

**ANALISA PEMASANGAN *STATIC VAR COMPENSATOR* (SVC)
UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB)
DI PULAU NUSA PENIDA BALI**

SKRIPSI



Oleh :

**CANDRA KIRANA
07.12.010**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2011**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PEMASANGAN *STATIC VAR COMPENSATOR (SVC)* UNTUK
MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA BAYU (PLTB) DI PULAU NUSA PENIDA**

SKRIPSI

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

Disusun oleh :

CANDRA KIRANA

NIM : 07.12.010

Mengetahui,

Program Studi Teknik Elektro S-1



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

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Awan Uji Krismanto, ST.MT
NIP.198003012005011000

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

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2011**

ABSTRAK

ANALISA PEMASANGAN *STATIC VAR COMPENSATOR* (SVC) UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) DI PULAU NUSA PENIDA BALI

Candra Kirana, NIM 0712010

Dosen Pembimbing : Awan Uji Krismanto, ST, MT dan
Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, 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 digunakan sebagai tenaga pembantu untuk PLTD. Pembangkit ini dikoneksikan 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.

Pada penelitian ini penulis menggunakan metode *surve* dalam membahas performa SVC dalam meningkatkan kualitas tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Nusa Penida Bali perbandingan nilai tegangan pada bus beban ketiga sebelum dan sesudah pemasangan adalah dari 0.8542 pu atau 17.084 kV menjadi 0.98842 pu atau 19.768 kV.

Kata kunci : PLTB, SVC, Kualitas tegangan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami selaku penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul “ANALISA PEMASANGAN *STATIC VAR COMPENSATOR* (SVC) UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) DI PULAU NUSA PENIDA BALI” dapat terselesaikan.

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

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

1. Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ir.Sidik Noertjahjono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Awan Uji Krismanto ST, MT selaku Dosen Pembimbing satu Tugas Skripsi.
5. Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Dosen Pembimbing dua Tugas Skripsi.
6. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik Teknik Elektro ITN Malang
7. Sahabat-sahabat dan rekan-rekan yang tidak kami sebutkan satu-persatu, kami ucapkan banyak terima kasih atas bantuannya dalam proses pembuatan Skripsi yang telah saya kerjakan, begitu juga dengan penyelesaian laporan ini.

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

Malang, Agustus 2011

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metode Penelitian.....	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TEORI DASAR	4
2.1. Tinjauan Umum	4
2.2. Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik	5
2.2.1. Daya Aktif (Active Power)	5
2.2.2. Daya Reaktif (Reactive Power)	5
2.2.3. Daya Semu (Apperent Power)	6
2.2.4. Power Factor	6
2.3. Kestabilan Tegangan	7
2.3.1. Definisi dan Klasifikasi Kestabilan Tegangan	7
2.3.2. Klasifikasi Kestabilan Tegangan	7
2.3.3. Mekanisme Voltage Collape	8
2.4. Static Var Compensator (SVC)	9
2.4.1. Tipe- Tipe Static Var Compensator (SVC)	10
2.4.2. Prinsip Kerja Static Var Compensator (SVC)	12
2.5. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu	13
2.5.1. Generator Induksi	14
2.5.2. Generator Induksi Eksitasi Sendiri	14

BAB III PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN PADA PEMBANGKIT

LISTRIK TENAGA BAYU DI KEPULAUAN NUSA PENIDA BALI	16
3.1. Kondisi Geografis Kepulauan Nusa Penida	16
3.2. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Kepulauan Nusa Penida	17
3.2.2. Potensi Angin di Puncak Mundi	18
3.2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu	19
3.3. Data Pembangkit PLTD Kutampi dan Jungut Batu	20
3.4. Data Trafo Step-Up	24
3.5. Data Trafo Distribusi	24
3.6. Data Beban di Kepulauan Nusa Penida	24
3.7. Data Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Nusa Penida	26
3.8. Single Line Sistem Kelistrikan Kepulauan Nusa Penida	28
3.9. Software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation	28
3.10. Memulai PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation	29
3.11. Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI)	32
3.11.1. Umum	32
3.11.2. Prinsip- Prinsip Pengendalian Proses	33
3.11.3. Prinsip Kerja Pengendali	34
3.11.4. Pengendali Proporsional	35
3.11.5. Pengendalian Integral	37
3.11.6. Pengendali Proporsional	38
3.12. Gambar Rangkaian Kontrol PI dan SPWM	39
3.13. Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD	40
3.14. Flowchart Desain Rangkaian Kontrol PWM	41

BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA

4.1. Single Line Sistem Kelistrikan Kepulauan Nusa Penida	42
4.2. Solusi Perbaikan Profil Tegangan Wind Turbine	43
4.3. Hasil Simulasi Ketika Sebelum Pemasangan SVC	43
4.4. Hasil Simulasi Ketika Setelah Pemasangan SVC	46
4.5. Grafik Hasil Simulasi Penambahan Beban Sebelum Pemasangan SVC	48
4.6. Grafik Hasil Simulasi Penambahan Beban Setelah Pemasangan SVC	49
4.7. Analisa Hasil	50
4.7.1. Perbandingan Nilai Tegangan Dengan dan Tanpa SVC	50

4.7.2. Perbandingan Daya Aktif dan Daya Reaktif Beban Dengan dan Tanpa SVC	51
BAB V PENUTUP	53
5.1. Kesimpulan	53
5.2. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55

DAFTAR GAMBAR

2.1. Static Var Compensator	10
2.2. Equivalent circuit of SVC	10
2.3. Konfigurasi SVC (TCR - FC)	11
2.4. Keadaan Steady State Karakteristik V-1	12
2.5. Line Diagram Static VAR Compensator	13
2.6. Generator Induksi Eksitasi Sendiri	15
3.1. Peta Kepulauan Nusa Penida	16
3.2. Grafik Energi Terhadap Kecepatan Angin Rata-Rata per Tahun	20
3.3. Grafik Daya Listrik Terhadap Kecepatan Angin Rata-Rata	20
3.4. PLTD Kutampi	23
3.5. Sistem Distribusi 20 kV Kepulauan Nusa Penida	28
3.6. Tampilan Utama Software PSCAD/EMTDC Power Simulation	29
3.7. Tampilan File Yang Baru Kita Buat	30
3.8. Tampilan Master Library	31
3.9. Tampilan Single Line Distribusi Tenaga Listrik Kepulauan Nusa Penida .	31
3.10. Kontroler dan Diagram Kotaknya	34
3.11. Diagram Blok Kontroler Proporsional	35
3.12. Response Sebuah Pengendali Proporsional	36
3.13. Blok Diagram Kontroler Integral	38
3.14. Diagram Kotak Pengendali PI	38
3.15. Hubungan Input-Output Dalam Fungsi Waktu.....	39
3.16. Blok Kontrol PI	39
3.17. Blok Kontrol SPWM	39
3.18. Flowchart Penyelesaian Masalah	40
3.19. Flowchart Desain Kontrol SVC pada Software PSCAD	41
4.1. Sistem kelistrikan Kepulauan Nusa Penida Dalam Software PSCAD	42
4.2. Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Lembongan	43
4.3. Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Karang Sari	44
4.4. Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Tanglad	44
4.5. Grafik Daya Reaktif pada Wind Turbine	45
4.6. Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Lembongan	46

4.7. Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Karang Sari	46
4.8. Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Tanglad	47
4.9. Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Tanglad	48
4.10. Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Tanglad	49
4.11. Grafik Daya Reaktif Beban, Sumber dan SVC	50

DAFTAR TABEL

3.1. Kecepatan Angin Rata- Rata di Desa Klumpu	18
3.2. Beban Puncak Pada Penyulang Lembongan 20 kV	25
3.3. Beban Puncak Pada Penyulang Karang Sari 20 kV.....	25
3.4. Beban Puncak Pada Penyulang Tanglad 20 kV	25
3.5. Data Panjang Kabel Berdasarkan Jenis (dalam meter)	26
4.1. Perbandingan Nilai Tegangan Sebelum dan Sesudah Kompensasi, Penambahan Beban Sebelum dan Sesudah Kompensasi	50
4.2. Perbandingan Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Kompensasi, Penambahan Beban Sebelum dan Sesudah Kompensasi	51
4.3. Perbandingan Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Kompensasi, Penambahan Beban Sebelum dan Sesudah Kompensasi	51
4.4. Prosentase V_{optimasi}	52

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 digunakan sebagai tenaga pembantu untuk PLTD. Pembangkit ini dikoneksikan dengan *grid* 20 kV sehingga beroperasi secara *hybrid* dengan PLTD. Setelah adanya pembangkit tenaga bayu (PLTB), PLN menjadi hemat sekitar 315 juta. Hal ini mengakibatkan PLTB menjadi pembangkit utama dalam penyuplai arus listrik di Kepulauan Nusa Penida.

Pendistribusian tenaga listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), permasalahan yang sering muncul pada PLTB adalah ketidakstabilan putaran dari turbin angin akibat sifat fluktuatif dari angin yang bertiup. Kecepatan angin di Kepulauan Nusa Penida rata-rata mencapai 4,5 m/s dengan rentang hembusan angin terjadi antara 2-8 m/s dengan selang waktu perubahan yang sangat singkat dan sangat jarang terjadi angin *calm* (angin tidak bertiup atau 0 m/s). Turbin angin berputar menghasilkan daya listrik berdasarkan besarnya kecepatan angin yang memutar sudu-sudu turbin. Sudu-sudu turbin memutar generator yang memakai generator asinkron sehingga menghasilkan arus listrik sesuai dengan hukum Faraday. Turbin angin yang terhubung oleh generator asinkron menghasilkan daya "AC Liar" (tegangan dan frekuensi yang bervariasi) akibat kecepatan angin yang berubah-ubah. Adanya ketidakstabilan angin tersebut mengakibatkan ketidakstabilan putaran generator yang menyebabkan profil dan kualitas tegangan menjadi tidak baik. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas tegangan pada PLTB adalah dengan penambahan pemasangan peralatan kompensator daya. Penelitian ini membahas pemasangan *Static Var Compensator* (SVC) pada PLTB di Kepulauan Nusa Penida dapat meningkatkan kualitas tegangan menjadi lebih baik.

1.2. Rumusan Masalah

Salah satu permasalahan umum yang sering muncul pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu adalah berupa ketidak stabilan perputaran dari turbin angin yang disebabkan oleh angin liar yang berhembus tidak stabil. Ketidak stabilan perputaran ini menyebabkan fluktuasi daya yang dikirimkan ke sistem. Bagaimana cara untuk mengatasi fluktuasi daya yang dikirimkan dari sumber ke sistem? Salah satunya menggunakan alat elektronika daya yaitu *Static Var Compensator (SVC)*.

1.3. Tujuan Pembahasan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisa peningkatan kualitas tegangan dengan menggunakan *Static Var Compensator (SVC)* pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.

