

**ANALISA PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA PLTB
DENGAN STATCOM MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD**

SKRIPSI



**Disusun oleh :
YUGHO PAMUNGKAS
0812003**



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

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA PLTB DENGAN
STATCOM MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD**

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

YUGHO PAMUNGKAS

NIM : 08.12.003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

NIP.Y.1018800189

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof.Dr.Eng.Ir.Abraham Lomi, MSEI
NIP.Y.1018500108

Awan Uji Krismanto, ST.MT
NIP. 19800301200510110002

**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 : YUGHO PAMUNGKAS
NIM : 0812003
Program Studi : Teknik Elektro S1
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,

METERAI
TEMPEL

F74A5ABF251949259
EKUVA SERU RUMAH

6000

DJP

YUGHO PAMUNGKAS

NIM : 0812003

ABSTRAK

ANALISA PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA PLTB DENGAN STATCOM MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD

Yugho Pamungkas, NIM 0812003

**Dosen Pembimbing : Prof.Dr.Eng.Ir.Abraham Lomi, MSEE dan
Awan Uji Krismanto, ST. MT**

Sistem kelistrikan di Kepulauan Nusa Penida (Pulau Nusa Penida, Pulau Nusa Lembongan, Pulau Nusa Ceningan) tidak terinkoneksi dengan Jawa-Bali (terisolasi) menyebabkan daerah ini harus mensuplai kebutuhan listriknya sendiri. Pada awalnya kepulauan Nusa Penida menggunakan PLTD sebagai penyuplai utama kebutuhan listrik dan PLTB di gunakan sebagai tenaga pembantu untuk PLTD. Pembangkit di koneksikan dengan grid 20 kV sehingga beroperasi secara hybrid dengan PLTD. Hal ini mengakibatkan PLTB menjadi pembangkit utama dalam penyuplai arus listrik di Kepulauan Nusa Penida. Permasalahan yang sering muncul pada PLTB adalah ketidakstabilan putaran dari turbin angin akibat sifat fluktuatif dari angin yang bertiup. Adanya ketidakstabilan angin tersebut mengakibatkan ketidakstabilan putaran generator yang menyebabkan profil dan kualitas tegangan menjadi tidak baik. Penelitian ini membahas performa STATCOM dalam meningkatkan kualitas tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Dari penelitian yang di lakukan pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Nusa Penida Bali perbandingan nilai tegangan pada bus beban ketiga sebelum dan sesudah pemasangan adalah dari 0,88734 (pu) atau 17,75 kV menjadi 0,98772 (pu) atau 19,75 kV.

Kata kunci: PLTB, STATCOM, Kualitas tegangan.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kehadirat 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 PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA PLTB DENGAN STATCOM MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD**”.

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 Prof.Dr.Eng.Ir.Abraham Lomi, MSEE selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Awan Uji Krismanti, ST.MT selaku Dosen Pembimbing II.
6. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik Teknik Elektro ITN Malang
7. 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, Agustus 2012

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	1
1.3. Tujuan.....	1
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi Penelitian.....	2
1.6. Sistematika Pembahasan.....	2
BAB II TEORI DASAR	4
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.....	4
2.2. Energi Angin.....	4
2.2.1. Daya Energi Angin.....	5
2.2.2. Kecepatan Angin.....	5
2.2.3. Profil Geseran Angin (<i>Wind Shear Profile</i>).....	6
2.3. Kincir Angin.....	7
2.4. Efisiensi Rotor.....	8
2.5. Daya, Torsi, dan Kecepatan.....	9
2.6. STATCOM (<i>Static Synchronous Compensator</i>).....	10
2.7. Prinsip Kerja STATCOM.....	11
2.8. Sistem Daya Listrik.....	13
2.9. Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI).....	14
2.9.1. Umum.....	14
2.9.2. Prinsip-prinsip Pengendali Proses.....	14
2.9.3. Prinsip Kerja Pengendali.....	15
2.9.4. Pengendali Proporsional (<i>Proporsional Controller</i>).....	15

2.9.5 Pengendali Integral (<i>Integrator Controller</i>).....	17
2.9.6 Pengendali Proporsional Integral (<i>PI Controller</i>).....	18
2.10. Generator Induksi	19
2.10.1 Generator Induksi Eksitasi Sendiri	19
BAB III PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU DI KEPULAUAN NUSA PENIDA – BALI.....	20
3.1. Kondisi Geografis Kepulauan Nusa Penida	20
3.2. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Kepulauan Nusa Penida.....	21
3.2.1 Potensi Angin di Puncak Mundi	22
3.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu WES (<i>Wind Energy Solution</i>).....	23
3.3. Data Pembangkit PLTD Kutampi dan Jungut Batu.....	23
3.4. Data Trafo Step-up	26
3.5. Data Trafo Distribusi (Step-down).....	27
3.6. Data Beban di Kepulauan Nusa Penida	27
3.7. Data Pembangkit Tenaga Listrik Bayu di Nusa Penida.....	29
3.8. Single Line Sistem Kelistrikan Kepulauan Nusa Penida	31
3.9. Software PSCAD/EMTDC 4.2 Simulation	31
3.10. Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation	32
3.11. Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD	35
BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL	36
4.1. Single Line Sistem Kelistrikan Kepulauan Nusa Penida.....	36
4.2. Solusi Perbaikan Profil Tegangan <i>Wind Turbine</i>	36
4.3. Hasil Simulasi Ketika Sebelum Pemasangan STATCOM.....	37
4.4. Hasil Simulasi Setelah Pemasangan STATCOM.....	38
4.5. Analisa Hasil.....	41
4.5.1 Perbandingan Nilai Tegangan Dengan dan Tanpa STATCOM	41
4.5.2 Perbandingan Daya Reaktif dan Daya Aktif Dengan dan Tanpa STATCOM.	22
BAB V PENUTUP	45
5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian.....	6
Gambar 2.2 Profil Geseran Fluida.....	7
Gambar 2.3 Prinsip Dasar Kincir Angin.....	8
Gambar 2.4 Struktur Dari STATCOM.....	10
Gambar 2.5 Rangkaian Daya.....	11
Gambar 2.6 Rangkaian Ekuivalen.....	11
Gambar 2.7 Diagram Garis dari STATCOM dan Diagram Blok Sistem Kontrolnya..	11
Gambar 2.8 Segitiga Daya.....	14
Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Proporsional.....	16
Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler Integral.....	18
Gambar 2.11 Diagram Kotak Pengendali PI.....	18
Gambar 2.12 Rangkaian Generator Induksi.....	19
Gambar 3.1 Peta Kepulauan Nusa Penida.....	20
Gambar 3.2 Sistem Distribusi 20 kV Kepulauan Nusa Penida.....	31
Gambar 3.3 Tampilan Utama Software PSCAD/EMTDC Power Simulation.....	33
Gambar 3.4 Tampilan file yang baru kita buat dengan nama "noname".....	33
Gambar 3.5 Tampilan Master Library.....	34
Gambar 3.6 Tampilan Single Line Distribusi Tenaga Listrik Kepulauan Nusa Penida Dalam PSCAD.....	34
Gambar 3.7 Flowchart penyelesaian masalah.....	34
Gambar 4.1 Kelistrikan Kepulauan Nusa Penida Dalam Software PSCAD.....	36
Gambar 4.2 Grafik Kecepatan Angin.....	37
Gambar 4.3 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Lembongan.....	37
Gambar 4.4 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Karang Sari.....	38
Gambar 4.5 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Tanglad.....	38
Gambar 4.6 Grafik Daya Reaktif pada Wind Turbine.....	39
Gambar 4.7 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Lembongan.....	39
Gambar 4.8 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Karang Sari.....	40
Gambar 4.9 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Tanglad.....	40
Gambar 4.10 Grafik Daya Reaktif STATCOM.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 kecepatan angin rata-rata di Desa Klumpu	22
Tabel 3.2 Beban Puncak Pada Penyulang Lembongan 20 kV.....	28
Tabel 3.3 Beban Puncak Pada Penyulang Karang Sari 20 kV	28
Tabel 3.4 Beban Puncak Pada Penyulang Tanglad 20 kV.....	28
Tabel 3.5 Data Panjang Kabel berdasarkan jenis (dalam meter).....	29
Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Tegangan Sebelum dan Sesudah Kompensasi.....	41
Tabel 4.2 Perbandingan Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Kompensasi	41
Tabel 4.3 Perbandingan Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Kompensasi	42
Tabel 4.4 Peningkatan Profil Tegangan.....	44

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem kelistrikan di Kepulauan Nusa Penida (Pulau Nusa Penida, Pulau Nusa Lembongan, Pulau Nusa Ceningan) tidak terinkoneksi dengan Jawa-Bali (terisolasi) menyebabkan daerah ini harus mensuplai kebutuhan listriknya sendiri. Pada awalnya kepulauan Nusa Penida menggunakan PLTD sebagai penyuplai utama kebutuhan listrik dan PLTB di gunakan sebagai tenaga pembantu untuk PLTD. Pembangkit di koneksikan dengan grid 20 kV sehingga beroperasi secara hybrid dengan PLTD. Hal ini mengakibatkan PLTB menjadi pembangkit utama dalam penyuplai arus listrik di Kepulauan Nusa Penida.

Permasalahan yang sering muncul pada PLTB adalah ketidakstabilan putaran dari turbin angin akibat sifat fluktuatif dari angin yang bertiup. Adanya ketidakstabilan angin tersebut mengakibatkan ketidakstabilan putaran generator yang menyebabkan profil dan kualitas tegangan menjadi tidak baik

Salah satu cara meningkatkan kualitas tegangan pada pembangkit listrik tenaga angin adalah dengan penambahan pemasangan peralatan kompensator daya. Penelitian ini membahas *STATCOM* pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) untuk meningkatkan kualitas tegangan menjadi lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini adalah berupa ketidakstabilan perputaran dari turbin angin yang disebabkan oleh ketidakstabilan angin liar yang berhembus. Ketidakstabilan perputaran ini menyebabkan fluktuasi daya yang dikirimkan ke sistem. Bagaimana cara untuk mengatasi fluktuatif daya yang dikirimkan dari sumber ke sistem?

1.3 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang ada maka tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa peningkatan profil tegangan dengan menggunakan *STATCOM* pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.

1.4 Batasan Masalah

Dalam pembahasan masalah ini ada asumsi yang merupakan batasan masalah agar tidak meluas yaitu:

1. Sistem yang akan diteliti dalam skripsi ini adalah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Nusa Penida.
2. Untuk melihat performa sistem dalam penelitian ini menggunakan software *PSCAD*
3. Indikator akhir dari analisa sistem ini adalah profil tegangan.

1.5 Metodologi penelitian

Metode yang digunakan pada penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

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-angka di Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Nusa Penida
 - Data Kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini single line diagram.
3. Menganalisa data-data yang telah dikumpulkan lalu dibandingkan profil tegangan yang terjadi sebelum dan sesudah pemasangan *STATCOM*.
4. kesimpulan

1.6. Sistematika Pembahasan

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II DASAR TEORI

Pengertian Kualitas daya, penjelasan teori *STATCOM* serta pengaruh pemasangan pada sistem jaringan listrik.

BAB III DATA PARAMETER DAN SOLUSI PERBAIKAN

Bab ini berisi data parameter, pemodelan *STATCOM*, dan metode yang digunakan..

BAB IV ANALISA SISTEM DAN SIMULASI

Pada bab ini berisi data dan hasil perbandingan simulasi *PSCAD* sebelum dan sesudah pemasangan *STATCOM*

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran

BAB II

TEORI DASAR

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, yang di beri nama Win Power Sistem ini memanfaatkan angin melalui kincir, untuk menghasilkan listrik. Alat ini sangat cocok sekali di gunakan masyarakat yang tinggal di pulau-pulau kecil, yang tidak terangkau oleh listrik atau energy lainnya.

