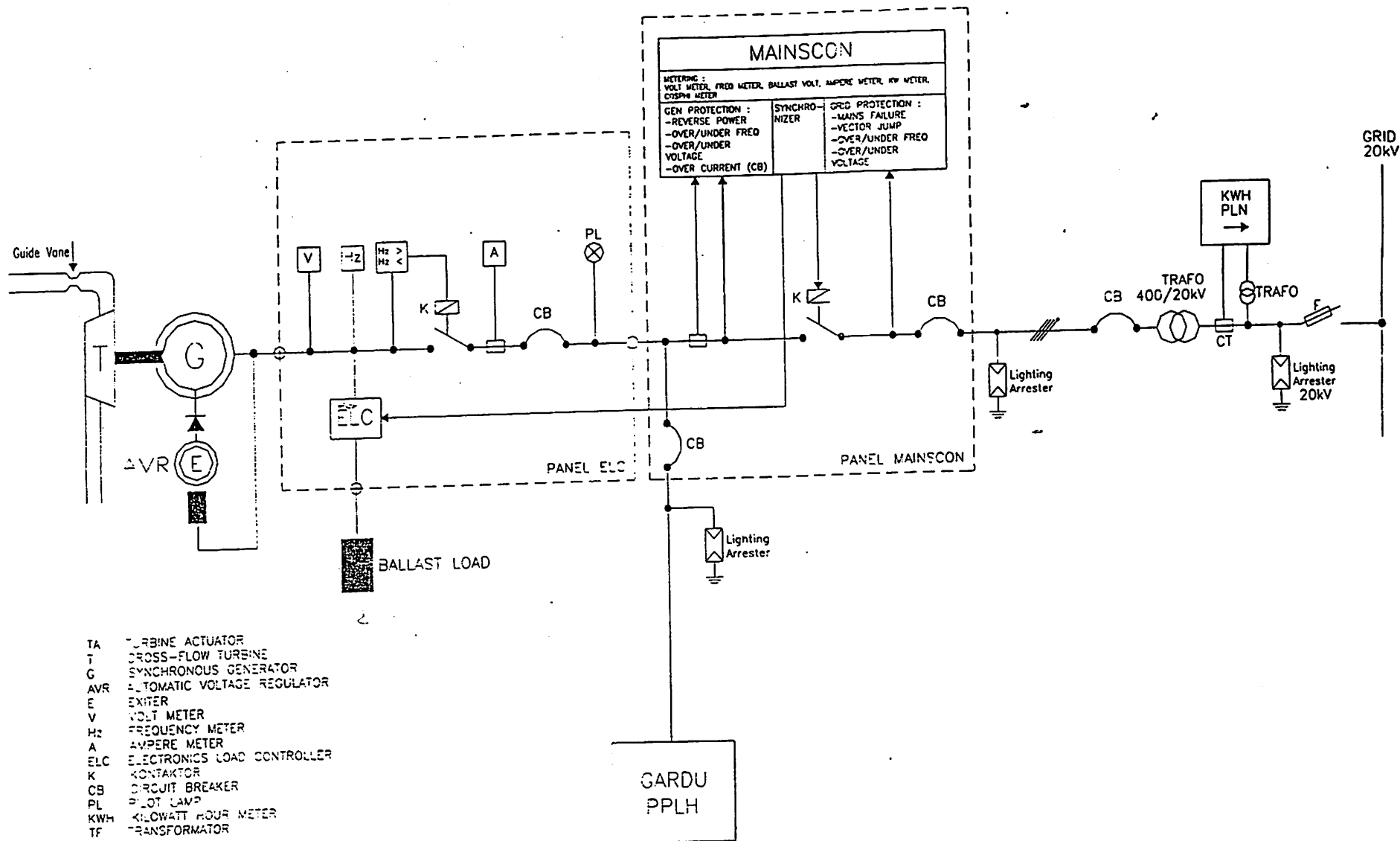
Dosen Penguji I

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

Disetujui,

Dosen Penguji II

Ir. Choirul Saleh, MT
 NIP.Y.1018800190



- TA TURBINE ACTUATOR
- T CROSS-FLOW TURBINE
- G SYNCHRONOUS GENERATOR
- AVR AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR
- E EXCITER
- V VOLT METER
- Hz FREQUENCY METER
- A AMPERE METER
- ELC ELECTRONICS LOAD CONTROLLER
- K KONAKTOR
- CB CIRCUIT BREAKER
- PL PILOT LAMP
- KWH KILOWATT HOUR METER
- TF TRANSFORMATOR