1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, peneliti memberikan batasan masalah agar pembahasan tidak meluas. Berikut ini merupakan batasan masalah penelitian:

- a. Perhitungan dan simulasi dilakukan dengan *software PSCAD/EMTDC V4.7.4 Power Simulation*
- b. Studi dilakukan pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Kepulauan Nusa Penida

1.5. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode penelitian sebagai berikut :

1. Studi literature, yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literature yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan. Studi literature ini meliputi hal-hal sebagai berikut:
 - Data-data berasal dari internet yang membantu menunjang penelitian ini.
 - Buku yang terkait dengan studi tentang *Static Var Compensator (SVC)*
 2. Pengumpulan data, data-data yang diperlukan antara lain:
 - Data potensi angin dari Kepulauan Nusa Penida
 - Data Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dari Kepulauan Nusa Penida
-

3. Menganalisa data-data yang telah dikumpulkan lalu membandingkan kualitas tegangan sebelum dan setelah pemasangan *Static Var Compensator* (SVC).

1.6. Sistematika penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : DASAR TEORI

Disini akan dibahas masalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), generator, generator reduksi, daya reaktif, tipe-tipe *Static Var Compensator* (SVC), kegunaan *Static Var Compensator* (SVC), prinsip kerja *Static Var Compensator* (SVC).

BAB III : DATA PARAMETER DAN SOLUSI PERBAIKAN

Pada bab ini data parameter, pemodelan *Static Var Compensator* (SVC), dan metode yang digunakan.

BAB IV : ANALISIS SISTEM DAN SIMULASI

Pada bab ini berisi data dan hasil perbandingan simulasi *PSCAD/EMTDC Power Simulation* sebelum dan sesudah pemasangan *Static Var Compensator* (SVC).

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran.

BAB II TEORI DASAR

2.1. Tinjauan Umum

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

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

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

Pada sistem tenaga listrik modern yang terdiri dari multi mesin, jaringan transmisi yang terinterkoneksi yang panjang, serta meliputi areal bus beban yang luas dengan berbagai karakteristik tipe beban yang berbeda-beda, hal tersebut memposisikan kondisi sistem tenaga listrik yang kompleks dan rumit. Bila terjadi perubahan kondisi operasional peningkatan beban berpengaruh kepada penurunan magnitude tegangan (*voltage instability*) yang tidak dapat dikendalikan, maka akan ikut mempengaruhi performansi stabilitas sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Solusi untuk mengembalikan magnitude tegangan sistem pada kondisi *steady state* dibutuhkan peralatan bantu (*compensator*) seperti :

1. FACTS Device.
2. Under-Load Tap Charging (ULTC) Transformer.
3. Generator.

Bedasarkan sifat dan besar gangguan, dikenal tiga jenis kestabilan yaitu : kestabilan transient (*transient stability*), kestabilan dinamik (*dynamic stability*),

dan kestabilan mantap (*steady state stability*). Kestabilan transient dimaksudkan sebagai kemampuan sistem untuk mempertahankan sinkronisasi setelah terjadi gangguan yang besar, seperti *disconnect* unit pembangkit, gangguan pada jaringan transmisi *switching* saluran, akan menyebabkan perubahan beban yang besar dan seketika. Sedangkan kestabilan mantap dan kestabilan dinamik dimaksudkan sebagai kemampuan sistem untuk mempertahankan sinkronisasi setelah terjadi gangguan yang kecil dan bertahap.

2.2. Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik (Basri, 1997).

2.2.1. Daya Aktif (*Active Power*)

Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan

$$P = (V)(I) \cos \varphi \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

V = tegangan

I = arus

P = daya aktif

2.2.2. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

Daya reaktif merupakan daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif (VAR), secara umum persamaan daya reaktif adalah

$$Q = (V)(I) \sin \varphi \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

V = tegangan

I = arus

Q = daya rata-rata yang disebut juga daya reaktif

Daya reaktif terdiri dari dua macam yaitu : daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif, dimana keduanya memiliki tanda yang berlawanan. Daya reaktif kapasitif adalah daya yang dibutuhkan oleh kapasitor yang tidak menghasilkan kerja tetapi tersimpan dalam bentuk energi magnetis atau energi kapasitif. Sedangkan daya reaktif induktif adalah daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat-alat seperti motor induksi, transformator dan lain sebagainya.

2.2.3. Daya Semu (*Apperent Power*)

Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif dan mempunyai persamaan sebagai berikut

$$S = \sqrt{Q^2 + P^2} \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

S = daya semu

P = daya aktif

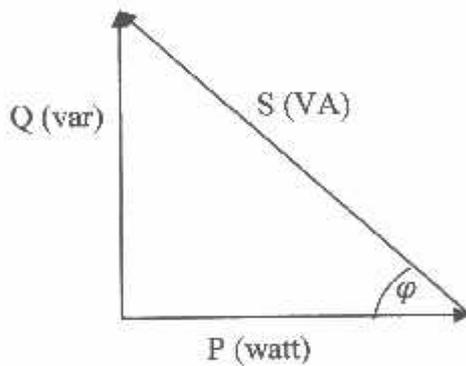
Q = daya reaktif

2.2.4. Power Factor

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

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

Untuk daya itu sendiri dibentuk oleh dua komponen, daya nyata (P) dan daya reaktif (Q), hubungan ini dapat digambarkan dalam diagram vector sebagai berikut



dengan factor daya :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{Q^2 + P^2}} = \frac{W}{VA} \dots\dots\dots (5)$$

$$W = (V)(A) \cos \varphi$$

$$VAR = (V)(A) \sin \varphi = W \cdot \tan \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{VAR}{W}$$

dengan :

$\cos \varphi$ = factor daya

P = daya nyata/daya aktif

S = daya semu

Q = daya reaktif

2.3. Kestabilan Tegangan (Safrizal, 2006).

2.3.1. Definisi dan Klasifikasi Kestabilan Tegangan

Stabilitas sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik atau bagian komponennya untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan sistem. Kestabilan tegangan juga biasa dikenal dengan kestabilan beban (*load stability*). Pada keadaan operasional yang stabil dari sistem tenaga listrik, terdapat keseimbangan antara daya input mekanis pada penggerak mula dengan daya output listrik pada sistem.

Faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan adalah ketidakmampuan sistem untuk memenuhi daya reaktif pada kondisi sistem yang dibebani terlalu berat. Faktor lain yang memberikan kontribusi pada kestabilan tegangan adalah batas pembangkitan daya reaktif generator, karakteristik beban, karakteristik peralatan kompensasi daya reaktif dan aksi dari peralatan pengontrol tegangan, karakteristik reaktif saluran transmisi, transformator, membatasi transfer daya maksimum ke beban. Sistem tenaga kurang mampu dalam mentransfer daya reaktif melalui saluran transmisi karena rugi-rugi daya yang semakin membesar.

Peningkatan dinamik terhadap pemakaian maupun pelepasan, secara simultan kebutuhan daya reaktif beban ke sistem dalam rating daya yang besar (*heavy loading*) akan menyebabkan fluktuasi tegangan dan frekuensi sistem. Fluktuasi tegangan yang melewati batas (0,95-1,05 pu) dapat mempengaruhi instability tegangan sistem. Ketidakstabilan sistem tegangan yang disebabkan oleh *over load* beban bersifat induktif dapat menurunkan kemampuan daya reaktif, yang pada akhirnya akan menempatkan sistem pada kondisi *over collapse* dan akan terjadi kemungkinan terburuk yaitu terjadi pemadaman.

2.3.2. Klasifikasi Kestabilan Tegangan

Ketidakstabilan tegangan mempunyai jangka waktu beberapa mili detik hingga belasan detik. Klasifikasi kestabilan tegangan dibagi tiga macam yaitu :

- a. Stabilitas tegangan *transient*. Jangka waktu adalah nol hingga sepuluh detik, yang juga merupakan jangka waktu stabilitas transient sudut rotor. *Voltage collapse* disebabkan aksi cepat komponen beban yang tidak

diharapkan seperti motor induksi dan konverter DC. Untuk beberapa kedip tegangan, kebutuhan daya reaktif pada motor induksi meningkat dan hal ini akan menyebabkan terjadinya *voltage collapse*.

- b. Stabilitas tegangan *mid-term*. Jangka waktu stabilitas tegangan ini adalah beberapa menit, pada umumnya dua hingga tiga menit. Stabilitas ini melibatkan beban besar, transfer daya besar dari generator dan gangguan besar yang terjadi secara tiba-tiba. Sistem ini stabil secara *transient* karena sensitivitas tegangan terhadap beban. Gangguan disebabkan lepas transfer daya dari salah satu generator (*generator outage*) atau lepas saluran utama transmisi (*transmission line outage*) menyebabkan rugi-rugi daya reaktif yang cukup besar dan tegangan *sags* pada tegangan transmisi lebih jauh lagi. Generator terdekat akan mengalami eksitasi berlebih dan mengalami beban lebih (*over load*), tetapi pembatasan eksitasi berlebih akan mengembalikan arus medan magnet ke harga awal.
- c. Kestabilan tegangan *longer-term*. Ketidakstabilan terjadi dalam kurun waktu yang lama, dipengaruhi peningkatan transfer daya ke beban meningkat sangat cepat dapat terjadi pada saat pagi atau siang hari dalam megawatt/menit. Tindakan operator untuk mengoperasikan perlengkapan daya reaktif atau *load shedding*, sangat diperlukan untuk mencegah ketidakstabilan tegangan. Faktor seperti limit waktu beban berlebih dan kehilangan tegangan akibat tegangan yang sangat rendah akan menjadi sangat penting. Oleh karena itu diperlukan respon yang cukup cepat untuk menjaga kestabilan tegangan.

2.3.3. Mekanisme Voltage Collapse

Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem tenaga dalam menjaga keseimbangan antara kebutuhan daya beban dengan yang dapat dibangkitkan serta yang dapat ditransfer ke pusat beban. Tiga factor utama yang sangat mempengaruhi ketidakstabilan tegangan sistem tenaga listrik :

- a. Kebutuhan beban (*load demand*).
 - b. Kemampuan jaringan transmisi (*transmisi capacity*).
 - c. Kemampuan pusat pembangkit (*power station capacity*).
-

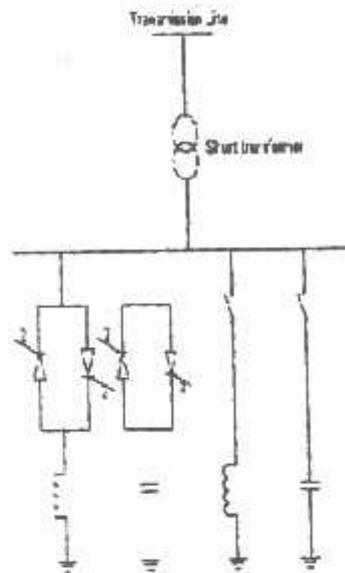
Ketidakstabilan tegangan sistem biasanya disebabkan oleh gangguan atau perubahan pada operasional sistem, seperti peningkatan pemakaian daya reaktif. Indikasi peningkatan arus yang mengalir pada jaringan, level tegangan yang rendah dan perbedaan sudut daya relatif besar, hal ini mengindikasikan kondisi operasional pembebanan berat. Akibat pembebanan yang berat menyebabkan drop tegangan (*voltage drop*), hal ini secara perlahan memperkecil besaran tegangan (*voltage magnitude*) pada bus tersebut dan bus yang lain secara cepat terjadi penurunan besaran tegangan secara bersamaan yang dikenal dengan istilah *voltage collapse*.