Turbin angin berputar menghasilkan daya listrik berdasarkan besarnya kecepatan angin (N rpm) yang memutar sudu-sudu turbin. Sudu-sudu turbin memutar generator yang memakai generator asinkron sehingga menghasilkan arus listrik sesuai dengan prinsip hukum Faraday. Ketika rotor yang mengandung magnet di putar oleh sudu-sudu turbin maka terbentuklah medan magnet yang berputar. Konduktor yang diam yang terdapat distator merasakan flux magnetic yang di hasilkan rotor dan sesuai dengan hokum Faraday maka mengalirlah arus pada konduktor tersebut. Karena kutub-kutub magnetic di rotor dirancang berpasangan utara dan selatan secara bergantian sesuai dengan jumlah kutub (P) maka arus yang mengalir pada stator adalah arus bolak-balik (AC). Arus yang di hasilkan di stator memiliki frekuensi (F) yang sebanding dengan jumlah kutub rotor dan besarnya kecepatan putar rotor.

$$f = p.n$$

Dengan :

f = frekuensi (Hz)

P = jumlah kutub

N = putaran (rpm)

2.2 Energi Angin

angin adalah udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh

perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari. Karena bergerak angin memiliki energi kinetik. Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Oleh karena itu, kincir atau turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

2.2.1 Daya Energi Angin

Energi yang dimiliki oleh angin dapat diperoleh dari persamaan:

$$W = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Dimana: W = Energi angin (Watt)

ρ = Kerapatan udara (Kg/m^3)

A = Area penangkapan angin (m^2)

V = Kecepatan angin (m/s)

Persamaan di atas merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada turbin yang ideal, dimana dianggap energi angin dapat diekstrak seluruhnya menjadi energi listrik. Namun kenyataannya tidak seperti itu. Jadi terdapat faktor efisiensi dari mekanik turbin angin dan efisiensi dari generator sendiri. Sehingga daya yang dapat diekstrak menjadi energi angin dapat diketahui dari persamaan berikut:

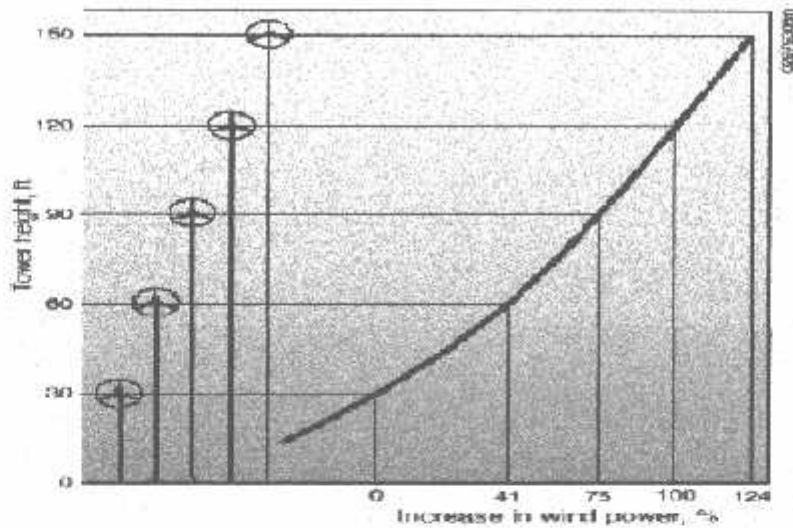
$$W_{wi} = \eta_{wi} \frac{1}{2} \rho A V^3$$

2.2.2 Kecepatan angin.

Hal yang biasanya dijadikan patokan untuk mengetahui potensi angin adalah kecepatannya. Biasanya yang menjadi masalah adalah kestabilan kecepatan angin. Sebagaimana diketahui, kecepatan angin akan berfluktuasi terhadap waktu dan tempat.

Untuk udara yang bergerak terlalu dekat dengan permukaan tanah, kecepatan angin yang diperoleh akan kecil sehingga daya yang dihasilkan sangat

sedikit. Semakin tinggi akan semakin baik. Pada keadaan ideal, untuk memperoleh kecepatan angin di kisaran 5-7 m/s, umumnya diperlukan ketinggian 5-12 m.



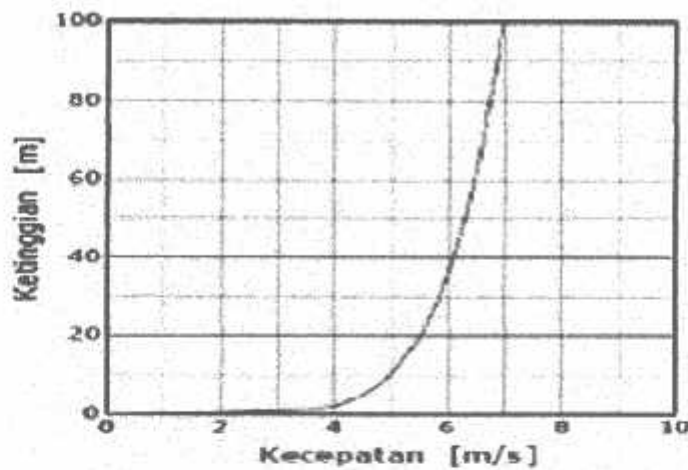
Gambar 2.1 Hubungan kecepatan angin terhadap ketinggian

Faktor lain yang perlu diperhatikan untuk turbin angin konvensional adalah desain baling-baling. Untuk baling-baling yang besar (misalnya dengan diameter 20 m), kecepatan angin pada ujung baling-baling bagian atas kira-kira 1,2 kali dari kecepatan angin ujung baling-baling bagian bawah. Artinya, ujung baling-baling pada saat di atas akan terkena gaya dorong yang lebih besar daripada pada saat di bawah. Hal ini perlu diperhatikan pada saat mendesain kekuatan baling-baling dan tiang (menara) khususnya pada turbin angin yang besar. Jika kecepatan angin di baling-baling atas dan bawah berbeda secara signifikan, maka yang perlu diperhitungkan selanjutnya adalah pada kecepatan angin berapa turbin angin dapat menghasilkan daya optimal.

2.2.3 Profil Geseran Angin (Wind Shear Profile)

Angin seperti fluida yang lain pada umumnya mempunyai profil geseran atau profil kecepatan ketika mengalir melewati benda padat, misalnya permukaan bumi. Pada tepat di permukaan bumi, kecepatan relatif angin terhadap permukaan bumi sama dengan nol. Kemudian kecepatan ini menjadi semakin tinggi sebanding ketinggian dari permukaan bumi. Ada dua jenis profil geseran angin

yang biasa digunakan untuk menghitung energi, yaitu profil geseran angin eksponensial (exponential wind shear profile) dan profil geseran angin kekasaran permukaan (surface roughness wind shear stress).



Gambar 2.2 Profil geseran fluida

Gambar 2.2 menunjukkan profil geseran fluida eksponensial yang diungkapkan dengan rumus (Himran Syukri, 2006) berikut:

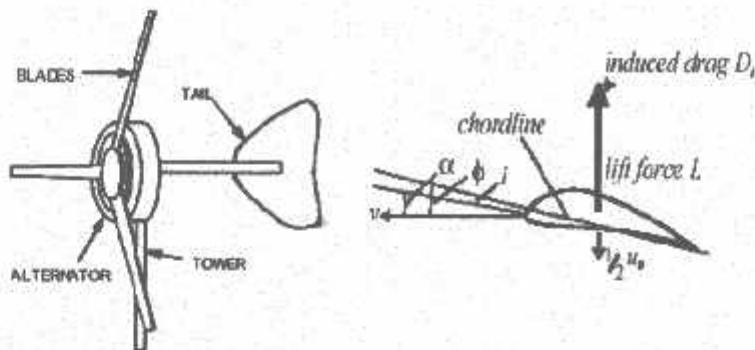
$$V = V_{ref} \frac{h^\alpha}{h_{ref}^\alpha}$$

Di mana, v adalah kecepatan pada ketinggian h , v_{ref} dan h_{ref} masing-masing adalah kecepatan dan ketinggian di mana pengukuran dilakukan. Profil ini tergantung pada kekasaran permukaan. Untuk fluida secara umum α mempunyai nilai $1/7$. Profil angin pada daerah yang memiliki banyak pepohonan seperti perkebunan atau hutan, nilai α dapat mencapai 0.3, sedangkan untuk laut atau daerah-daerah yang terbuka, α mempunyai nilai 0.1.

2.3 Kincir Angin

Turbin angin atau dalam bahasa sederhana kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak diatas permukaan bumi. Prinsip dasar kincir angin adalah mengkonversi tenaga mekanik dari putaran kincir menjadi energi listrik dengan induksi magnetik. Putaran kincir dapat terjadi dengan efektif dengan mengaplikasikan dasar teori aerodinamika pada desain

batang kincir (blade). Ketersediaan angin dengan kecepatan yang memadai menjadi faktor utama dalam implementasi teknologi kincir angin.



Gambar 2.3 Prinsip Dasar Kincir Angin

Turbin angin dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan arah sumbu:

- Horizontal

Turbin angin dengan sumbu horizontal mempunyai sudu yang berputar dalam bidang vertikal seperti halnya propeler pesawat terbang. Turbin angin biasanya mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus di mana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi di depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.

- Vertikal

Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama seperti halnya kelompok horizontal. Namun, sudunya berputar dalam bidang yang paralel dengan tanah

2.4 Efisiensi Rotor

Efisiensi rotor ditentukan oleh jenis turbin dan kesempurnaan teknologi aerodinamik yang digunakan. Rotor dengan soliditas tinggi mempunyai efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan rotor yang mempunyai soliditas rendah.

Menurut teori batasan efisiensi turbin, bila sejumlah aliran massa (angin) dilewatkan pada cakram penghalang, maka aliran massa tersebut akan membelok membentuk garis aliran (streamline). Dengan bentuk disain cakram tertentu (luas penampang atas lebih kecil daripada luas penampang bawah), akan terjadi perbedaan kecepatan dan perbedaan tekanan udara di antara sisi atas dan sisi bawah cakram. Hal ini terjadi karena kesetimbangan debit aliran massa (asas kontinuitas), sehingga pada permukaan cakram terjadi gaya hambat (drag, sejajar permukaan) dan gaya angkat (lift, tegak lurus permukaan). Perbandingan lift terhadap drag (L/D ratio) merupakan kriteria penting dalam mendisain blade rotor. Kecepatan pola aliran (streamwise) adalah :

$$V_s = V_0 / a$$

Di mana V_0 adalah kecepatan datang angin dan a adalah faktor induksi aliran aksial. Selanjutnya untuk mencari perbandingan kecepatan angin datang pada kincir di bagian atas dan bawah, digunakan persamaan Bernoulli :

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{konstan}$$

2.5 Daya, Torsi, dan Kecepatan

Suatu rotor kincir dapat mengekstraksi daya dari angin karena rotor tersebut menurunkan kecepatan angin tidak terlalu banyak maupun tidak terlalu rendah. Suatu rotor yang diam, tidak menghasilkan daya sama sekali demikian pula rotor tersebut berputar sangat cepat, udara diblok secara sempurna oleh rotor (rotor bersifat sebagai piringan pejal). Dalam hal ini tidak ada daya yang dihasilkan oleh kincir. Diantara kedua harga ekstrim ini terjadi putaran optimum dimana daya yang diekstraksi adalah maksimum.

$$P = Q \cdot \omega$$

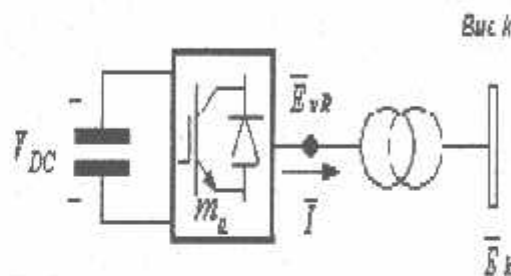
Dimana: Q = Torsi

ω = Kecepatan angular (rad/s)

P = Daya (Watt)

2.6 STATCOM (Static Synchronous Compensator)

STATCOM adalah alat untuk mengkompensasi daya reaktif yang dihubungkan secara paralel dan memiliki kemampuan untuk membangkitkan dan atau menyerap daya reaktif dan keluarannya dapat bervariasi untuk mengontrol spesifikasi parameter dari sistem daya listrik. STATCOM pada umumnya merupakan sebuah saklar solid-state yang mempunyai kemampuan untuk membangkitkan atau menyerap daya nyata atau reaktif. STATCOM terdiri dari beberapa bagian yaitu VSC (Voltage Source Converter), menghasilkan tegangan ac tiga phase. Tegangan dc disediakan oleh kapasitor penyimpan energi.



Gambar 2.4 Struktur dari Statcom

STATCOM dapat meningkatkan kemampuan sistem tenaga pada beberapa bagian yaitu:

1. Kontrol tegangan dinamik pada sistem distribusi dan transmisi
2. Meredam osilasi daya pada sistem transmisi daya
3. Stabilitas transient
4. Kontrol kedip tegangan

Jadi pengaruh dari statcom adalah untuk mengurangi aliran daya reaktif di dalam jaringan sehingga daya reaktif yang berasal dari sistem menjadi $Q_2 \text{ (total)} = Q_1 \text{ (beban)} - Q_{\text{statcom}}$.