SINGLE LINE DIAGRAM PEMBANGKIT

105110

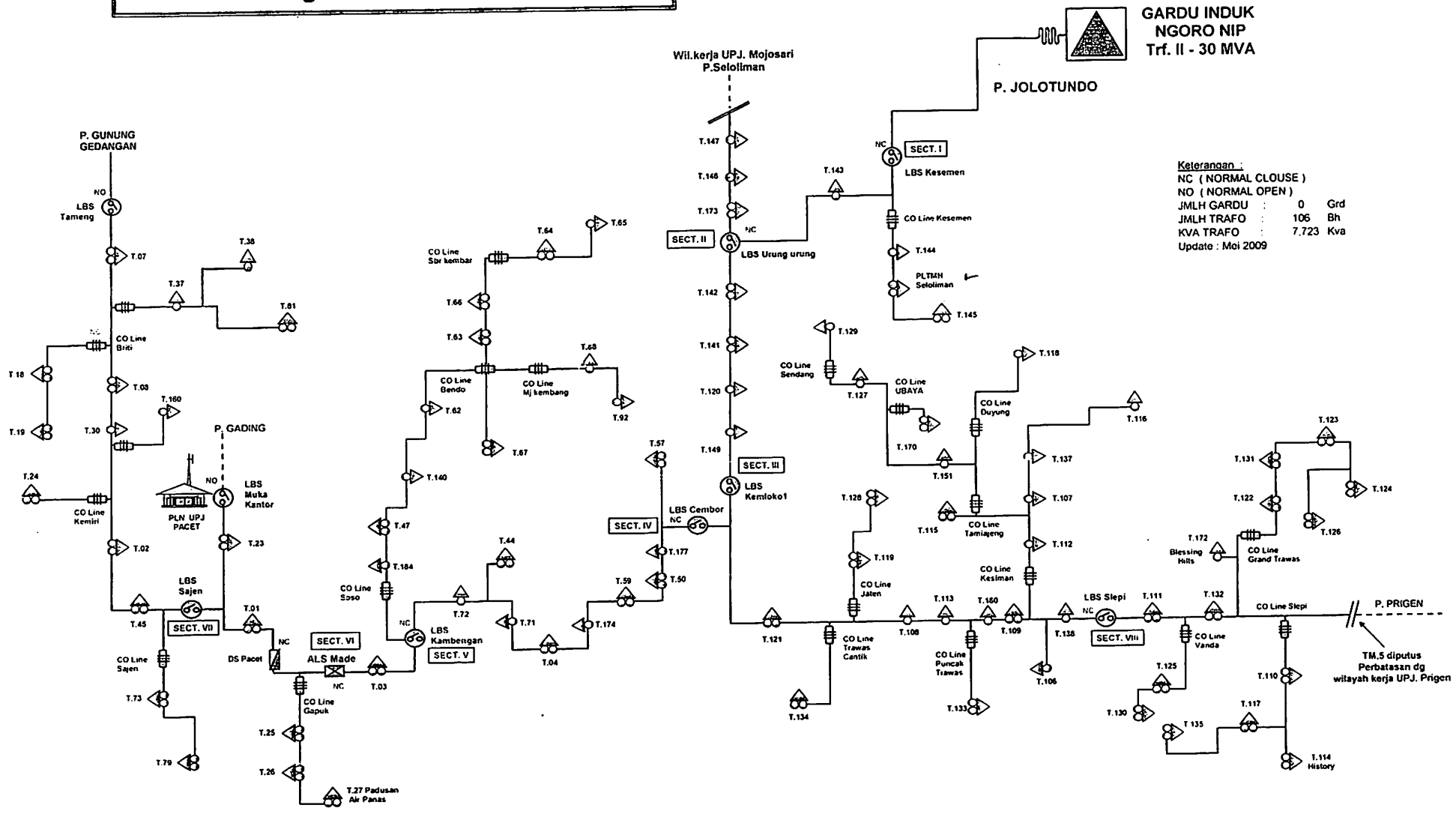
105110
105110



SINGLE LINE DIAGRAM SUTM 20 KV P. JOLOTUNDO dengan Gardu Distribusi

**GARDU INDUK
 NGORO NIP
 Trf. II - 30 MVA**

P. JOLOTUNDO



Keterangan :
 NC (NORMAL CLOSE)
 NO (NORMAL OPEN)
 JMLH GARDU : 0 Grd
 JMLH TRAFU : 106 Bh
 KVA TRAFU : 7.723 Kva
 Update : Mei 2009

TM, 5 diputus Perbatasan dg wilayah kerja UPJ. Prigen