Voltage collapse merupakan indikator ketidakstabilan tegangan sistem, hal ini dapat mengakibatkan pemadaman (*black out*) suatu sistem tenaga listrik dalam wilayah yang sangat luas. Pada tanggal 18 Agustus 2005 selama 12 jam terjadi *black out* pada PT. PLN Persero sistem 500 kV Jawa-Bali yang meliputi Jawa Barat dan Jawa Tengah. Fenomena *voltage collapse* menjadi masalah serius di berbagai belahan dunia dan sudah banyak penelitian untuk mengatasi *voltage collapse* dan mengetahui penyebab terjadinya *black out*.

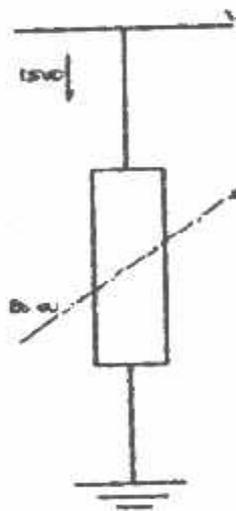
2.4. Static Var Compensator (SVC) (Rajapakse, 2006).

SVC merupakan reaktor dan kapasitor yang dikendalikan oleh katup thyristor yang secara paralel dengan kapasitor bank yang tetap. SVC ini dihubungkan secara paralel dengan garis distribusi melalui shunt transformator dan dengan demikian fungsi SVC diperoleh dengan menggunakan thyristor yang secara cepat dapat menghubungkan atau memutuskan inductor ataupun kapasitor pada jaringan distribusi.

SVC adalah salah satu tipe FACTS Device yang terdiri dari komponen reaktor dan kapasitor sebagai sumber daya reaktif, serta dilengkapi peralatan elektronika daya sebagai *device switching*. Fungsi utama adalah mempertahankan tegangan tetap konstan pada terminalnya yaitu dengan mengatur aliran daya reaktif yang diinjeksikan yang diserap dari jaringan.



Gambar 2.1.
Static VAR Compensator



Gambar 2.2.
Equivalent circuit of SVC

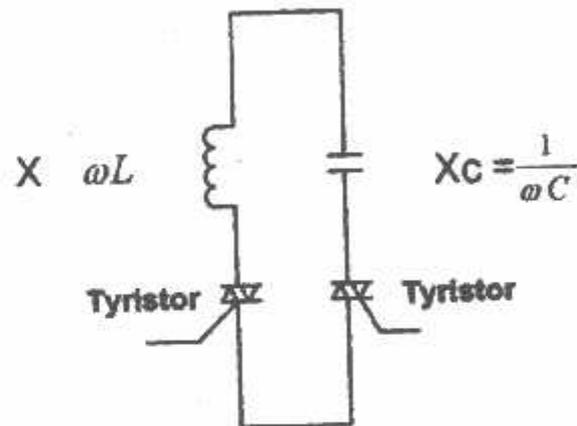
2.4.1. Tipe- tipe *Static Var Compensator* (SVC) (Rajapakse, 2006).

Jenis SVC yang digunakan sangat dipengaruhi pada beberapa factor seperti kebutuhan daya reaktif, karakteristik rugi-rugi daya, pembangkitan harmonisa dan investasi. Adapun jenis-jenis yang sering dipakai adalah:

1. *Thyristor Controled Reactor (TCR)*
2. *Thyristor Switched Capasitor (TSC)*
3. *Thyristor Controled Reactor / Fixed Capasitor (TCR / FC)*

Thyristor Controlled Reactor (TCR)

Komponen-komponen TCR thyristor seperti terlihat pada gambar 2. Dua gambar thyristor yang berlawanan kutub dikonduksikan pada setengah cycle frekuensi suplai. Jika thyristor di trigger tepat pada puncak tegangan suplai akan mengakibatkan konduksi penuh dengan reactor dan seolah-olah arus yang melewatinya adalah sama dengan pengontrol thyristor dihubung singkat. Arus ini pada dasarnya adalah bersifat reaktif, tertinggal terhadap tegangan hamper 90° .



Gambar 2.3.
Konfigurasi SVC (TCRs – FC)

Pengaturan fundamental dari arus TCR merupakan susceptansi yang dapat dikontrol, sehingga dapat diterapkan sebagai suatu kompensator statis. Harga arus sesaat i adalah sebagai berikut :

$$i = \frac{\sqrt{2}v}{X_L} (\cos \alpha - \cos \omega t), \alpha < \omega t < \alpha + \sigma \quad \text{.....} \quad (6)$$

$$\alpha + \sigma < \omega t < \alpha + \pi$$

Keterangan :

V = Tegangan efektif (volt)

$\omega = 2\pi f$

X_L = Reaktansi reaktor (ohm)

α = Sudut delay penyalan

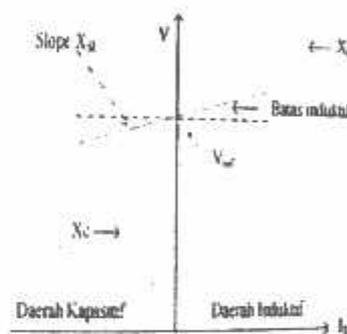
σ = Sudut konduksi

Thyristor Switched Capacitor (TSC)

Susceptansi pada jaringan diatur dengan mengontrol jumlah kapasitor paralel yang terhubung dengan k kapasitor terhubung paralel, masing-masing

dikontrol oleh switch, susceptansi total sama dengan jumlah susceptansi suatu kombinasi dari k susceptansi tunggal pada suatu waktu, dengan demikian susceptansi total berubah-ubah secara bertingkat dengan cara memasang beberapa kapasitor yang dapat diswitch masing-masing. Unyuk k kapasitor, jumlah step maksimum dapat diperoleh bila tidak ada dua kondisi yang sama, diharapkan paling tidak semua susceptansi individu berbeda. Sistem biner, ada $(k-1)$ susceptansi dengan harga B dan satu susceptansi berharga $B/2$. Susceptansi setengah $b/2$ merubah jumlah kombinasi k menjadi $2k$ dengan mengabaikan transisi switching, arus ini akan sinusoidal oleh karena itu tidak mengandung harmonisa.

2.4.2. Prinsip kerja SVC



Gambar 2.4.

Keadaan steady state karakteristik V-I

SVC dimodelkan sumber VAR yang variable, sehingga dapat diatur batas maksimum dan minimum, daya output reaktif Q_{SVC} disesuaikan dengan susceptansi induktif (B_{ind}) dan susceptansi kapasitif (B_{cap}) yang diinginkan.

$$Q_{max} = B_{ind} * V_{ref}^2$$

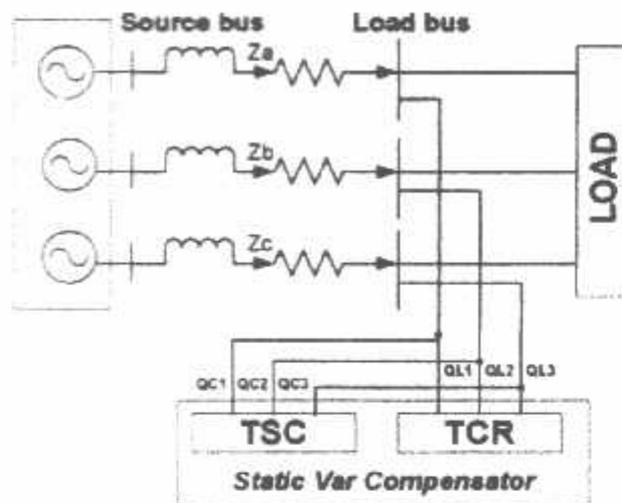
$$Q_{min} = B_{cap} * V_{ref}^2$$

$$B_{ind} = \frac{1}{X_L}$$

$$B_{cap} = \frac{1}{X_C}$$

Static Var Compensator (SVC) mengatur aliran daya reaktif yang diinjeksikan dan yang serap dari jaringan (grid), ketika tegangan sistem pada grid rendah (low voltage), *SVC* akan membangkitkan daya reaktif, yaitu dengan menginjeksikan daya reaktif yang bersumber dari kapasitor bank, setiap kapasitor bank, setiap kapasitor bank diswitch on-off dengan switch thyristor (TSC). Ketika tegangan

sistem mengalami over voltage, maka SVC akan menyerap daya reaktif, oleh reaktor di switch on-off (TSR) atau control phase (TCR). Pengaturan daya reaktif diperoleh dari pengaturan sudut penyalan thyristor pada rangkaian inverter.



Gambar 2.5.
Line diagram Static VAR Compensator

2.5. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Afranisa, 2009).

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, yang diberi nama Wind Power System ini memanfaatkan angin melalui kincir, untuk menghasilkan listrik. Alat ini sangat cocok sekali digunakan masyarakat yang tinggal di pulau-pulau kecil, yang tidak terjangkau 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 diputar oleh sudu-sudu turbin maka terbentuklah medan magnet yang berputar. Konduktor yang diam yang terdapat di stator merasakan flux magnetic yang dihasilkan rotor dan sesuai dengan hukum 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 dihasilkan di stator memiliki frekuensi (f) yang sebanding dengan jumlah kutub rotor dan besarnya kecepatan putar rotor.

$$f = \frac{p.n}{120} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan :

f = frekuensi (Hz)

P = jumlah kutub

N = putaran (rpm)

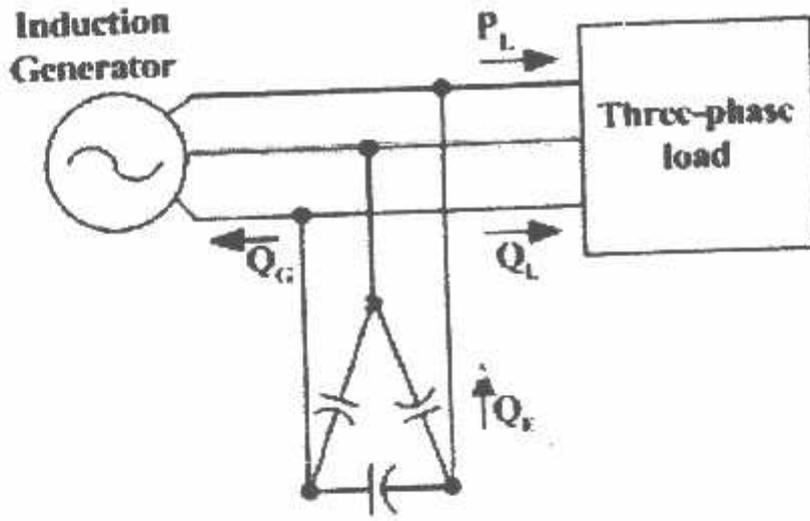
2.5.1. Generator Induksi (Afranisa, 2009).

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

2.5.2. Generator Induksi Eksitasi Sendiri (Afranisa, 2009).

Generator induksi memerlukan daya reaktif yang disuplai 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 system yang interkoneksi, grid sinkron akan mensuplai daya reaktif. Pada system yang berdiri sendiri, daya reaktif disuplai 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 diputar, maka gerakan akan bereaksi dengan medan magnet sisa dan menginduksikan tegangan pada kapasitor eksternal, selanjutnya timbul arus pada rangkaian paralel yang memperkuat medan magnet dan system sehingga eksistensinya naik.