Q_{statcom} adalah daya reaktif yang dibangkitkan oleh statcom. keuntungan:

1. Arus I berkurang dan karenanya kerugian $I^2 R$ berkurang

$$I = \sqrt{P^2 + (Q_{\text{beban}} - Q_{\text{statcom}})^2} / V$$

2. % kenaikan tegangan

$$\% \text{ kenaikan tegangan} = \frac{Q_{\text{statcom}} X}{10V^2}$$

$$Q_{\text{statcom}} = \text{kVAR}$$

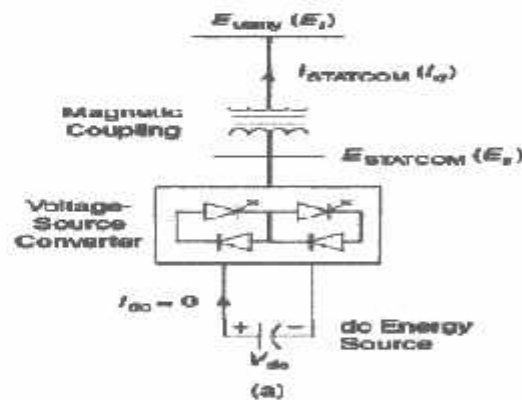
X = Reaktansi Jaringan (ohm)

V = Tegangan Nominal

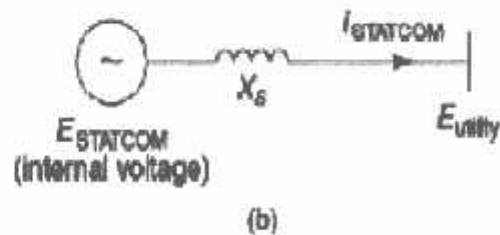
3. Karena arus berkurang untuk suatu daya (Kw), maka jaringan maupun trafo-trafo distribusi agak berkurang beban Kva-nya. Jadi dengan demikian perbaikan tegangan secara tidak langsung dapat meningkatkan kemampuan suplai permintaan daya yang lebih tinggi.

2.7 Prinsip Kerja STATCOM

STATCOM mengontrol sumber daya reaktif. STATCOM di pasang dengan maksud untuk membangkitkan dan menyerap daya reaktif yang artinya proses secara elektronika dari gelombang arus dan tegangan pada VSC (Voltage Source Converter). Diagram single line STATCOM di tunjukan pada gambar 2.5 di mana VSC dihubungkan dengan bus utility. Pada gambar 2.6 STATCOM diletakan pada pengatur sumber tegangan sebelum reaktansi.

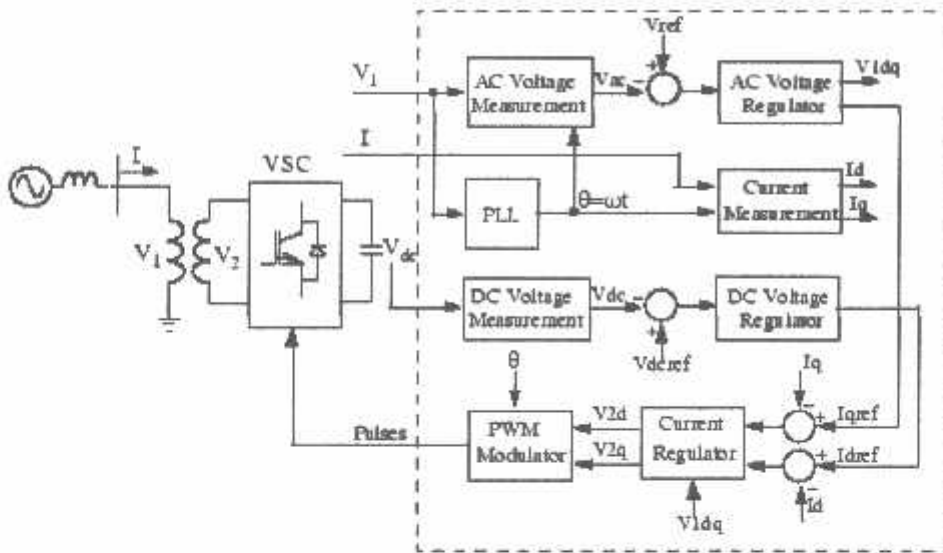


Gambar 2.5 rangkaian daya



Gambar 2.6 rangkaian ekuivalen

Grafik perubahan daya reaktif diantara konverter dan sistem ac yang dapat di kontrol dengan amplitudo yang bervariasi dari keluaran tegangan tiga fasa, E_s , pada konverter, dapat di lihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Diagram garis dari STATCOM dan Diagram Blok Sistem Kontrolnya

Sistem kontrol dari STATCOM terdiri dari Phase-Locked Loop (PLL) yang disinkronkan dengan komponen urutan positif dari tegangan primer tiga fasa V_1 . Keluaran dari PLL (sudut θ) digunakan untuk menghitung komponen direct-axis dan quadrature axis dari arus tegangan ac tiga fasa (dilambangkan sebagai V_d , V_q atau I_d , I_q pada diagram). Sistem pengukuran mengukur komponen d dan q dari arus dan tegangan urutan positif ac untuk di kontrol sebaik tegangan dc V_{dc} . Keluaran loop regulasi terdiri dari regulator tegangan AC dan regulator tegangan DC. Keluaran dari regulator tegangan ac adalah arus referensi I_{qref} untuk regulator arus (I_q =arus sefase dengan tegangan yang mengontrol aliran daya reaktif). Keluaran dari regulator tegangan DC adalah arus referensi I_{dref} untuk regulator arus (I_d = arus sefase dengan tegangan yang mengontrol aliran daya aktif).

Masukan loop regulasi arus terdiri dari regulator arus. Regulator arus mengontrol magnitude dan fase dari tegangan yang di bangkitkan oleh PWM konverter (V_{2d} , V_{2q}) dari arus referensi I_{dref} dan I_{qref} yang dihasilkan oleh regulator tegangan DC dan regulator tegangan AC (dalam model kontrol

tegangan). Regulator arus dinilai oleh regulator tipe feed forward yang memprediksi keluaran tegangan V_2 (V_{2d} , V_{2q}) dari pengukuran V_1 (V_{1d} , V_{1q}) dan transformer leakage reactance.

2.8 Sistem Daya Listrik

Beberapa negara termasuk Indonesia menggunakan frekuensi listrik standar sebesar 50 Hz, dengan toleransi 0,6 Hz ($49,4 \pm 50,6$ Hz). Terdapat standar kualitas yang berhubungan dengan daya, antara lain:

a. Daya aktif

Daya aktif adalah jumlah daya yang terpakai untuk melakukan energi yang sebenarnya. Daya yang diserap oleh beban sama dengan jatuh tegangan (voltage drop) pada beban tersebut dikalikan dengan arus yang mengalir melewati beban. Rumus daya listrik secara umum dinyatakan dalam persamaan:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta$$

dimana, P = daya listrik (watt)

V = tegangan kerja rangkaian (volt)

I = arus yang mengalir (ampere)

θ = beda fasa antara tegangan dan arus (dalam derajat)

b. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah suatu daya yang biasanya digunakan elemen reaktif seperti induktor dan kapasitor. Daya ini merupakan daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet. Umumnya daya reaktif dilambangkan dengan notasi Q dan dinyatakan dengan persamaan:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \theta$$

dimana, Q = daya reaktif (VAR)

c. Daya semu

Daya semu (apparent power) adalah daya yang diproduksi oleh perusahaan sumber listrik untuk didistribusikan ke konsumen, yaitu hasil perkalian antara harga rms (root mean square) dari tegangan dan arus dalam suatu jaringan.

Nilai rms merupakan nilai efektif dalam suatu pengukuran. Daya nyata (S) dinyatakan melalui persamaan:

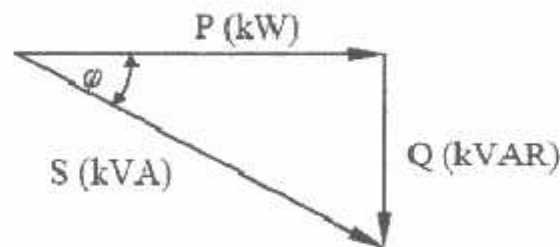
$$S = V \cdot I$$

dimana, S = daya semu (VA)

d. Power Factor

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

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya NYata (kW)}}{\text{Daya Semu (kVA)}}$$



Gambar 2.8. Segitiga Daya

2.9 Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI)

2.9.1 Umum

Kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi. Disamping banyak di perlukan 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 moderen. Misalnya, kontrol otomatis sangat di perlukan di dalam industri seperti pengontrolan tekanan, suhu, kelebihan viskositas, dan arus dalam industri proses.

2.9.2 Prinsip-prinsip Pengendalian Proses

Dalam pengendali proses, operator menetapkan empat langkah sebagai berikut: *Mengukur, Membandingkan, Menghitung dan Mengoreksi*. keempat langkah yang di lakukan operator itu, seluruhnya dapat di kerakan oleh instrumentasi. Manusia kemudian samasekali tidak menentukan keempat langkah

tadi. Operator hanya perlu menentukan besarnya *set point*, dan semuanya akan di kerjakan secara otomatis oleh instrumen. Sistem pengendali semacam inilah yang di sebut sistem pengendali otomatis (*automayic control sistem*). Keempat tahap pengendaliannya, sepenuhnya di lakukan oleh instrumentasi. Mata rantai pengendaliannya kemudian di sebut mata rantai tertutup, dan sistemnya juga disebut sistem pengendalian tertutup atau *sistem closed loop*.

2.9.3 Prinsip Kerja Pengendali

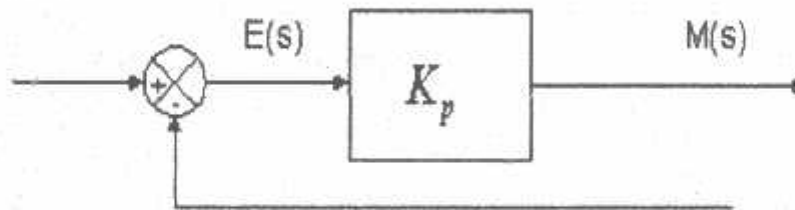
Ada tiga jenis pengendali kontinyu, yaitu pengendali proposional di singkat P, pengendali integral di singkat I, dan pengendali diferensial di singkat D. Karena kelebihan dan pengurangan ketiga pengendali itu, mereka seringkali di pakai dalam bentuk kombinasi, yaitu P+I disingkat PI, P+D di singkat PD,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

Pembandingan itu sendiri di lakukan dengan mengurangi besarnya *set point* dengan besaran *measurement variabel*, yang hasilnya adalah besaran yang di sebut *error*. Karena *set point* bisa lebih besar atau lebih kecil dari *measurement variabel*, nilai *error* bisa positif juga bisa negatif. Jadi *error* adalah input unit kontrol dan *manipulated variabel* di hitung berdasarkan *error* dan *transfer function* unit kontrol. Bentuk *transfer function* dari unit kontrol terhitung pada “mode” yang ada di kontroler.

2.9.4 Pengendali Proporsional (Proporsional Controller)

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

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding atau proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat di katakan bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukan. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung merubah keluarannya sebesar konstanta penggalinya. Gambar 3.12 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran *setting*, *besaran actual*, dengan besaran kontroler proporsional. Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya. Selisih ini mempengaruhi kontroler, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pancapain harga *setting*) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki dua parameter, yaitu pita proporsional (proporsional band) dan konstanta proporsional.

Hubungan antara pita proporsional (PB) dengan konstanpa proporsional (K_p) ditunukan dengan cara 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 3.12 elas 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.

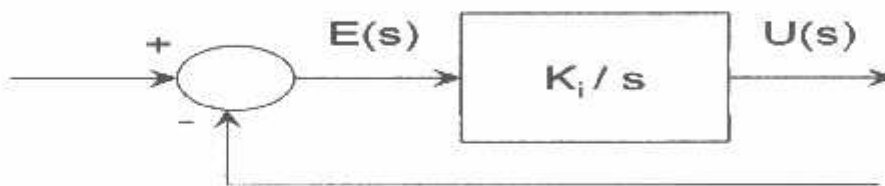
Contoh pengendali integral proporsional yang mudah di temui dalam kehidupan sehari-hari adalah pengisian tangki penampung air di kloset. Hal yang perlu di perhatikan pada contoh ini adalah bahwa kontrol unit di contoh bekerja secara proporsional. Artinya, koreksi dalam hal ini buka tutupnya *control valve* akan selalu sebanding dengan ketinggian level. *Set point* dalam hal ini adalah sama dengan ketinggian level maksimum.

2.9.5 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 tidak ada *input* lagi. Sifat unit inilah yang dimiliki oleh pengendali integral. Sayangnya, kemanapun pengendali integral menghilangkan *offset* tidak disertai kemampuan bereaksi secara cepat. Karena lambatnya reaksi tersebut maka pengendali integral biasanya di pakai dalam kombinasi dengan pengendali proporsional. Kedua pengendali tersebut di pasang secara paralel sehingga kelebihan kedua pengendali dapat di manfaatkan secara serempak. Kalau di teliti dengan sesama, *offset* dapat terjadi di sistem pengendali proporsional, karena pengendali proporsional selalu membutuhkan *error* (dalam hal ini *input* ke unit kontrol) untuk menghasilkan suatu *output*. kalau tidak ada *error output* yang keluar dari pengendali proporsional hanyalah bias yang biasanya di stel 50%.

Jadi untuk menghasilkan *offset* di butuhkan sebuah pengendali lain, yang dapat menghasilkan *output* walaupun padanya tidak di berikan *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, di singkat I.

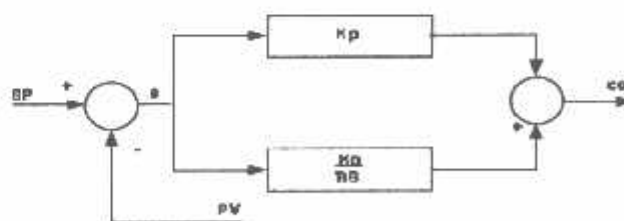
Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah *plant* tidak memiliki unsur *integrator* ($1/s$), kontroler proporsional tidak akan menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantap nol. Dengan kontroler integral, respon sistem dapat di perbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol. Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat di pengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Gambar 2.10 menunjukkan blok diagram antara kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.



Gambar 2.10 Blok Diagram Kontroler Integral

2.9.6 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 di pasang paralel dengan pengendali proporsional seperti gambar 3.11 gabungan kedua pengendali tersebut lazim disebut dengan pengendali PI atau PI kontroler, dan pengendali di katakan punya dua mode, yaitu P dan I.



Gambar 2.11 Diagram Kotak Pengendali PI

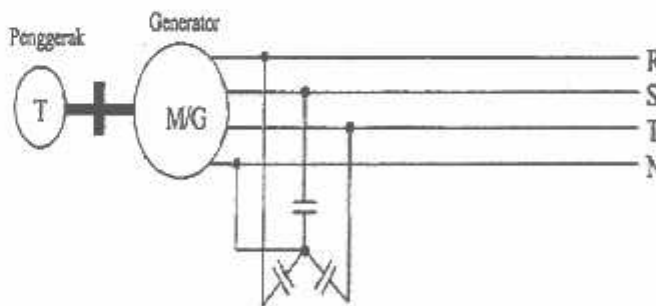
2.10 Generator Induksi

Turbin angin yang terhubung oleh generator asinkron menghasilkan daya “AC Liar” (tegangan dan frekuensi yang bervariasi) akibat kecepatan angin yang berubah-ubah. Generator tersebut di rancang asinkron agar di peroleh efisiensi optimal karena beroperasi pada kecepatan angin yang berubah-ubah. Selain itu, generator induksi lebih ekonomis, mudah perawatannya, dan dapat di paralelkan pada sistem tenaga yang cukup besar.

2.10.1 Generator Induksi Eksitasi Sendiri

Generator induksi memerlukan daya reaktif yang di suplay secara eksternal untuk membangkitkan medan magnet yang penting untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Oleh karena itu sumber reaktif harus terhubung permanen dengan lilitan stator untuk mengatur tegangan output. Pada sistem yang interkoneksi, grid sinkron akan mensuplay daya reaktif. Pada system yang berdiri sendiri, daya reaktif di suplai oleh bebannya sendiri atau oleh *capasitor* bank. Ketika sebuah kapasitor terhubung dengan generator induksi maka ini disebut sebagai *self-excited induction generator* (SEIG).

Ketika poros di putar, maka gerakan akan beraksi dengan medan magnetsisa dan menginduksikan tegangan pada kapasitor eksternal, selanjutnya timbul arus pada rangkaian paralel yang memperkuat medan magnet dan system sehingga eksistensinya naik.



Gambar 2.12 Rangkaian Generator Induksi

kemiringan 3 – 8%. Sedangkan Pulau Ceningan mempunyai kemiringan lereng bervariasi antara 8 – 15% dengan kondisi tanah bergelombang dan berbukit.

Mata pencarian penduduk adalah pertanian dan sector perikanan merupakan mata pencarian utama oleh 6,68% terbesar pada desa-desa pesisir yaitu Suana, Batununggul, Kutampi Kaler, Ped dan Toyapakeh. Di Pulau Lembongan 16,8% penduduk bergerak dibidang perikanan dan di pulau Ceningan 12,88% mengingat kondisi dan topografi daerah maka yang cocok di kembangkan adalah sector pertanian dan sector pariwisata.

3.2. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Kepulauan Nusa Penida – BALI

Sistem kelistrikan di Kepulauan Nusa Penida (Pulau Nusa Penida, Pulau Lembongan, Pulau Nusa Ceningan) tidak terinterkoneksi dengan Jawa-Bali (terisoalsi) menyebabkan daerah ini harus menyuplai listriknya sendiri.

Pada awalnya Nusa Penida hanya mengandalkan satu Pembangkit Listrik Tenaga Diesel berkapasitas 2,7 MW. Namun, melalui Program Listrik Pedesaan maka akhir tahun 2005 dioperasikan sebuah unit PLTB di Nusa penida kemudian di tambah lagi sebuah unit pada akhir tahun 2006 sehingga terdapat dua PLTB dengan kapasitas total 2x80kW. Kedua PLTB ini merupakan PLTB pertama di Indonesia yang terkoneksi ke *grid (on-grid)*.

Kedua pembangkit ini di bangun oleh Prolides Bali dan NTB-PLN Distribusi Bali dengan biaya sekitar 3,5 milyar per unit yang di biyai oleh APBN. PLTB di bangun di Puncak Mundi Desa Klumpu, sebuah Bukit Nusa Penida pada ketinggian ± 400m dpl. Turbin angin di letakan di atas tower pada ketinggian 30 m dari *ground level*. Kedua PLTB ini dikoncksikan dengan *grid* 20 kV sehingga beroperasi secara *hibrid* dengan PLTD, memikul beban Kepulauan Nusa Penida.

Setelah PLN selesai membangun keduanya, PLTB ini di serahkan ke pemerintah Kabupaten Klengkung sebagai *Owner* (pemilik) dan dioperasikan serta di pelihara oleh koperasi yang di bina oleh Departemen ESDM. Setelah adanya pembangkit tenaga bayu, PLN menadi hemat sekitar Rp 315 juta.

Penghematan ini berupa berkurangnya bahan bakar solar penggerak pembangkit tenaga diesel yang di butuhkan 6.300 liter per hari.

Pada tahun 2007 di lakukan pembangunan tuuh unit PLTB dimana tiga unit berkapasitas masing-masing 85 kW sementara empat unit lainnya berkapasitas 735 kW. Semua pembangkit dibangun di tempat yang sama yaitu bukit Mundi, Kecamatan Nusa Penida, kabupaten Klungkung, Bali.

3.2.1 Potensi Angin di Puncak Mundi

Pengukuran kecepatan dan arah angin di lakukan dengan menggunakan *hand anemometer analog*. Pengukuran di lakukan dari tanggal 20 Oktober – 2 November 2003 dengan pengamatan setiap satu jam. Analisa kecepatan angin dilakukan dengan memakai data-data tersebut sebagai data primer.

Tabel 3.1 kecepatan angin rata-rata di Desa Klumpu

Hari - ke	Kecepatan (m/s)
1	13,25
2	14,71
3	13,36
4	12,63
5	11,78
6	14,75
7	13,25
8	10,88
9	11,45
10	12,86
11	12,88
12	13,64
13	13,64
14	12,87

Kecepatan angin di Desa Klumpu – Nusa Penida adalah rata-rata 12,98 m/s dengan selang waktu perubahan yang sangat singkat dan sesaat, sangat jarang terjadi angin *calm* (angin tidak bertiup atau 0 m/s). Angin yang bertiup berasal dari laut lepas (angin global) tanpa ada pengaruh dari angin lokal tabel 3.1 memperlihatkan hasil pengukuran kecepatan angin rata-rata di Desa Klumpu.

3.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu WES (Wind Energy Solution)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu yang di bangun di Nusa Penida di produksi oleh sebuah perusahaan turbin angingin di Belanda yang bernama Wind Energy Solution (WES). Konversi tegangan yang di hasilkan turbin memakai pola AC/DC/AC sehingga memungkinkan PLTB untuk mengikuti pola tegangan *grid*. Turbin mulai bekerja pada kecepatan angin di atas 3 m/s dan mencapai kelayakan ekonomis pada kecepatan angin rata-rata 5 m/s. WES18 telah dilengkapi dengan kemudahan untuk dioperasikan secara *hybrid* dengan generator diesel. Turbin angin menghasilkan energy yang bersih dan murah, dan generator diesel menjamin ketersediaan daya pada saat tidak cukup angin untuk memutar turbin. Dengan umur ekonomis sekurang-kurangnya 20 tahun dengan kecepatan angin rata-rata 6.5 m/s.

Kombinasi antara generator diesel dan PLTB akan menghasilkan sistem *hybrid* dengan memanfaatkan energy angin secara maksimal. Ketika angin bertiup diatas ambang minimal maka energy angin diinversikan untuk melayani beban. Ketika angin bertiup di bawah kecepatan minimum maka generator diesel sepenuhnya memikul beban. Hasilnya adalah *grid* yang stabil dengan konsumsi BBM dan polusi udara yang rendah.

Besarnya kontribusi PLTB terhadap sistem di tentukan oleh tingkat penetrasi PLTB. Tingkat penetrasi PLTB dalah jumlah daya listrik yang dapat di suplai oleh turbin angin terhadap total daya yang dibangkitkan oleh sistem. Berdasarkan kecepatan angin rata-rata yang tersedia maka dapat di perhitungkan besarnya energi listrik yang di hasilkan oleh sebuah unit PLTB.

3.3 Data Pembangkit PLTD Kutampi dan Jungut Batu

Jumlah PLTD yang berada di Kutampi adalah delapan buah namun hanya enam pembangkit yang beroperasi. Berikut adalah spesifikasi masing-masing pembangkitnya:

1. PLTD Kutampi

a. PLTD 1

Merk mesin	: KOMATSU
Tipe	: SAA6D-190P800
No. seri	: 21898
Tahun operasi	: 2002
Daya terpasang (kW)	: 500
Daya mampu (kW)	: 350
Keterangan	: Baik

b. PLTD 2

Merk mesin	: KOMATSU
Tipe	: SAA12V-140-P-1150
No. Seri	: 13757
Tahun operasi	: 2004
Daya terpasang (kW)	: 720
Daya mampu (kW)	: 550
Keterangan	: Baik

c. PLTD 3

Merk mesin	: KOMATSU
Tipe	: SAA12V-140-P-1151
No. Seri	: 13767
Tahun operasi	: 2004
Daya terpasang (kW)	: 720
Daya mampu (kW)	: 550
Keterangan	: Baik

d. PLTD 4

Merk mesin	: VOLVO
Tipe	: TWD710G
No. Seri	: GH1101047104
Tahun operasi	: 1999

- Daya terpasang (kW) : 100
 Daya mampu (kW) : 60
 Keterangan : Baik
- e. PLTD 5
- Merk mesin : VOLVO
 Tipe : TWD710G
 No. Seri : GH1101047104
 Tahun operasi : 1999
 Daya terpasang (kW) : 100
 Daya mampu (kW) : 60
 Keterangan : Baik
- f. PLTD 6
- Merk mesin : MERCEDES
 Tipe : 8V1831A32
 No. Seri : 995839
 Tahun operasi : 2002
 Daya terpasang (kW) : 200
 Daya mampu (kW) : -
 Keterangan : Baik
- g. PLTD 7
- Merk mesin : DAF
 Tipe : DKZ160H
 No. Seri : H49680
 Tahun operasi : 2002
 Daya terpasang (kW) : 220
 Daya mampu (kW) : -
 Keterangan : Tidak beroperasi (metal jalan rusak)
- h. PLTD 8
- Merk mesin : DEUTZ
 Tipe : BF10L513
 No. Seri : 9106687
 Tahun operasi : 2000
-

Daya terpasang (kW)	: 200
Daya mampu (kW)	: 100
Keterangan	: Baik

2. PLTD Jungut Batu

a. PLTD 1

Merk mesin	: MERCEDES
Tipe	: 8V183TA132
No. Seri	: 995840
Daya terpasang (kW)	: 200
Daya mampu (kW)	: 140
Keterangan	: Baik

b. PLTD 2

Merk mesin	: DEUTZ
Tipe	: BF1015C
No. Seri	: 9113778
Daya terpasang (kW)	: 250
Daya mampu (kW)	: 150
Keterangan	: Baik

c. PLTD 3

Merk mesin	: KOMATSU
Tipe	: SAA6D-190P800
No. Seri	: 994333
Daya terpasang (kW)	: 250
Daya mampu (kW)	: 180
Keterangan	: Baik

3.4 Data Trafo Step-up

Trafo *Step-up* yang berada di Kutampi ada lima buah, antara lain:

- Trafo 1, 0.38/20 kV 630 kVA terhubung PLTD 1
 - Trafo 2, 0.38/20 kV 1000 kVA terhubung PLTD 2
 - Trafo 3, 0.38/20 kV 1000 kVA terhubung PLTD 3
 - Trafo 4, 0.38/20 kV 315 kVA terhubung PLTD 4 dan 6
-

- e. Trafo 5, 0.38/20 kV 400 kVA terhubung PLTD 5, 7, dan 8

Trafo *Step-up* yang berada di Jjungut Batu hanya ada satu yaitu 0.38/20 kV 1000 kVA terhubung ke PLTD 1, 2, dan 3.