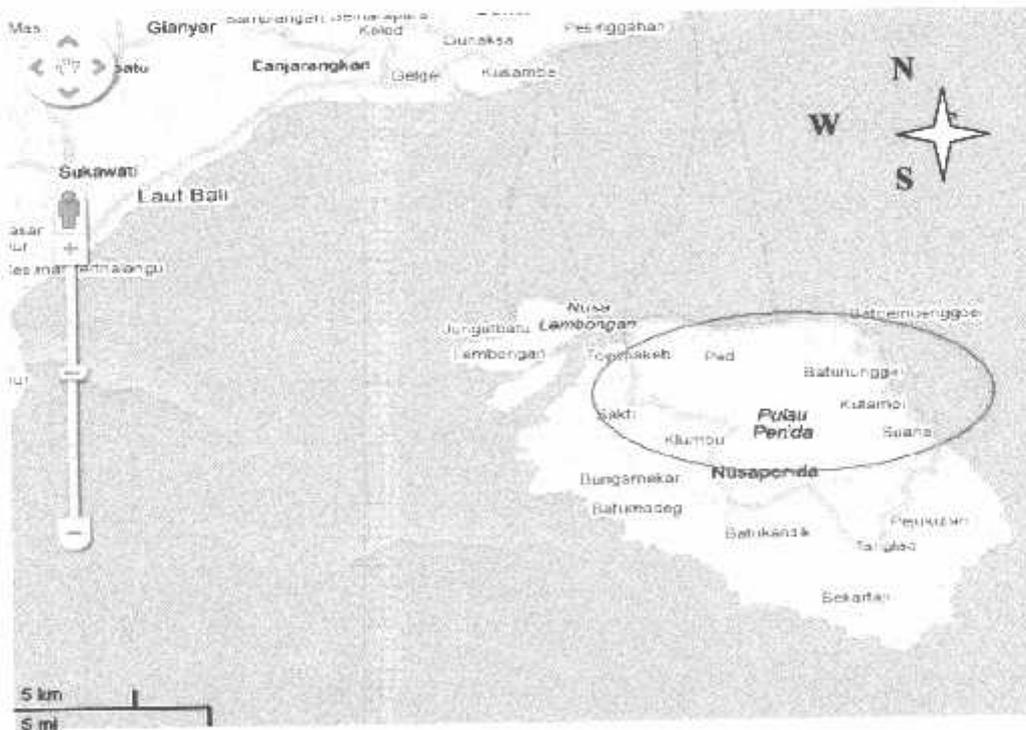


Gambar 2.6.
Generator induksi eksitasi sendiri

BAB III
PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA BAYU DI KEPULAUAN NUSA PENIDA - BALI

3.1. Kondisi Geografis Kepulauan Nusa Penida (Afranisa, 2009).

Kepulauan Nusa Penida termasuk Kecamatan Klungkung Propinsi Bali, yang terletak di tenggara Pulau Bali dan terpisah oleh Selat Badung. Kepulauan Nusa Penida terdiri dari tiga pulau yaitu: Pulau Nusa Penida, Nusa Ceningan, dan Nusa Lembongan. Pulau Nusa Penida merupakan yang terbesar dari kepulauan yang lain. Kepulauan ini terdiri dari 16 desa dengan jumlah penduduk 46.749 jiwa (8.543 KK). Pulau Nusa Penida dapat ditempuh melalui Benoa dengan menumpang Balihai membutuhkan waktu \pm 1 jam perjalanan, melalui Sanur dengan menggunakan perahu membutuhkan \pm 1,5 jam perjalanan, melalui Kusamba dengan menumpang Jukung \pm 1,5 jam perjalanan dan bila memalu Padangbai dengan menggunakan perahu *boat* membutuhkan waktu \pm 1 jam perjalanan. Gambar 3.1 merupakan peta Kepulauan Nusa Penida yang berada disebelah tenggara Pulau bali.



Gambar 3.1
Peta Kepulauan Nusa Penida (E.Acha dkk, 2002).

Secara umum kondisi topografi Nusa Penida tergolong landai sampai berbukit. Desa- desa pesisir di sepanjang pantai bagian utara berupa lahan datar dengan kemiringan 0 - 3% dari ketinggian lahan 0 – 268m dpl. Semakin ke selatan kemiringan lerengnya semakin bergelombang. Demikian juga Pulau Lembongan bagian utara merupakan lahan datar dengan kemiringan 0 – 3% dan dibagian selatan kemiringan 3 – 8%. Sedangkan Pulau Ceningan mempunyai kemiringan lereng bervariasi antara 8 – 15% dengan kondisi tanah bergelombang dan berbukit.

Mata pencaharian penduduk adalah pertanian dan sector perikanan merupakan mata pencaharian utama oleh 6,68% terbesar pada desa- desa pesisir yaitu Suana, Batunungkul, 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 dikembangkan adalah sector pertanian dan sector pariwisata.

3.2. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Pulau nusa Penida – Bali (Afranisa, 2009).

Sistem kelistrikan di Kepulauan Nusa Penida (Pulau Nusa Penida, Pulau Nusa Lembongan, Pulau Nusa Ceningan) tidak terinterkoneksi dengan Jawa-Bali (terisolasi) 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 pada akhir tahun 2005 dioperasikan sebuah unit PLTB di Nusa Penida dan kemudian ditambah lagi sebuah unit pada akhir tahun 2006 sehingga terdapat dua PLTB dengan kapasitas total 2x80 kW. Kedua PLTB ini merupakan PLTB pertama di Indonesia yang terkoneksi ke *grid (on-grid)*.

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

Setelah PLN selesai membangun keduanya, PLTB ini diserahkan ke pemerintah Kabupaten Klungkung sebagai *Owner* (pemilik) dan dioperasikan serta dipelihara oleh koperasi yang dibina oleh Departemen ESDM. Setelah adanya pembangkit tenaga bayu, PLN menjadi hemat sekitar Rp 315 juta. Penghematan ini berupa berkurangnya bahan bakar solar penggerak pembangkit tenaga diesel yang membutuhkan 6.300 liter perhari.

Pada tahun 2007 dilakukan pembangunan tujuh unit PLTB dimana tiga unit berkapasitas masing- masing 85 kW sementara empat unit lainnya berkapasitas 80 kW. Dengan demikian, jumlah PLTB yang terpasang saat ini di Kepulauan Nusa Penida sebanyak sembilan unit dengan kapasitas 735 kW. Semua pembangkit dibangun ditempat yang sama yaitu Bukit Mundi, Kecamatan Nusa Penida, Kabupaten Klungkung, Bali.

1.2.1. Potensi Angin di Puncak Mundi (Afranisa, 2009).

Pengukuran kecepatan dan arah angin dilakukan dengan menggunakan *hand anemometer analog*. Pengukuran dilakukan 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
Tabel 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 arah rata- rata dari selatan dan barat daya. Rentang hembusan angin terjadi anantara 8-14 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 bersal dari laut lepas (angin global) tanpa ada pengaruh dari angin likal. Gambar 3.1 memperlihatkan hasil pengukuran kecepatan angin rata- rata di Desa Klumpu.

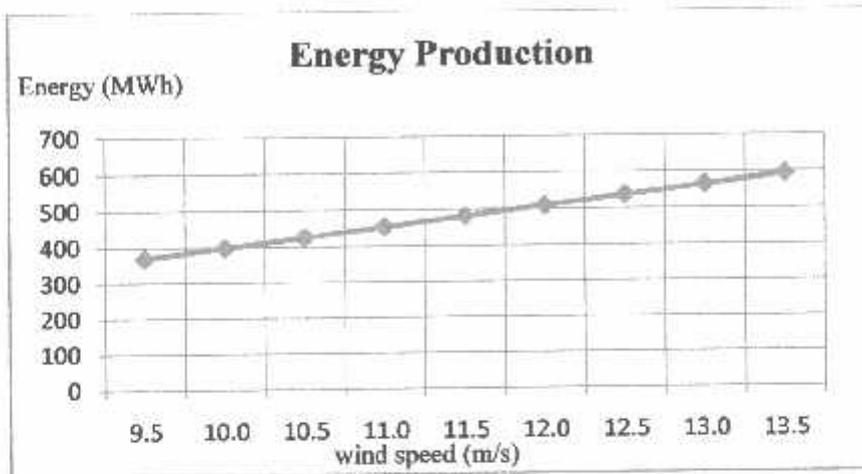
1.2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu WES (*Wind Energy Solution*)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu yang dibangun di Nusa Penida diproduksi oleh sebuah perusahaan turbin angin di Belanda yang bernama *Wind Energy Solution* (WES). Konversi tegangan yang dihasilkan turbin memakai pola AC/DC/AC sehingga memungkinkan PLTB untuk mengikuti pola tegangan *grid*. Turbin mulai bekerja pada kecepatan angin diatas 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 energi 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 dan dengan kecepatan angin rata-rata 6.5 m/s.

Pada gambar 3.2 diperlihatkan PLTB yang dioperasikan secara *on-grid* dan bekerja paralel dengan PLTD. Kombinasi antara generator diesel dan PLTB akan menghasilkan sistem *hybrid* dengan memanfaatkan energi angin secara maksimal. Ketika angin bertiup diatas ambang minimal maka energi angin dikonversikan 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.

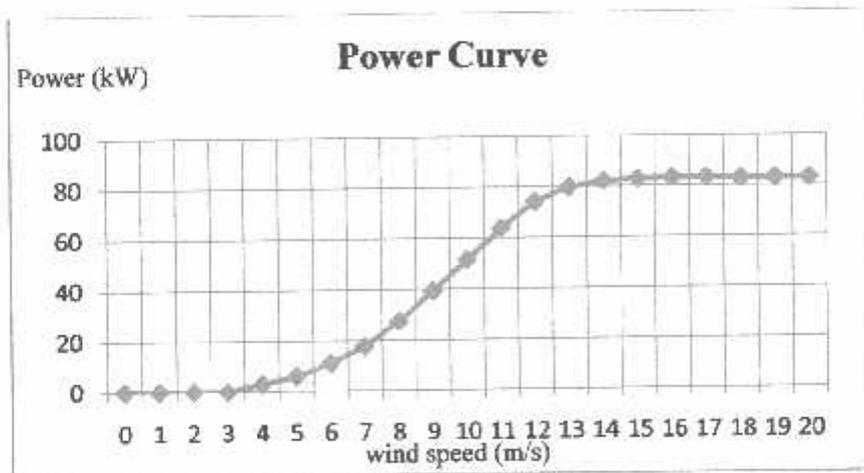
Besarnya kontribusi PLTB terhadap sistem ditentukan oleh tingkat penetrasi PLTB. Tingkat Penetrasi PLTB adalah jumlah daya listrik yang dapat disuplai oleh turbin angin terhadap total daya yang dibangkitkan oleh sistem. Berdasarkan kecepatan angin rata- rata yang tersedia maka dapat diperhitungkan besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sebuah unit PLTB. Gambar 3.2

memperlihatkan besarnya energi yang dibangkitkan oleh WES18 yang sebanding dengan kecepatan angin rata-rata per tahun.