3.5 Data Trafo Distribusi (Step-Down)

Trafo distribusi yang terpasang berjumlah 58 buah, dimana 15 buah terhubung Lambongan, 8 buah terhubung pada penyulang Karang Sari, dan sisanya terhubung pada penyulang Tinglad. Kapasitas trafonya berkisar antara 25-250 kVA dan perbandingan CT primer dan skundernya 20/0.38 kV.

3.6 Data Beban di Kepulauan Nusa Penida

PLTD Kutampi merupakan pembangkit utama pada sistem kelistrikan Nusa Penida. Total kebangkitan disini mencapai 2730 kW apabila di pasang dengan beban penuh tanpa mengalami kerusakan.

- a. Beban Puncak Siang

Untuk pada siang hari. Pembangkit yang dioperasikan antara lain: PLTD kutampi unit 2, 3, dan 8, serta PLTD Jungut Batu unit 1 dan 2. Jumlah beban yang di layani sekitar 1155 kW.

- b. Beban Puncak Malam

Pada malam hari, pembangkit yang dioperasikan antara lain: PLTD Kutampi unit 1, 2, 3, 4, 5, serta PLTD Jungut Batu unit 2. Jumlah beban yang di layani sekitar 1750 kW.

Terdapat tiga penyulang pada pembangkit Kutampi, yaitu:

1. Penyulang Lembongan

Penyulang Lembongan mensuplai daerah-daerah sebelah timur sampai PLTD Jungut Batu yang terletak di Pulau Nusa Lembongan. Bersama dengan PLTD Jungut Batu mensuplai sekitar 26 trafo distribusi yang terbesar sepanjang penyulang Lembongan. Penyulang ini mensuplai beban paling besar di bandingkan dengan penyulang yang lain karena Pulau Nusa Lembongan ini terdapat obyek pariwisata yang sangat berkembang sehingga terdapat banyak hotel-hotel dan daerah wisata yang banyak di kunjungi wisatawan.

Data beban puncak dalam Megawatt di tunjukan pada table 3.2 denagn panang saluran mencapai 28,870 m, sesuai dengan table 3,5.

Table 3.2

Beban Puncak Pada Penyulang Lembongan 20 kV

Beban	P (Megawatt)
Siang	0,540
Malam	0,626

2. Penyulang Karangsari

Penyulang Karangsari mensuplai sekitar delapan trafo distribusi yang tersebar di Nusa Penida sebelah barat. Dengan data beban puncak dalam Megawatt di tunjukan pada table 3.3 dengan panang saluran 58,375 m, sesuai dengan table 3.5 .

Table 3.3

Beban Puncak Pada Penyulang Karangsari 20 kV

Beban	P (Megawatt)
Siang	0,174
Malam	0,257

3. Penyulang Tanglad

Penyulang ini mensuplai sekitar 33 trafo distribusi yang terbesar di Nusa Penida sebelah sentral hingga selatan. Penyulang ini terhubung secara paralel antara PLTD dengan 9 unit PLI Bayu. Panang saluran pada penyulang ini mencapai 10,216 m, sesuai dengan table 3.5.

Table 3.3

Beban Puncak Pada Penyulang Tanglad 20 kV

Beban	P (Megawatt)
Siang	0,282
Malam	0,313

Table 3.5

Data Panjang Kabel berdasarkan jenis (dalam meter)

Penyulang	SKTM	AAAC				ACSR	AAAC/S	Total (meter)
	3X240 mm ²	35 mm ²	70 mm ²	95 mm ²	150 mm ²	150 mm ²	150 mm ²	
Lembongan	35	565	-	22466	5764	40	-	28870
Karangsari	2	-	316	43629	12118	45	2265	58375
Tanglad	30	1458	-	8378	-	-	350	10216

3.7 Data Pembangkit Tenaga Listrik Bayu di Nusa Penida

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu yang berada di Nusa Penida-Bali berjumlah sembilan unit, namun yang beroperasi hanya tujuh unit.

a. LPT Bayu 1

Merk : WES
 Tahun operasi : 2007
 Daya terpasang (kW) : 100
 Daya mampu (kW) : 80
 Keterangan : Baik

b. LPT Bayu 2

Merk : WES
 Tahun operasi : 2007
 Daya terpasang (kW) : 100
 Daya mampu (kW) : 80
 Keterangan : Baik

c. LPT Bayu 3

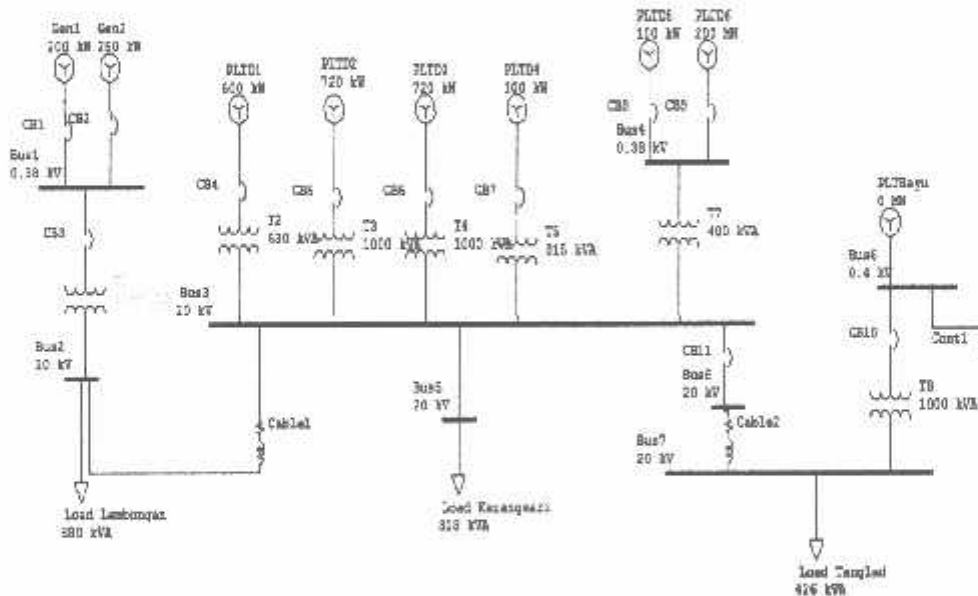
Merk : Indo Electric
 Tahun operasi : 2007
 Daya terpasang (kW) : 100
 Daya mampu (kW) : 85
 Keterangan : Baik

- d. LPT Bayu 4
- | | |
|---------------------|-----------------|
| Merk | : Indo Electric |
| Tahun operasi | : 2007 |
| Daya terpasang (kW) | : 100 |
| Daya mampu (kW) | : 85 |
| Keterangan | : Baik |
- e. LPT Bayu 5
- | | |
|---------------------|-----------------|
| Merk | : Indo Electric |
| Tahun operasi | : 2007 |
| Daya terpasang (kW) | : 100 |
| Daya mampu (kW) | : 85 |
| Keterangan | : Baik |
- f. LPT Bayu 6
- | | |
|---------------------|--------|
| Merk | : WES |
| Tahun operasi | : 2007 |
| Daya terpasang (kW) | : 100 |
| Daya mampu (kW) | : 80 |
| Keterangan | : Baik |
- g. LPT Bayu 7
- | | |
|---------------------|--------|
| Merk | : WES |
| Tahun operasi | : 2007 |
| Daya terpasang (kW) | : 100 |
| Daya mampu (kW) | : 80 |
| Keterangan | : Baik |
- h. LPT Bayu 8
- | | |
|---------------------|--------------------|
| Merk | : ALTO |
| Tahun operasi | : - |
| Daya terpasang (kW) | : 100 |
| Daya mampu (kW) | : - |
| Keterangan | : Belum beroperasi |
- i. LPT Bayu 9
- | | |
|------|-------|
| Merk | : WES |
|------|-------|
-

Tahun operasi	: -
Daya terpasang (kW)	: 100
Daya mampu (kW)	: -
Keterangan	: Belum beroperasi

3.8 Single Line Sistem Kelistrikan Kepulauan Nusa Penida

Untuk menstimulasi sistem dalam *software PSCAD Power Simulation* maka terlebih dahulu di gambarkan rangkaian distribusi tersebut di dalam lembar kerja pada *software* kemudian disimulasi sesuai dengan urutan langkah kerja dan menganalisa hasilnya. Berikut adalah gambar *single line* Kelistrikan Kepulauan Nusa Penida yang di gunakan sebagai penelitian dalam penggunaan SCV untuk meningkatkan kualitas tegangan



Gambar 3.2 Sistem distribusi 20 kV Kepulauan Nusa Penida

3.9 Software PSCAD/EMTDC 4.2 Simulation

PSCAD (*Power System 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, pengontrol dan

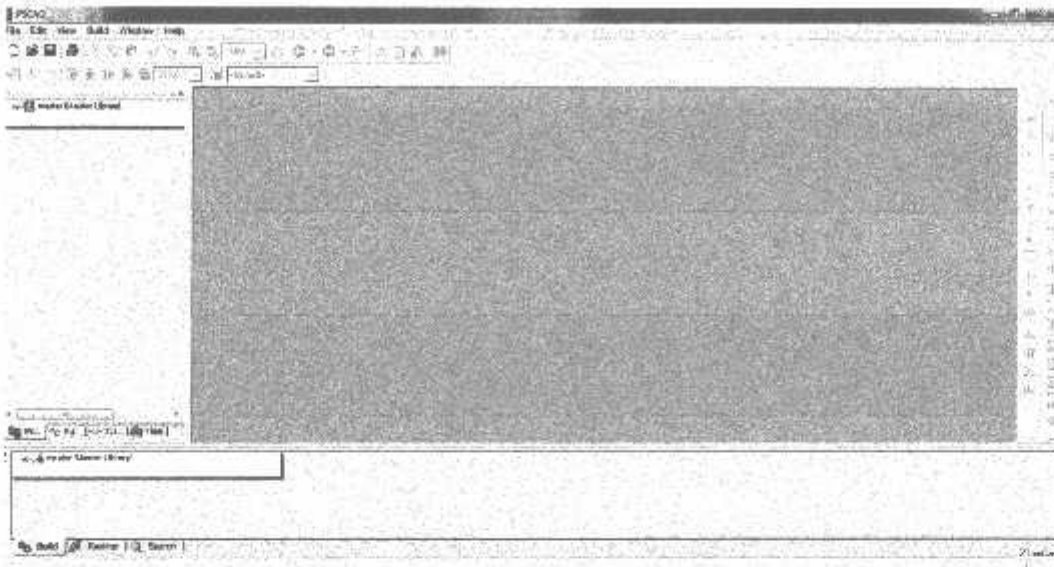
pengukuran juga tersedia, asi pengguna dapat mengubah parameter sistem, menalankan simulasi dan melihat hasil secara langsung.

Dibawah ini adalah model umum yang terdapat di dalam study sistem manggunakan PSCAD/EMTDC:

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

3.10 Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation

Tampilan Utama *PSCAD Power Simulation* adalah sebagai berikut:



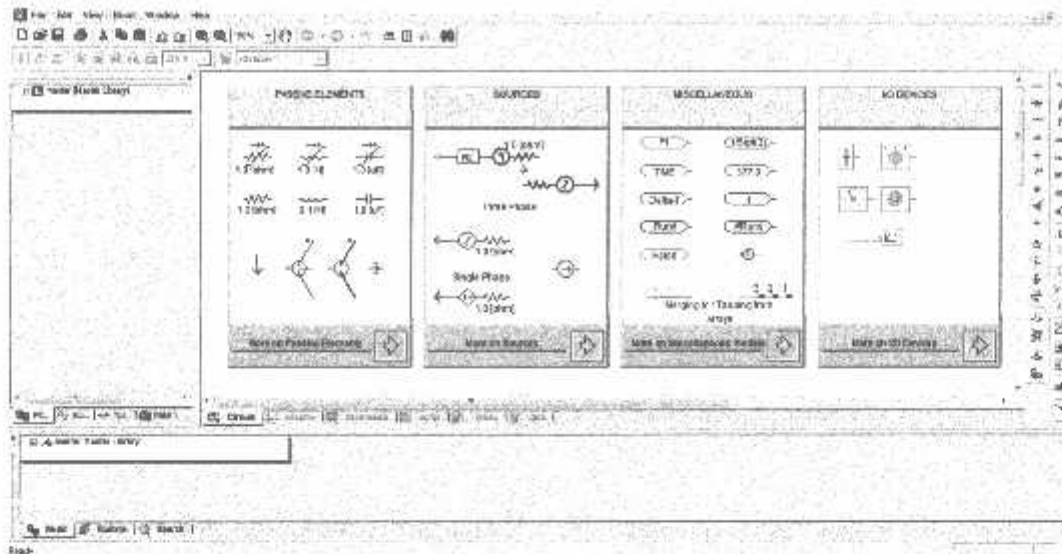
Gambar 3.3 Tampilan Utama *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

- Untuk memulai membuat *single line* baru maka kita klik: File > New > case. Setelah melakukan prosedur diatas secara *default PSCAD* akan memberi nama *file* baru yang kita buat dengan nama “noname”. Kemudian kita klik nama *filenya* maka akan muncul tampilan seperti gambar 3.4.



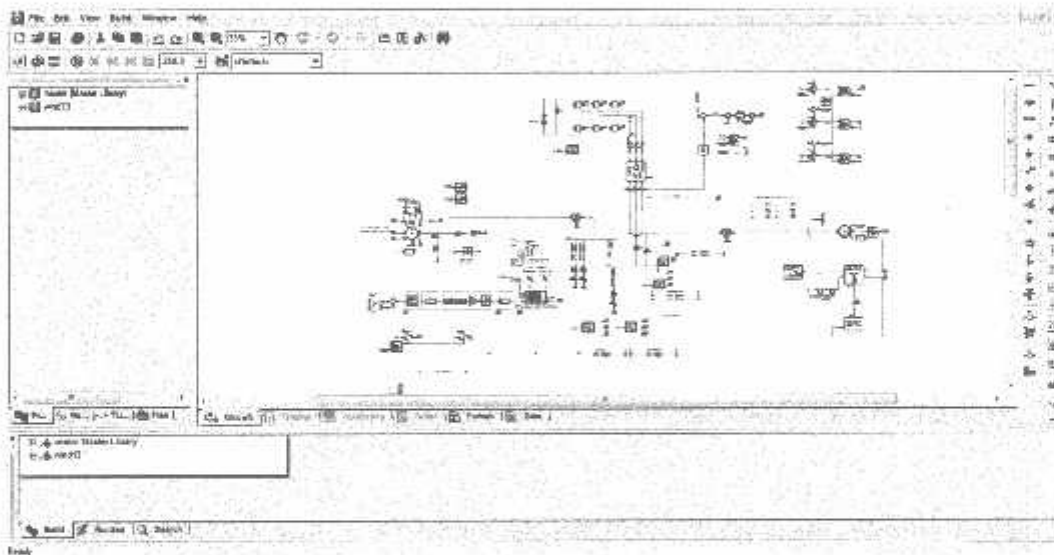
Gambar 3.4 Tampilan file yang baru kita buat dengan nama “noname”

- Semua komponen yang akan di gunakan dalam menggambar *single line* terdapat di dalam *Master Library* seperti pada tampilan di bawah ini. Untuk menggunakan *right klik on the component > copy* dan kemudian *paste* pada modul.



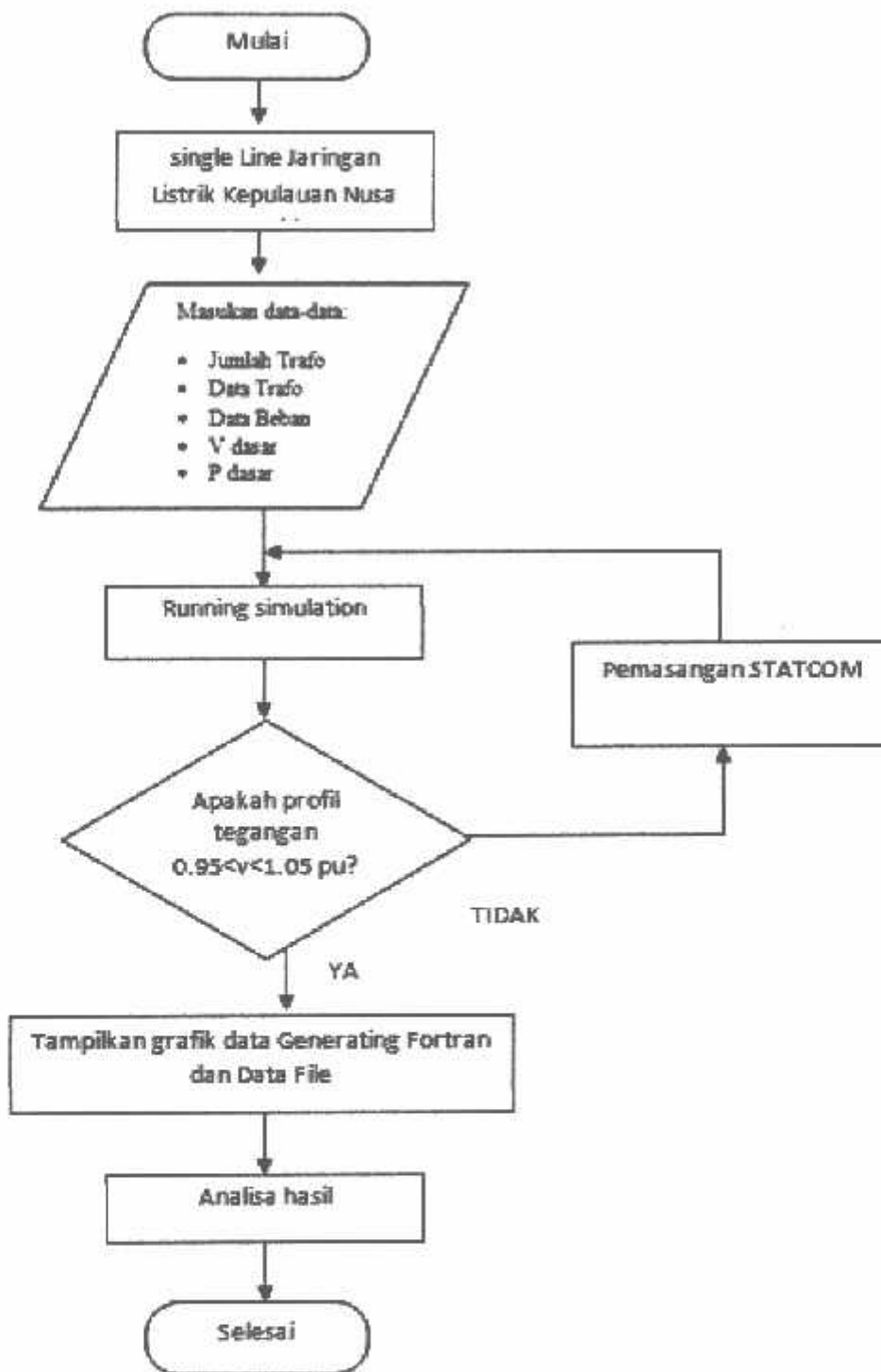
Gambar 3.5 Tampilan *Master Library*

- Setelah mendesain sistem seperti yang di butuhkan, maka dapat kita lihat tampilan single line dalam modul utama sebagai berikut.



Gambar 3.6 Tampilan *Single Line* Distribusi Tenaga Listrik Kepulauan Nusa Penida Dalam PSCAD

3.11 Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD



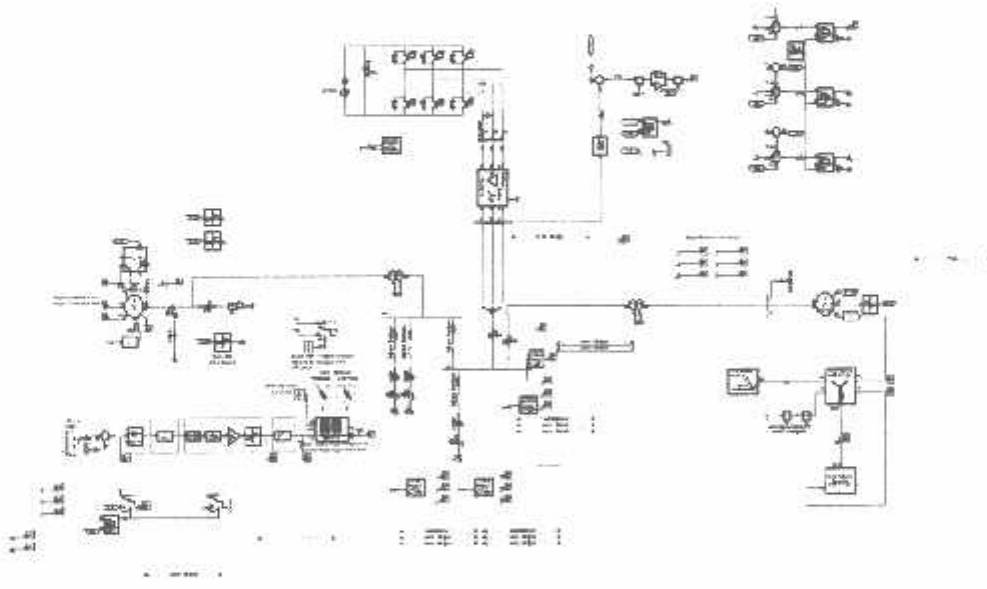
Gambar 3.7 Flowchart penyelesaian masalah

BAB IV

HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1 Single Line System Kelistrikan Kepulauan Nusa Penida

Pada simulasi akan di lakukan pengambilan data dengan perbandingan saat menggunakan STATCOM dengan dan tanpa menggunakan STATCOM. Setelah itu hasil keluaran tegangan akan di analisa dan dapat di lihat seberapa besar kemampuan STATCOM dalam mensuplai daya reaktif ke sistem. Untuk mensimulasikan sistem dalam software *PSCAD Power Simulation* maka terlebih dahulu digambarkan *single line* sistem Nusa Penida kemudian mensimulasikan sesuai dengan langkah kerja dan menganalisa hasilnya. Berikut *single line* sistem kelistrikan Kepulauan Nusa Penida yang di gambarkan menggunakan software *PSCAD/EMTDC Simulation*.



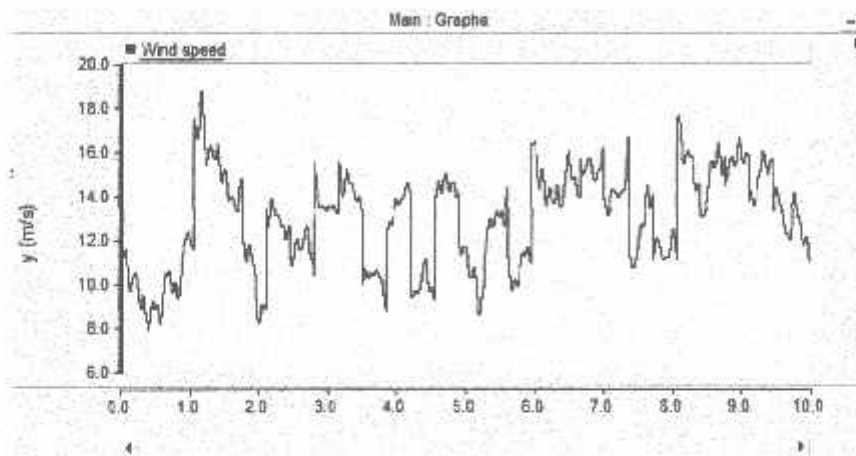
Gambar 4.1 Sistem Kelistrikan Kepulauan Nusa Penida Dalam Software *PSCAD*

4.2 Solusi Perbaikan Profil Tegangan *Wind Turbine*

Software *PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation* merupakan graphical user interface yang fleksibel dan powerfull. Dengan software ini secara skematik kita dapat mengkontruksi rangkaian, menjalankan simulasi, menganalisa hasil dan manajemen data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk

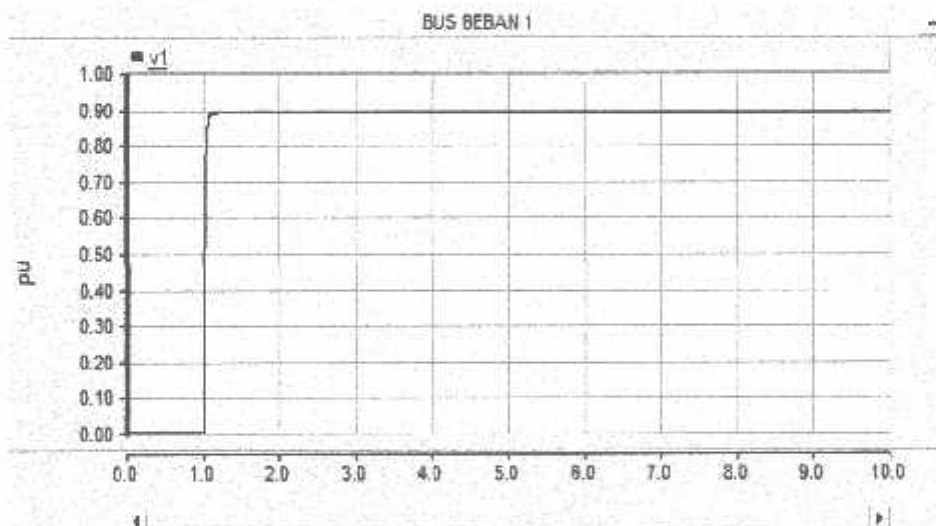
kontrol dan alat-alat ukur. Dengan demikian permasalahan yang ada pada *Wind Turbine* Kepulauan Nusa Penida dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan menggunakan *Software PSCAD*.