Gambar 3.2

Grafik energi terhadap kecepatan angin rata-rata per tahun



Gambar 3.3

Grafik daya listrik terhadap kecepatan angin rata-rata

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 : 8V183TA32
 No. Seri : 995839
 Tahun operasi : 2002
 Daya terpasang (kW): 200
 Daya mampu (kW) :-
 Keterangan : tidak beroperasi (piston macet)

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

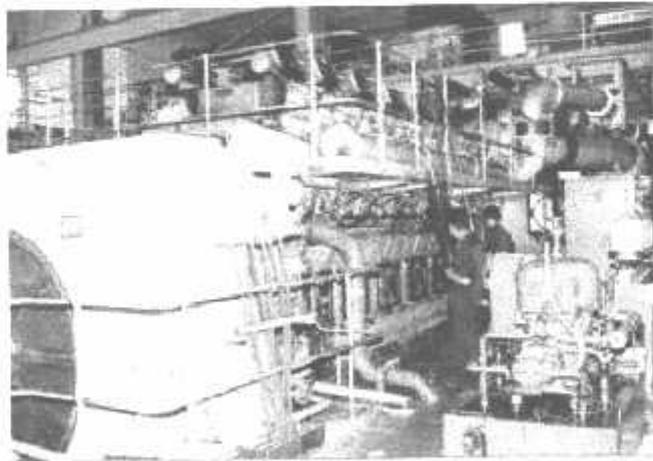
Merk mesin : DEUTZ
 Tipe : BF10L513
 No. Seri : 9106687
 Tahun operasi : 2000
 Daya terpasang (kW): 200
 Daya mampu (kW) : 100
 Keterangan : Baik

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

Pada gambar 3.4 diperlihatkan salah satu pembangkit diesel yang beroperasi didaerah kutampi.



Gambar 3.4
PLTD Kutampi unit III

3.4. Data Trafo *Step-up*

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

- a. Trafo 1, 0.38/20 kV 630 kVA terhubung PLTD 1
- b. Trafo 2, 0.38/20 kV 1000 kVA terhubung PLTD 2
- c. Trafo 3, 0.38/20 kV 1000 kVA terhubung PLTD 3
- d. 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 Jungut 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 sekundernya 20/0.38 kV.

3.6. Data Beban di Kepulauan Nusa Penida

PLTD Kutampi merupakan pembangkit utama pada sistem kelistrikan Nusa Penida. Total pembangkitan disini mencapai 2730 kW apabila dipasang 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 dilayani sekitar 1155 kW.

b. Beban Puncak Malam

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

Terdapat tiga penyulang pada pembangkit Kutampi yaitu:

1. Penyulang Lambongan

Penyulang Lambongan mensuplai daerah- daerah sebelah timur sampai pada PLTD Jungut Batu yang terletak di Pulau Nusa Lambongan. Bersama dengan PLTD Jungut Batu mensuplai sekitar 26 trafo distribusi yang tersebar

sepanjang penyulang Lembongan. Penyulang ini mensuplai beban paling besar dibandingkan dengan penyulang yang lain karena di Pulau Nusa Lembongan ini terdapat objek pariwisata yang sangat berkembang sehingga banya terdapa hotel-hotel dan daerah wisata yang banyak dikunjungi wisatawan. Data beban puncak dalam ampere ditunjukkan pada table 3.2 dengan panjang saluran mencapai 28,870 m, sesuai dengan table 3.5.

Tabel 3.2
Beban Puncak pada Penyulang Lembongan 20 kV

Beban	R (Ampere)	S (Ampere)	S (Ampere)
Siang	15,7	16,4	15,9
Malam	27	27,3	28

2. Penyulang Karang Sari

Penyulang Karang Sari mensuplai sekitar delapan trafo distribusi yang tersebar di Nusa Penida sebelah barat. Dengan data beban puncak dalam ampere ditunjukkan pada table 3.3 dengan panjang saluran 58,375 m, sesuai dengan table 3.5.

Tabel 3.3
Beban Puncak pada Penyulang Karang Sari 20 kV

Beban	R (Ampere)	S (Ampere)	S (Ampere)
Siang	4	0	4
Malam	8,7	8,5	8,5

3. Penyulang Tanglad

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

Tabel 3.4
Beban Puncak pada Penyulang Tanglad 20 kV

Beban	R (Ampere)	S (Ampere)	S (Ampere)
Siang	3,4	3,7	4,8
Malam	14,1	11,9	14,8

Tabel 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
Karang Sari	2	-	316	43629	12118	45	2265	58375
Tanglad	30	1458	-	8378	-	-	350	10216

3.7. Data Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Nusa Penida

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

a. PLT Bayu 1

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

b. PLT Bayu 2

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

c. PLT Bayu 3

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

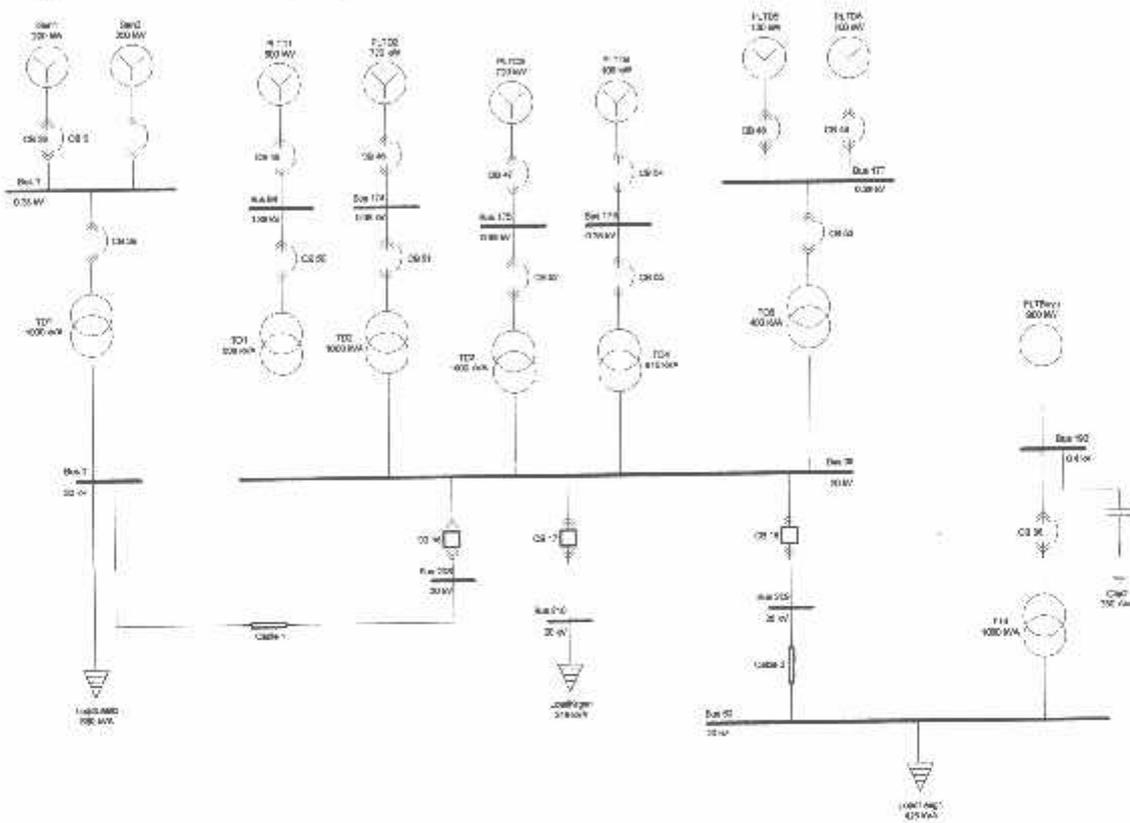
d. PLT Bayu 4

Merk : Indo Electric
Tahun operasi : 2007
Daya terpasang (kW): 100

- Daya mampu (kW) : 85
Keterangan : Baik
- e. PLT Bayu 5
Merk : Indo Electric
Tahun operasi : 2007
Daya terpasang (kW): 100
Daya mampu (kW) : 85
Keterangan : Baik
- f. PLT Bayu 6
Merk : WES
Tahun operasi : 2007
Daya terpasang (kW): 100
Daya mampu (kW) : 80
Keterangan : Baik
- g. PLT Bayu 7
Merk : WES
Tahun operasi : 2007
Daya terpasang (kW): 100
Daya mampu (kW) : 80
Keterangan : Baik
- h. PLT Bayu 8
Merk : ALTO
Tahun operasi :-
Daya terpasang (kW): 100
Daya mampu (kW) :-
Keterangan : Belum beroperasi
- i. PLT 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 mensimulasi sistem dalam *software PSCAD Power Simulation* maka terlebih dahulu digambarkan rangkaian distribusi tersebut ke 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 digunakan sebagai penelitian dalam penggunaan SVC untuk meningkatkan kualitas tegangan.



Gambar 3.5
Sistem Distribusi 20 kV Kepulauan Nusa Penida

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

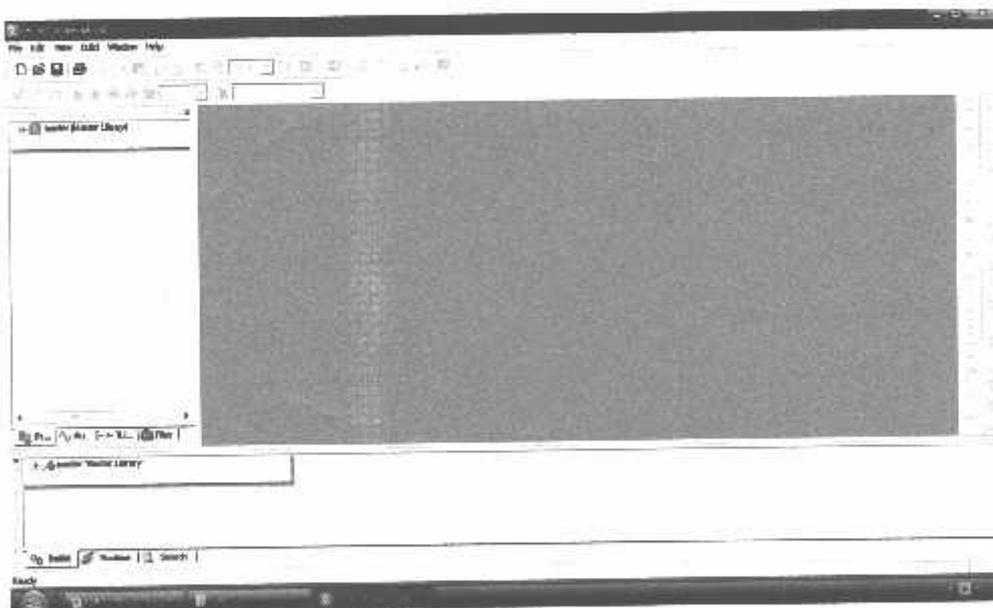
PSCAD (*Power System CAD*) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD memungkinkan pengguna menggambar mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah simulasi, analisa hasil dan manajemen data terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga tersedia, jadi pengguna dapat mengubah parameter sistem, menjalankan simulasi dan melihat hasil secara langsung.