4.3 Hasil Simulasi Ketika Sebelum Pemasangan STATCOM



Gambar 4.2 Grafik Kecepatan Angin

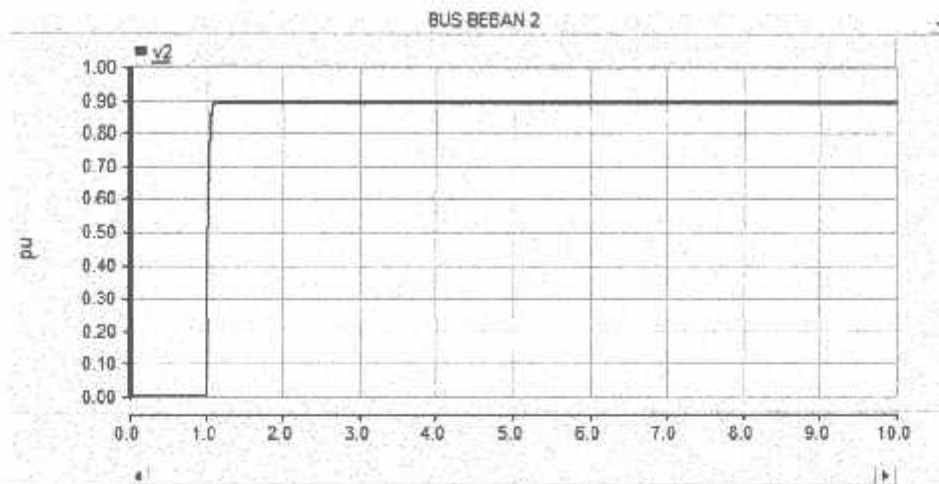
- BUS Penyulang Lembongan



Gambar 4.3 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Lembongan

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa tegangan pada penyulang Lembongan ketika sebelum di pasang STATCOM (PLTD bekerja bersamaan dengan PLTB) sebesar 0,88736 pu atau 17,74 kV.

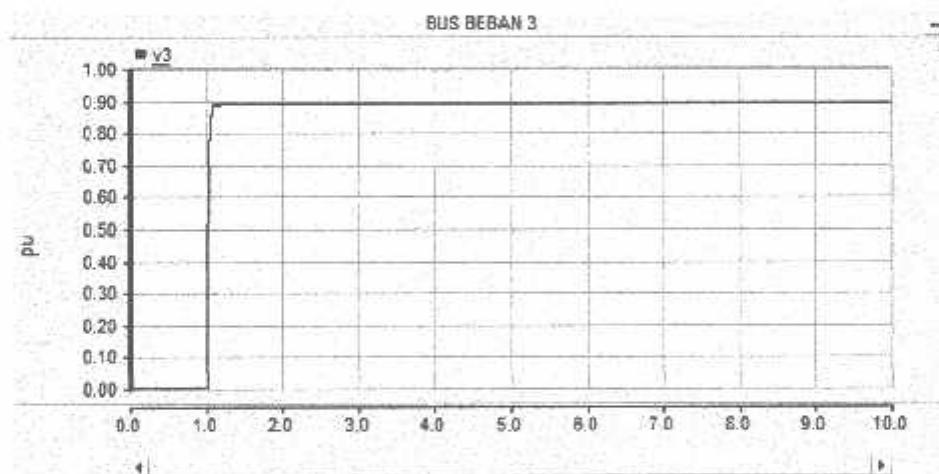
- BUS Penyulang Karangsari



Gambar 4.4 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Karangsari

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa tegangan pada penyulang Karangsari ketika sebelum di pasang STATCOM (PLTD bekerja bersamaan dengan PLTB) sebesar 0,89052 pu atau 17,81 kV.

- BUS Penyulang Tanglad



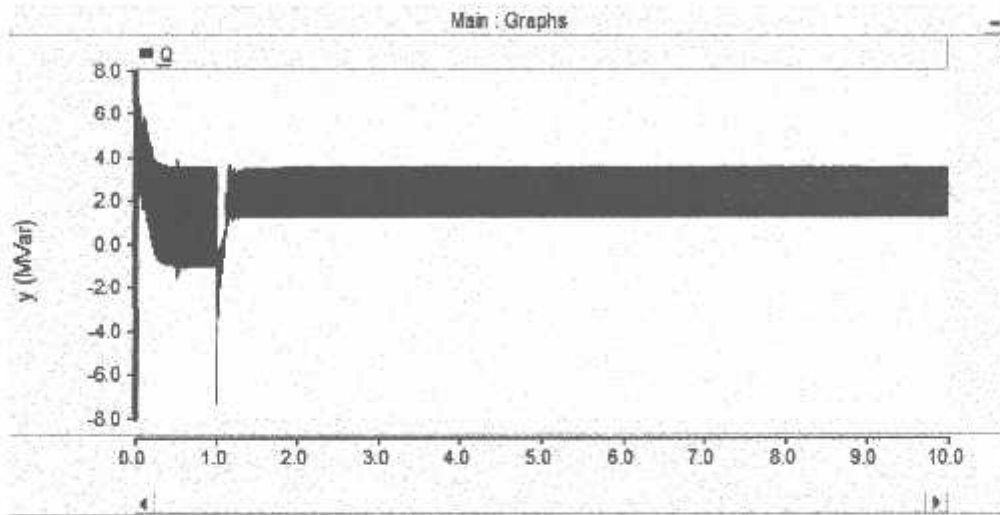
Gambar 4.5 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Tanglad

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa tegangan pada penyulang Tanglad ketika sebelum di pasang STATCOM (PLTD bekerja bersamaan dengan PLTB) sebesar 0,88734 pu atau 17,75 kV.

4.4 Hasil Simulasi Setelah Pemasangan STATCOM

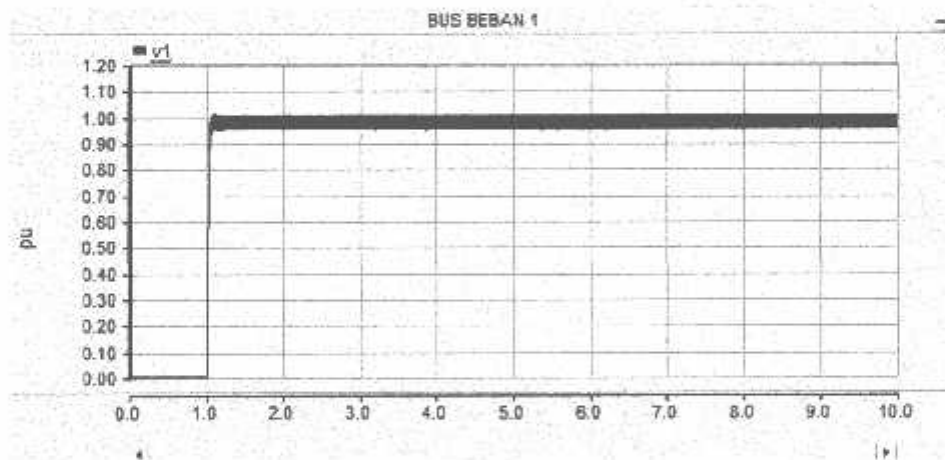
Saat PLTD dan PLTB bersama menyuplai tegangan, tegangan yang dihasilkan masih belum memenuhi standart PLN karena suplai daya reaktif dari

wind turbine yang fluaktif tidak dapat memenuhi kebutuhan beban. Untuk mengatasi permasalahan ini STATCOM akan dipasang pada bus penyulang tanglad, hal ini disebabkan karena sistem *hybrid* dikoneksikan pada penyulang Tanglad, sehingga daya reaktif dapat terpenuhi.



Gambar 4.6 Grafik Daya Reaktif pada *Wind Turbine*

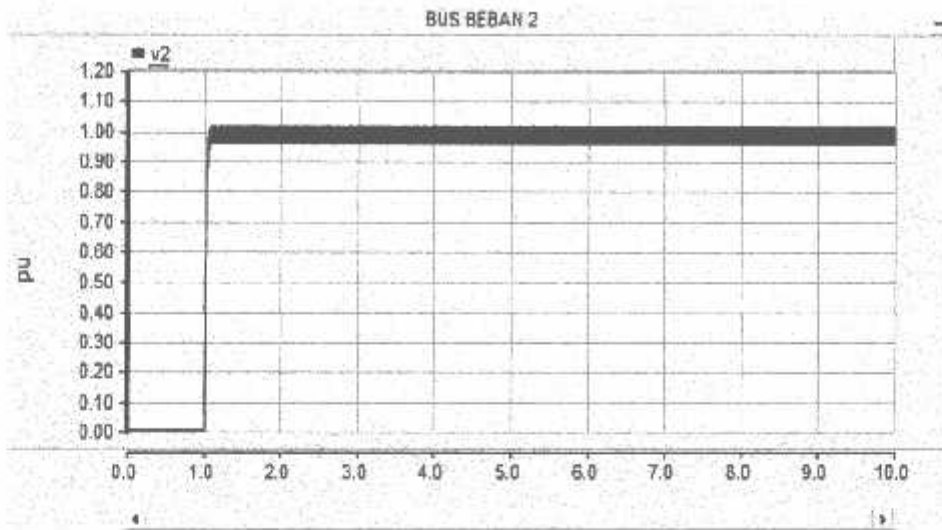
- BUS Penyulang Lembongan



Gambar 4.7 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Lembongan

Dari gambar 4.7 terlihat bahwa tegangan pada penyulang Lambongan setelah di pasang STATCOM mengalami peningkatan secara signifikan menjadi 0,96933 pu atau 19,39 kV sehingga penggunaan STATCOM dapat meningkatkan tegangan sesuai dengan standart tegangan yang ditetapkan oleh PLN.

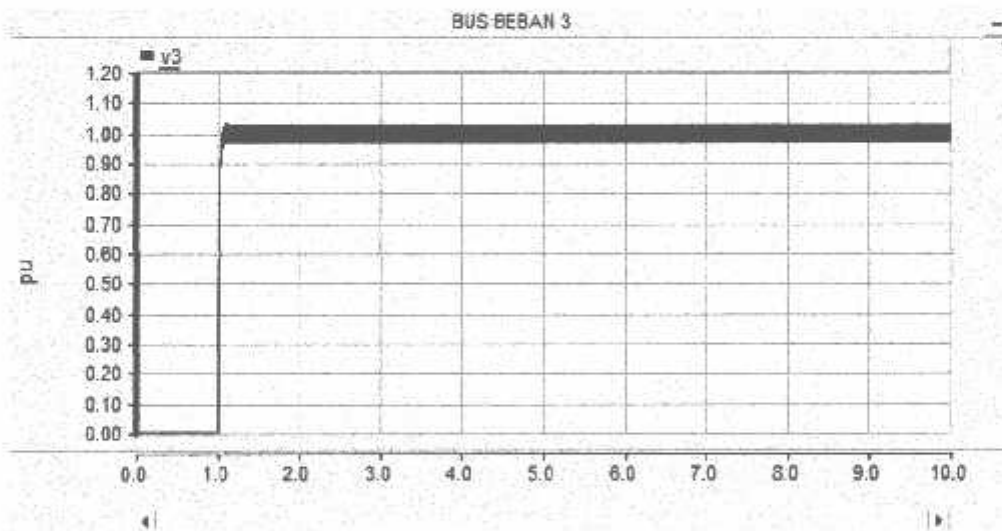
- BUS Penyulang Karang Sari



Gambar 4.8 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Karang Sari

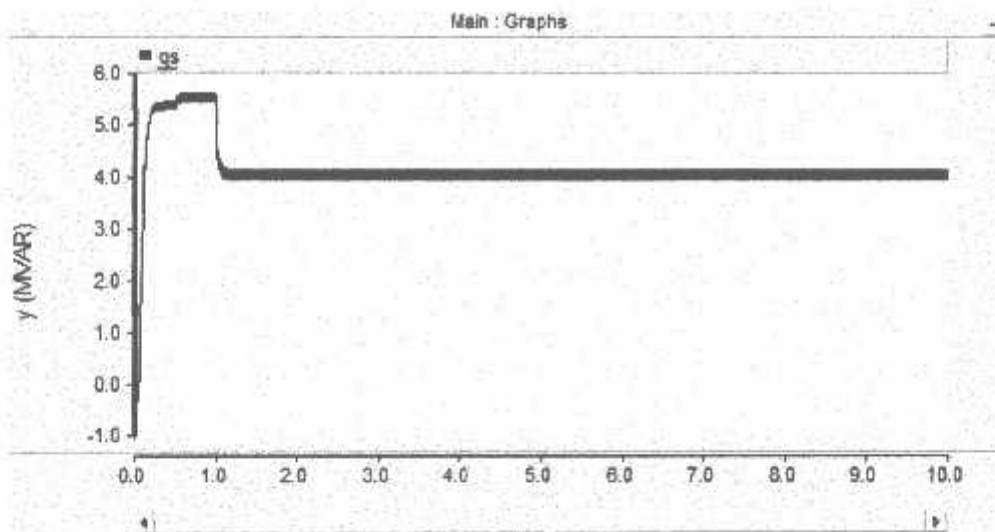
Dari gambar 4.8 terlihat bahwa tegangan pada penyulang Karang Sari setelah di pasang STATCOM mengalami peningkatan secara signifikan menjadi 0,97298 pu atau 19,46 kV sehingga penggunaan STATCOM dapat meningkatkan tegangan sesuai dengan standart tegangan yang ditetapkan oleh PLN.