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

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

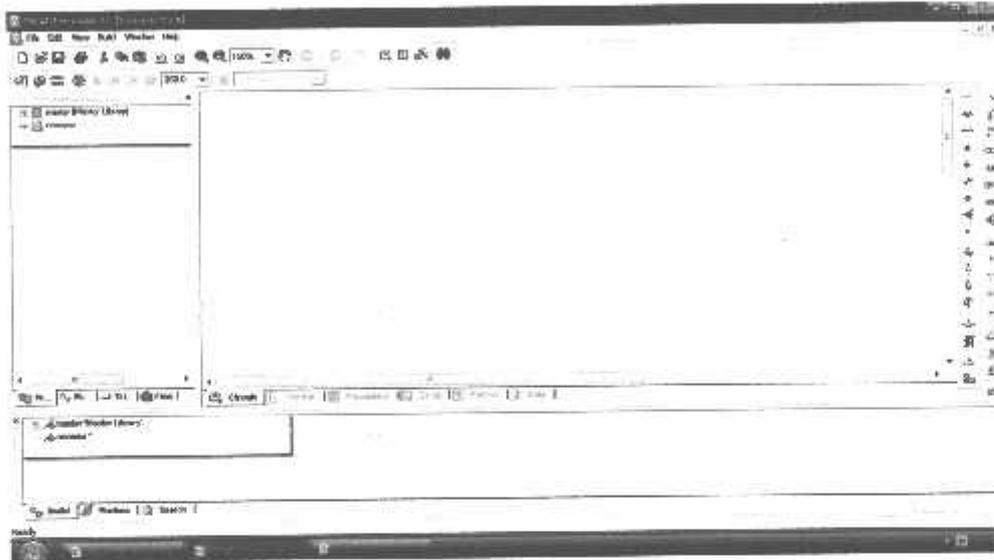
3.10. Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation

Tampilan Utama PSCAD Power Simulation adalah sebagai berikut :



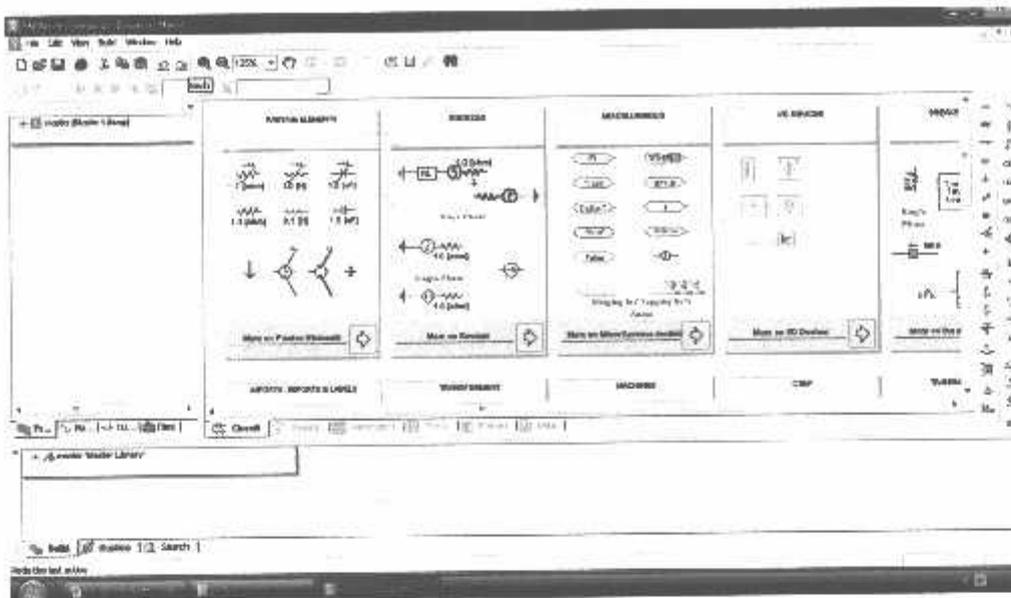
Gambar 3.6
Tampilan utama Software PSCAD/EMTDC Power Simulation

- Untuk memulai membuat *single line* baru maka kita klik: File > New > case. Setelah melakukan prosedur di atas secara *default* PSCAD akan memberi nama *file* baru yang kita buat dengan nama “noname”. Kemudian kita klik nama *file*-nya maka akan muncul tampilan seperti Gambar 3.3.



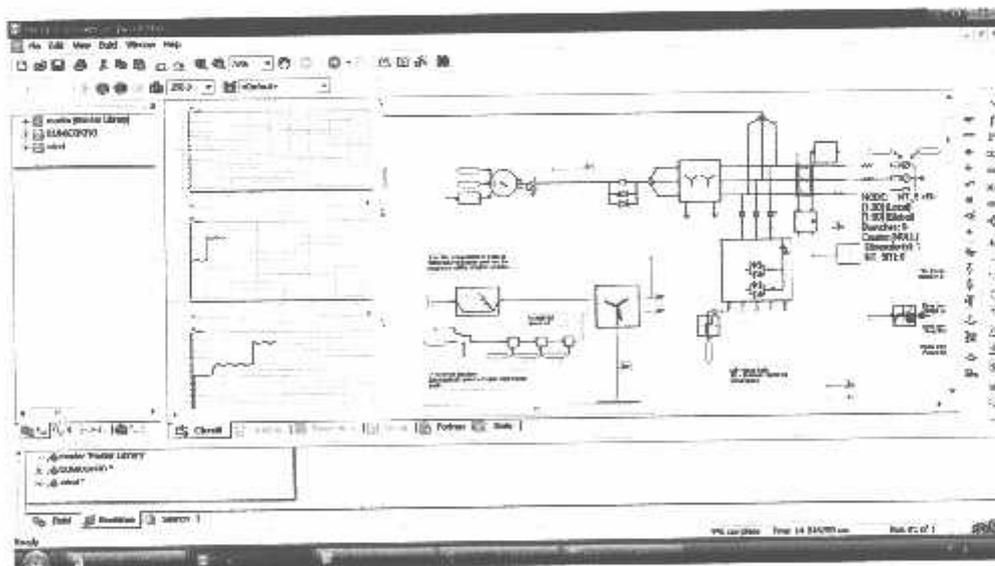
Gambar 3.7
Tampilan file yang baru kita buat dengan nama “noname”

- Semua komponen yang akan digunakan 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 3.8
Tampilan *Master Library*

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



Gambar 3.9
Tampilan *Single Line* Distribusi Tenaga Listrik
Kepulauan Nusa Penida Dalam *PSCAD*

3.11. Aksi Kontrol *Proporsional Integral* (PI)

3.11.1. Umum

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

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

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

para insinyur untuk mendesain sistem kontrol linier berumpan balik yang memenuhi persyaratan kinerja. Metode respon frekuensi dan tempat kedudukan akar, yang merupakan inti teori kontrol fisik, akan membawa sistem yang stabil dan memenuhi seperangkat persyaratan kinerja yang hampir seimbang.

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

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

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

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

3.11.2. Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses

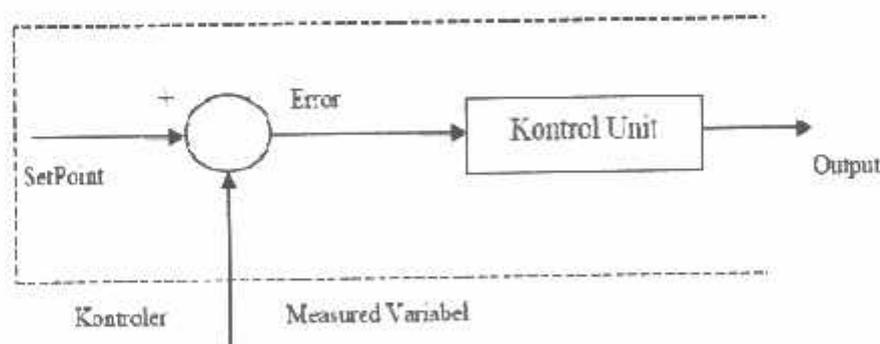
Dalam pengendali proses, operator mengerjakan empat langkah sebagai berikut: *Mengukur, Membandingkan, Menghitung dan Mengoreksi*. Keempat langkah yang dilakukan operator itu, seluruhnya dapat dikerjakan oleh

instrumentasi. Manusia kemudian sama sekali tidak menentukan keempat langkah tadi. Operator hanya perlu menentukan besarnya *set point*, dan semuanya akan dikerjakan secara otomatis oleh instrument. Sistem pengendali semacam inilah yang disebut sistem pengendali otomatis (*otomatik control system*). Keempat tahap pengendaliannya, sepenuhnya dilakukan oleh instrumentasi. Mata rantai pengendalinya kemudian disebut mata rantai tertutup, dan sistemnya juga disebut sistem pengendalian tertutup atau *sistem closed loop*.

3.11.3. Prinsip Kerja Pengendali

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

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

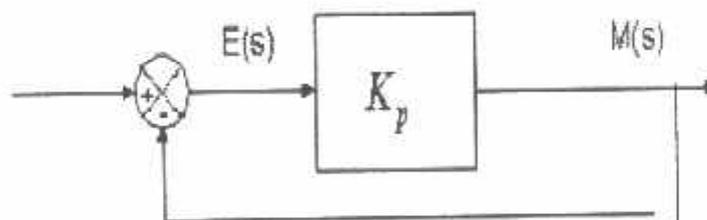


Gambar 3.10
Kontroler Dan Diagram Kotaknya

3.11.4. Pengendali Proporsional (*Proporsional Controller*)

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

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



Gambar 3.11

Diagram Blok Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki 2 parameter, yaitu pita proporsional (*proporsional band*) dan konstanta proporsional.

Hubungan antara pita proporsional (*PB*) dengan konstanta proporsional (K_p) ditunjukkan secara prosentase oleh persamaan berikut ini :

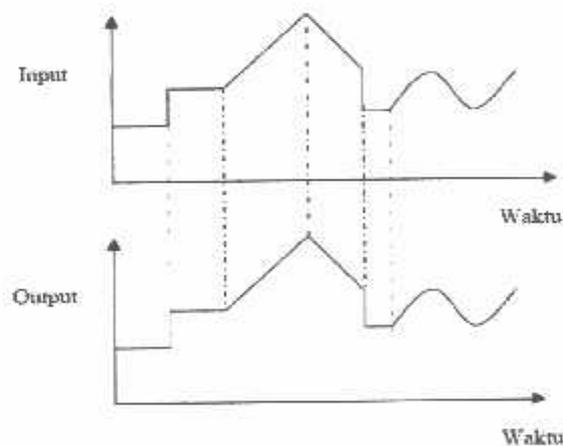
$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\%$$

Dimana:

PB = Proporsional Band

K_p = Konstanta Proporsional

Walaupun hubungan input-output unit kontrol proporsional bukan merupakan fungsi waktu, untuk bahan **perbandingan** dengan unit kontrol lain, ada baiknya kalau hubungan itu dinyatakan **dalam bentuk** kurva fungsi waktu. Dari gambar 3.12 jelas terlihat bahwa output selalu mengikuti input secara proporsional. Naik turunnya input diikuti secara langsung oleh output, dan besarnya selalu sama dengan input kali gain. Karena unit kontrol proporsional ini bukan fungsi waktu, dinamik gain pengendali ini sama dengan *steady state* gainnya. Dengan kata lain, besarnya gain tidak tergantung pada besarnya frekuensi loop.