- BUS Penyulang Tanglad



Gambar 4.9 Grafik Tegangan RMS pada BUS Penyulang Tanglad

Dari gambar 4.9 terlihat bahwa tegangan pada penyulang Tanglad setelah di pasang STATCOM mengalami peningkatan secara signifikan menjadi 0,98772 pu atau 19,75 kV sehingga penggunaan STATCOM dapat meningkatkan tegangan sesuai dengan standart tegangan yang ditetapkan oleh PLN.



Gambar 4.10 Grafik Daya Reaktif STATCOM

Dari gambar 4.10 terlihat STATCOM menginjeksikan daya reaktif pada sistem sebesar 3,95 MVAR.

4.5 Analisa Hasil

4.5.1 Perbandingan Nilai Tegangan Dengan dan Tanpa STATCOM

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Tegangan Sebelum dan Sesudah Kompensasi

Nama Bus Penyulang	Tanpa STATCOM	Suplai STATCOM
	V (pu)	V (pu)
Lembongan	0,88736	0,96933
Karangsari	0,89052	0,97298
Tanglad	0,88734	0,98772

4.5.2 Perbandingan Daya Reaktif dan Daya Aktif Dengan dan Tanpa STATCOM

Tabel 4.2 Perbandingan Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Kompensasi

Nama Bus Penyulang	Tanpa STATCOM	Suplai STATCOM
	Q (MVAR)	Q (MVAR)
Lembongan	0,54115	0,63643
Karangsari	0,20837	0,24520
Tanglad	0,24814	0,30218

Tabel 4.3 Perbandingan Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Kompensasi

Nama Bus Penyulang	Tanpa STATCOM	Suplai STATCOM
	P (MW)	P (MW)
Lembongan	0,41981	0,56964
Karangsari	0,13543	0,18337
Tanglad	0,21893	0,30945

Dari tabel 4.1 dan grafik 4.7, 4.8, 4.9 tampak bahwa STATCOM mampu menginjeksikan daya reaktif *Wind Turbine* sehingga tegangan dapat mencapai pada kisaran yang diijinkan (0,95 – 1,05 pu), dimana ditunjukkan bahwa :

- a. Bus Beban Lembongan
 - Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0,88736$ pu
 - Setelah kompensasi $V_{rms} = 0,96933$ pu
- b. Bus Beban Karangsari
 - Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0,89052$ pu
 - Setelah kompensasi $V_{rms} = 0,97298$ pu
- c. Bus Beban Tanglad
 - Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0,88734$ pu
 - Setelah kompensasi $V_{rms} = 0,98772$ pu

Analisa Perhitungan besar tegangan yang diinjeksikan pada sistem :

- Untuk Bus Beban Lembongan

$$V_{without\ STATCOM} = 0,88736\ pu$$

$$V_{with\ STATCOM} = 0,96933\ pu$$

Besar optimasi perbaikan kualitas tegangan sebesar:

$$\begin{aligned} V_i &= V_{with\ STATCOM} - V_{without\ STATCOM} \\ &= 0,96933\ pu - 0,88736\ pu \\ &= 0,08197\ pu \end{aligned}$$

Mengingat $V_{ref} = 20$ kV maka,

$$V_i = 0,08197 \times 20 = 1,6394 \text{ kV}$$

Prosentase besar V_i yang diperoleh adalah :

$$\begin{aligned} \%V_i &= \frac{V_{with \text{ STATCOM}} - V_{without \text{ STATCOM}}}{V_{with \text{ STATCOM}}} \times 100\% \\ &= \frac{0,08197 \text{ pu}}{0,96933 \text{ pu}} \times 100\% \\ &= 8,456 \% \end{aligned}$$

- Untuk Bus Beban Karang Sari

$$V_{without \text{ STATCOM}} = 0,89052 \text{ pu}$$

$$V_{with \text{ STATCOM}} = 0,97298 \text{ pu}$$

Besar optimasi perbaikan kualitas tegangan sebesar:

$$\begin{aligned} V_i &= V_{with \text{ STATCOM}} - V_{without \text{ STATCOM}} \\ &= 0,97298 \text{ pu} - 0,89052 \text{ pu} \\ &= 0,08246 \text{ pu} \end{aligned}$$

Mengingat $V_{ref} = 20 \text{ kV}$ maka,

$$V_i = 0,08246 \times 20 = 1,6492 \text{ kV}$$

Prosentase besar V_i yang diperoleh adalah :

$$\begin{aligned} \%V_i &= \frac{V_{with \text{ STATCOM}} - V_{without \text{ STATCOM}}}{V_{with \text{ STATCOM}}} \times 100\% \\ &= \frac{0,08246 \text{ pu}}{0,97298 \text{ pu}} \times 100\% \\ &= 8,475 \% \end{aligned}$$

- Untuk Bus Beban Tanglad
-

$$V_{\text{without STATCOM}} = 0,88734 \text{ pu}$$

$$V_{\text{with STATCOM}} = 0,98772 \text{ pu}$$

Besar optimasi perbaikan kualitas tegangan sebesar:

$$\begin{aligned} V_i &= V_{\text{with STATCOM}} - V_{\text{without STATCOM}} \\ &= 0,98772 \text{ pu} - 0,88734 \text{ pu} \\ &= 0,10038 \text{ pu} \end{aligned}$$

Mengingat $V_{\text{ref}} = 20 \text{ kV}$ maka,

$$V_i = 0,10038 \times 20 = 2,0076 \text{ kV}$$

Prosentase besar V_i yang diperoleh adalah :

$$\begin{aligned} \%V_i &= \frac{V_{\text{with STATCOM}} - V_{\text{without STATCOM}}}{V_{\text{with STATCOM}}} \times 100\% \\ &= \frac{0,10038 \text{ pu}}{0,98772 \text{ pu}} \times 100\% \\ &= 10,163 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Peningkatan Profil Tegangan

Nama Bus Penyulang	V_i (kV)	$\%V_i$
Lembongan	1,6394	8,456
Karangsari	1,6492	8,475
Tanglad	2,0076	10,163

Berdasarkan simulasi dan perhitungan, bus penyulang yang mengalami injeksi terbesar adalah penyulang Tanglad, hal ini disebabkan karena STATCOM dan sistem *hybrid* dikoneksikan pada penyulang Tanglad. Dimana tegangan yang terjadi sebesar 0,88734 pu atau 17,75 kV. STATCOM mampu menginjeksi tegangan hingga penyulang Tanglad mengalami kenaikan menjadi 0,98772 pu atau 19,75 kV. Peningkatan profil tegangan pada penyulang Tanglad sebesar :

$$V_i = 2,0076 \text{ kV atau } 10,163\%$$

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pemasangan STATCOM pada sistem kelistrikan Kepulauan Nusa Penida dengan menggunakan bantuan *software PSCAD/EMTDC V4.2 Power System Simulation*, maka dapat diambil kesimpulan :

1. STATCOM (Static Synchronous Compensator) dapat memperbaiki profil tegangan.
2. Pemasangan STATCOM juga berpengaruh pada peningkatan tegangan pada bus beban 1 (Penyulang Lembongan) sebesar 8,456 % atau setara dengan 1,6394 kV dan pada bus beban 2 (Penyulang Karang Sari) sebesar 8,475 % atau setara dengan 1,6492 kV.
3. Tegangan mengalami perbaikan pada bus beban ketiga dari 0,88734 (pu) atau 17,75 kV menjadi 0,98772 (pu) atau 19,75 kV.
4. Kenaikan tegangan pada penyulang Tanglad setelah pemasangan STATCOM sebesar 10,163 % atau setara dengan 2,0076 kV.

5.2 Saran

sistem tenaga listrik di Indonesia khususnya di daerah Kepulauan Nusa Penida masih sangat perlu untuk meningkatkan kualitas tegangan seperti yang dijabarkan dalam penelitian ini. Penggunaan STATCOM (Static Synchronous Compensator) untuk meningkatkan kualitas tegangan sangat di perlukan. Karena di tempat tersebut merupakan wilayah yang tidak terinterkoneksi dengan sistem kelistrikan Jawa-Bali dimana suplai dan kualitas tegangan sangat di butuhkan untuk menjaga kualitas penyaluran tenaga listrik sehingga pada Kepulauan Nusa Penida penyalur tenaga listrik yang handal dan ideal sebagai penyokong energi di wilayah Nusa Penida.



DAFTAR PUSTAKA

Champa Nandi, Ajoy Kr. Chakraborty, Sujit Dutta, Tanushree Deb, *Modeling and Simulation of Wind Farm with STATCOM in PSCAD/EMTDC Environment*, Volume 1– No.7, March 2012

Haizea Gaztañaga, Ion Etxeberria-Otadui, Dan Ocnasu, Seddik Bacha, *Real-Time Analysis of the Transient Response Improvement of Fixed-Speed Wind Farms by Using a Reduced-Scale STATCOM Prototype*

Ikhwanul Ikhsan, M.Akbar Hipi, Tugas Akhir, “*analisis pengaruh pembebanan terhadap kinerja kincir angin tipe propeller pada wind tunnel sederhana*”, Universitas Hasanudin Makasar.

Kirana,Candra.Skripsi.2011.”*Analisa Pemasangan Static Var Compensator (SVC) Untuk Meningkatkan Kualitas Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Pulau Nusa Penida Bali*”.ITN Malang.

Paulo Fischer de Toledo, Hailian Xie KTH, Kungl Tekniska Högskolan, *wind farm in weak grids compensated with statcom*, Jurnal Stockholm, Sweden

Sudipta garain, Rohit goswami, Sanjog kumar, E Sheeba percis, *Control of Reactive Power and Voltage in Wind Turbine*, Proceedings of Third Biennial National Conference, NCNTE- 2012, Feb 24-25

Taher Abedinzadeh, Hadi Afsharirad, Mohammad Nazaraliloo, saeid Masoumi, *modelling and performance analysis of Double-Fed Induction Wind Turbines Using PSCAD/EMTDC*, Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering Vol. 3, No. 1, January 2012

Wei Qiao, Ronald G. Harley, Ganesh Kumar Venayagamoorthy, *Coordinated Reactive Power Control of a Large Wind Farm and a STATCOM Using Heuristic Dynamic Programming*, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 24, NO. 2, JUNE 2009

www.google-map.com

YUSMARTATO. *Analisis peningkatan stabilitas tegangan dengan menggunakan statcom aplikasi pt. Pln (persero) upb sumbagut*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara



LAMPIRAN



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA 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 (Hurdang), 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 : YUGHO PAMUNGKAS
NIM : 08.12.003
JURUSAN : Teknik Elektro S-1
KONSENTRASI : Teknik Energi Listrik
MASA BIMBINGAN: Semester Genap
JUDUL : **ANALISA PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA
PLTB DENGAN STATCOM MENGGUNAKAN
SOFTWARE PSCAD**

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


Hari : Selasa
Tanggal : 7 Agustus 2012
Dengan Nilai : 84 (A) *rs*

PANITIA UJIAN SKRIPSI

KETUA,

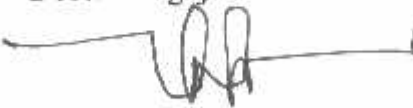

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP.Y.1018800189

SEKRETARIS,

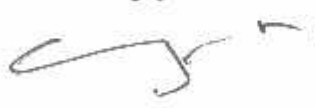

Dr. Eng. Aryuanto S, ST, MT
NIP.P.1030800417

ANGGOTA PENGUJI

Dosen Penguji I


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

Dosen Penguji II


Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y. 1018800190



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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

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

NAMA : YUGHO PAMUNGKAS
NIM : 08.12.003
JURUSAN : Teknik Elektro S-1
KONSENTRASI : Teknik Energi Listrik
MASA BIMBINGAN: Semester Genap
JUDUL : **ANALISA PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA PLTB DENGAN STATCOM MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD**

Tanggal	Uraian	Paraf
Penguji I 07 - 08 - 2012	Menjelaskan hubungan daya nyata dan daya reaktif	

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP.Y.1018500108

Dosen Pembimbing II

Awan Uji Krismanto, ST, MT
NIP.132314402

Disetujui,

Dosen Penguji I

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

Dosen Penguji II

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y. 1018800190



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
KULIAHAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Sehubungan pelaksanaan Ujian Skripsi Jangjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa

NAMA : Yugo P
NIM : 0812003
Perbaikan melalui :

Apakah daya nyata meningkat
penambahan daya reaktif?

Malang, 07-08-2012

()