Gambar 3.12

Response Sebuah Pengendali Proporsional

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

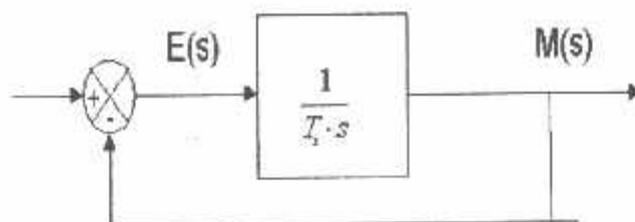
3.11.5. Pengendali Integral (*Integrator Controller*)

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

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

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

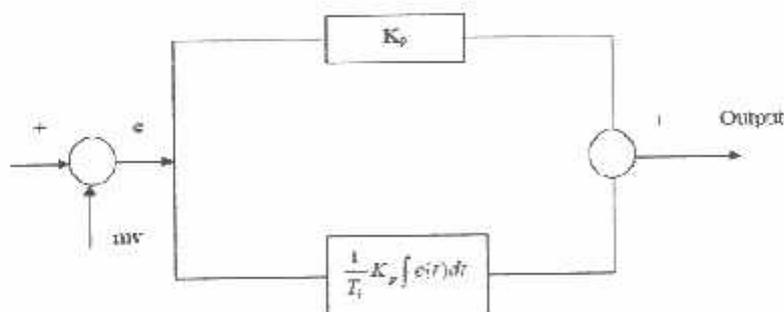
Gambar 3.14 menunjukkan blok diagram antara kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.



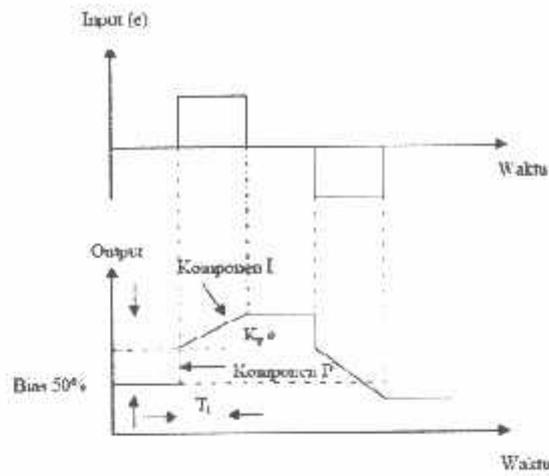
Gambar 3.13
Blok Diagram Kontroler Integral

3.11.6. Pengendali Proporsional Integral (*PI Controller*)

Karena sifatnya yang tidak mengeluarkan *output* sebelum selang waktu tertentu, pengendali integral jadi memperlambat respon, walaupun *offset* hilang oleh karenanya. Untuk memperbaiki lambatnya respon, umumnya pengendali integral dipasang paralel dengan pengendali proporsional seperti gambar 3.15. Gabungan kedua pengendali tersebut lazim disebut dengan pengendali PI atau PI kontroler, dan pengendali dikatakan punya dua mode, yaitu P dan I.

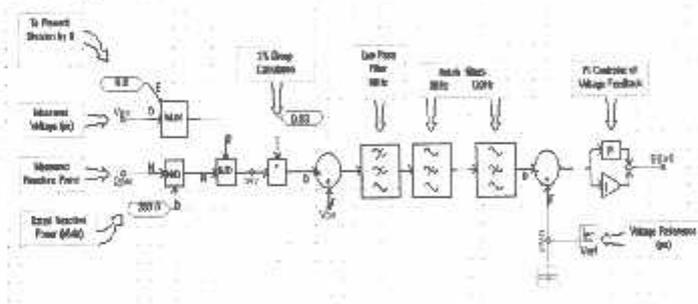


Gambar 3.14
Diagram Kotak Pengendali PI

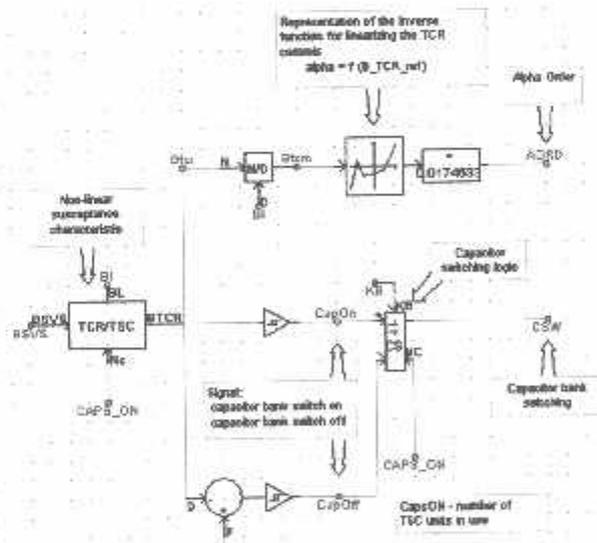


Gambar 3.15
Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu

3.12. Gambar Rangkaian Kontrol PI dan SPWM

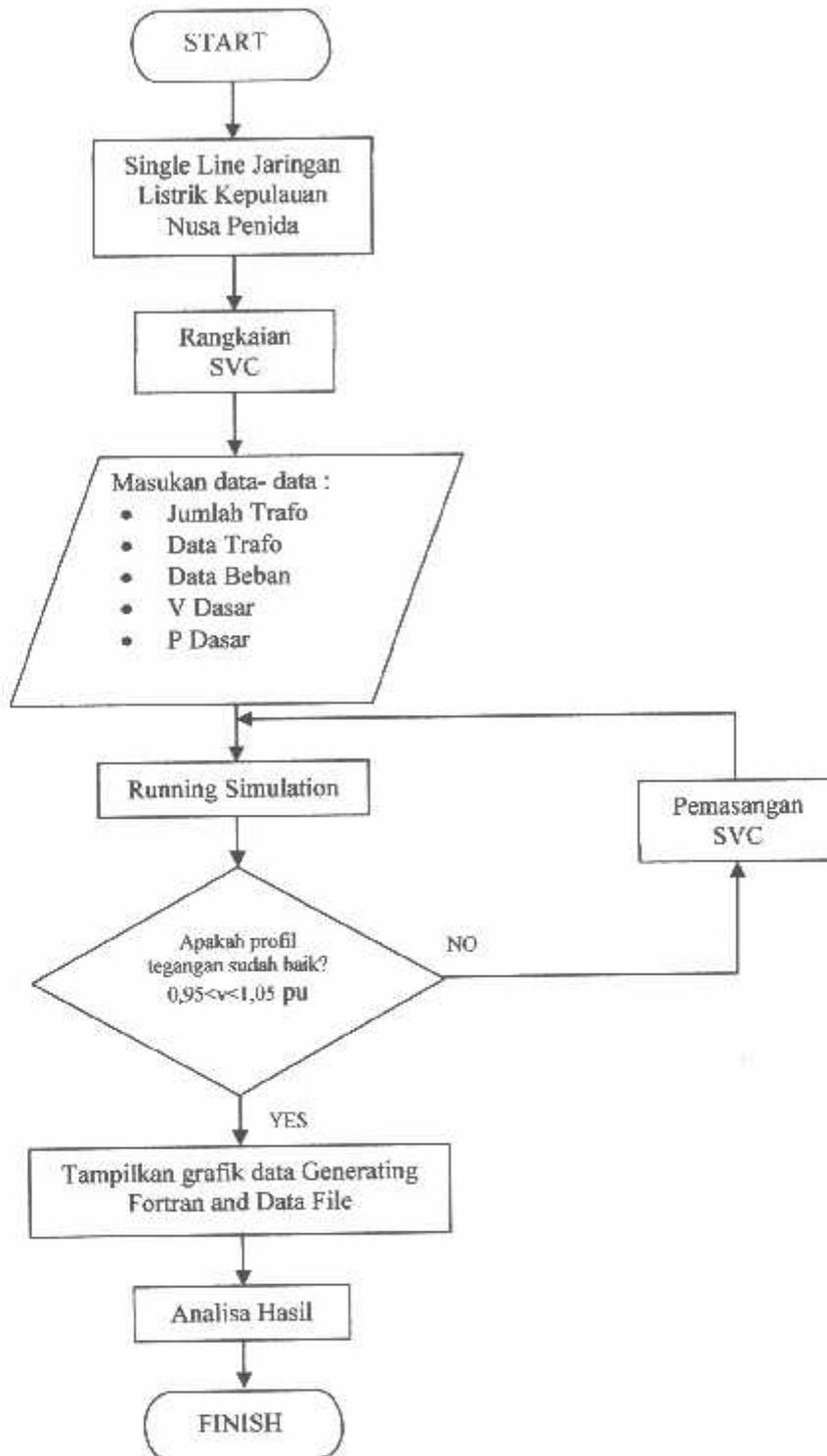


Gambar 3.16
Blok control PI



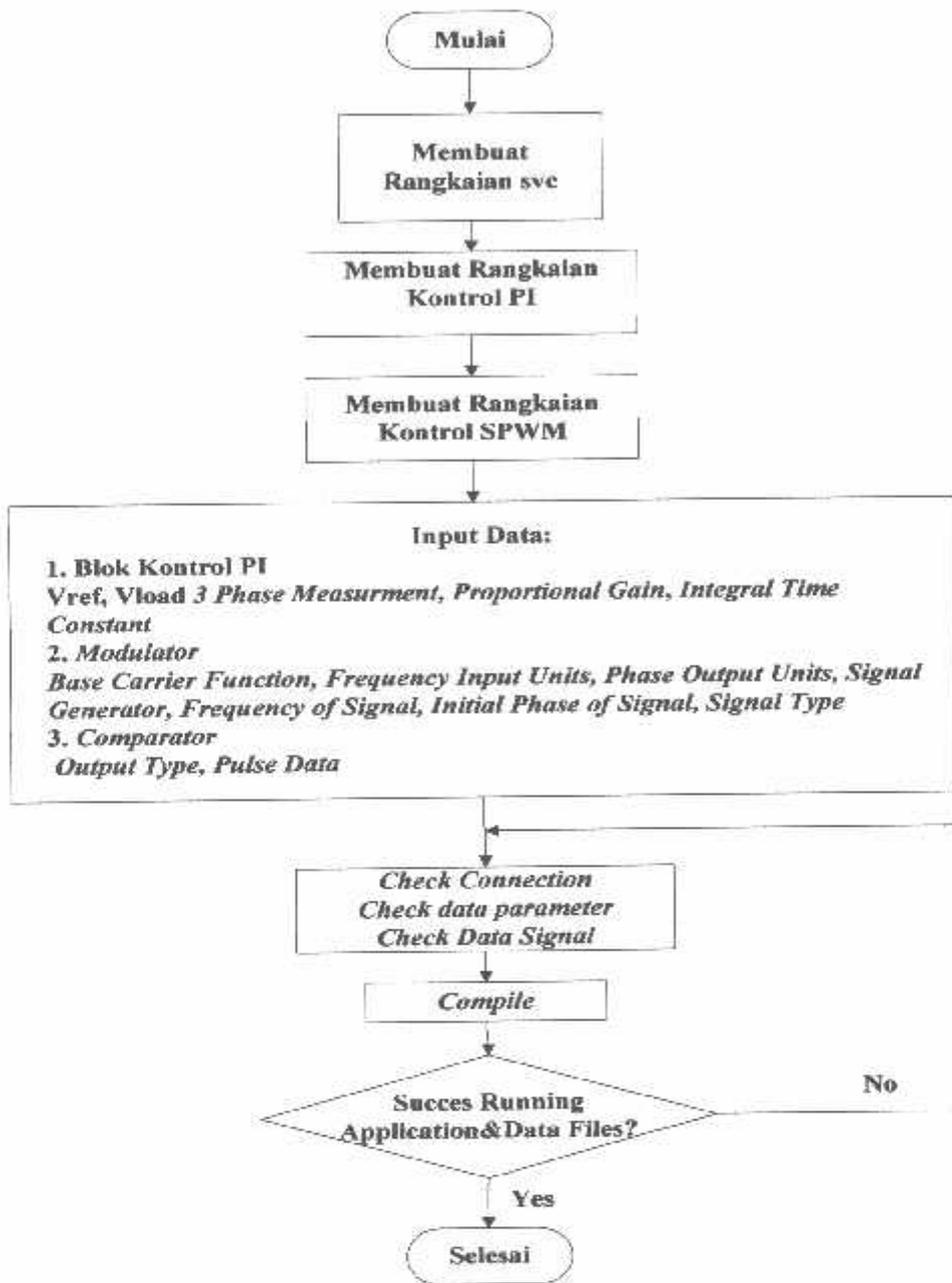
Gambar 3.17
Blok control SPWM

3.13. Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD/EMTDC



Gambar. 3.18
Flowchart penyelesaian masalah

3.14. Flowchart desain rangkaian kontrol PWM



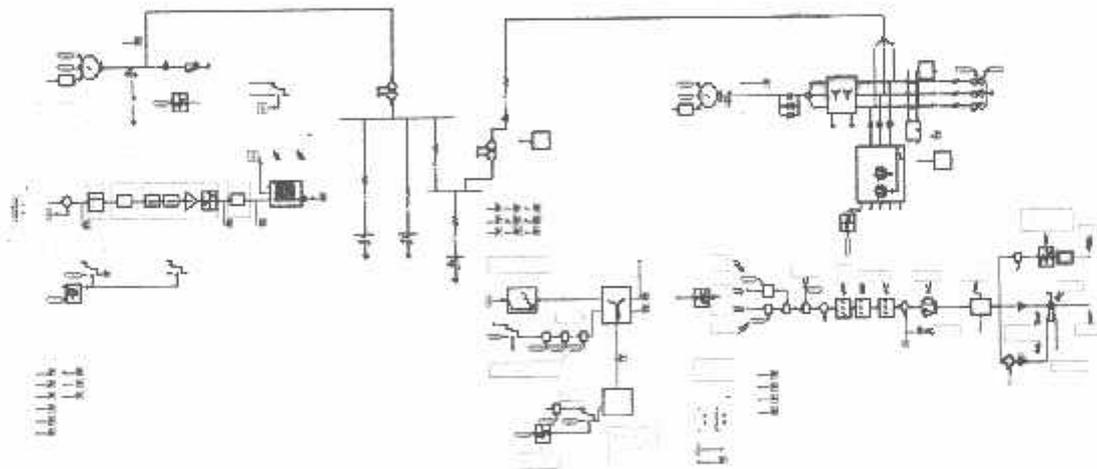
Gambar 3.19

Flowchart desain control SVC menggunakan PSCAD/EMTDC

BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1. Single Line Sistem Kelistrikan Kepulauan Nusa Penida

Pada simulasi akan dilakukan pengambilan data dengan perbandingan saat menggunakan *SVC* dengan tanpa menggunakan *SVC*. Setelah itu hasil keluaran tegangan akan dianalisa dan dapat dilihat seberapa besar kemampuan *SVC* dalam mensuplai daya reaktif ke sistem. Untuk mensimulasi sistem dalam software *PSCAD Power Simulation* maka terlebih dahulu digambarkan *single line* sistem Nusa Penida. Kemudian mensimulasikan sesuai dengan langkah kerja dan menanalisa hasilnya. *Power Simulation*. Berikut *single line* sistem kelistrikan Kepulauan Nusa Penida yang digambarkan menggunakan software *PSCAD/EMTDC SIMULATION*.



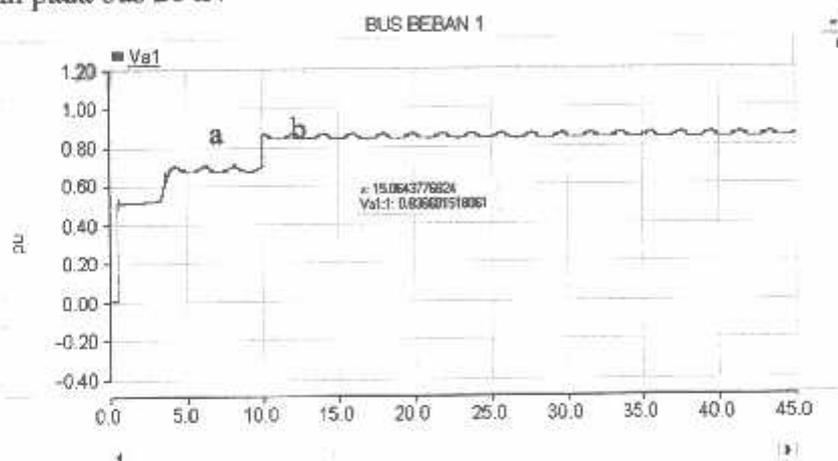
Gambar 4.1
Sistem kelistrikan Kepulauan Nusa Penida Dalam Software *PSCAD*

4.2. Solusi Perbaikan Profile Tegangan *Wind Turbine*.

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

4.3. Hasil Simulasi Ketika Sebelum Pemasangan SVC

Tegangan pada bus 20 kV



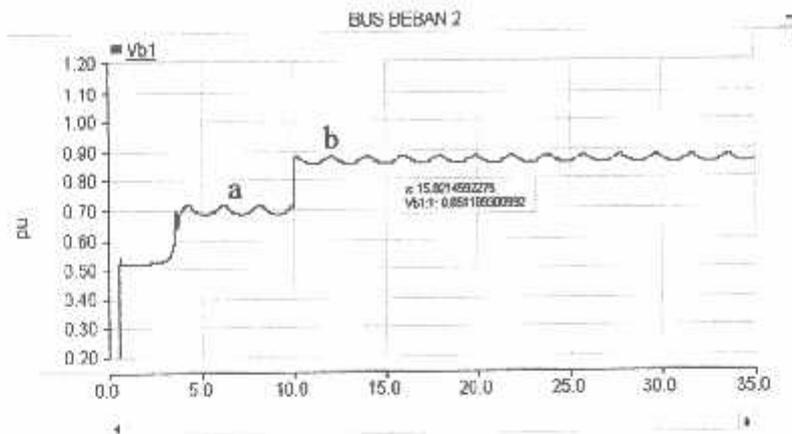
Gambar 4.2

Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Lembongan

a : Tegangan PLTD

b : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu

Gambar 4.2 menerangkan bahwa pada penyulang Lembongan, detik ke 7, tegangan listrik mencapai 0.67164 pu. Detik 0 hingga detik ke 10 merupakan tegangan yang masih menggunakan PLTD. Namun ketika PLTD berkerja bersamaan dengan PLTB (dapat dilihat pada detik ke 10 hingga detik ke 45) terjadi peningkatan tegangan listrik mendekati standart minimum yang ditetapkan oleh PLN. Hal tersebut dapat diketahui pada detik ke 26, tegangan listrik mengalami peningkatan menjadi 0.85321 pu. Ketika PLTD bekerja bersama dengan PLTB, tegangan yang dihasilkan menjadi lebih baik dibandingkan dengan hanya menggunakan PLTD saja.



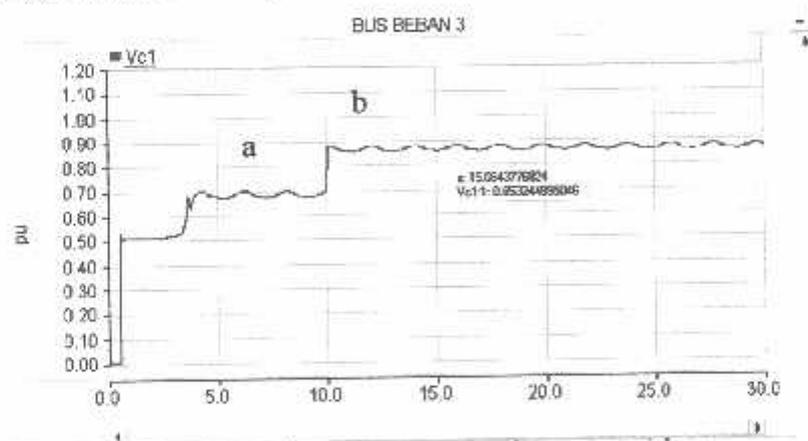
Gambar 4.3

Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Karang Sari

a : Tegangan PLTD

b : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu

Gambar 4.3 menerangkan bahwa pada penyulang Karang Sari, detik ke 7, tegangan listrik mencapai 0.68134 pu. Detik 0 hingga detik ke 10 merupakan tegangan yang masih menggunakan PLTD. Namun ketika PLTD berkerja bersamaan dengan PLTB (dapat dilihat pada detik ke 10 hingga detik ke 35) terjadi peningkatan tegangan listrik mendekati standart minimum yang ditetapkan oleh PLN. Hal tersebut dapat diketahui pada detik ke 26, tegangan listrik mengalami peningkatan menjadi 0.86782 pu. Ketika PLTD bekerja bersama dengan PLTB, tegangan yang dihasilkan menjadi lebih baik dibandingkan dengan hanya menggunakan PLTD saja.



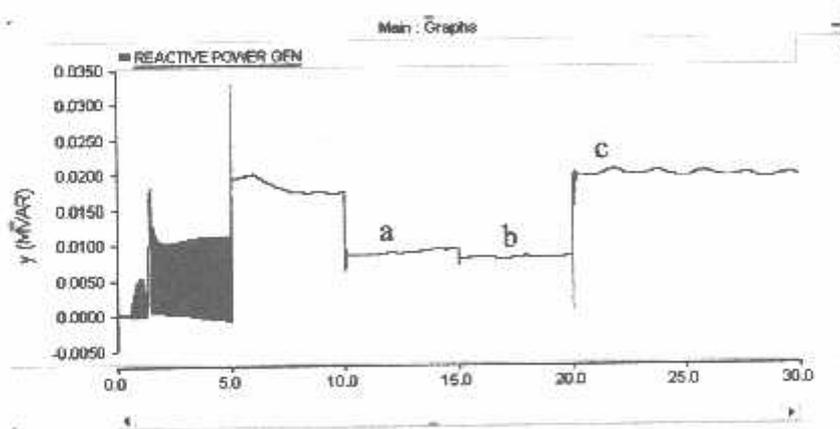
Gambar 4.4

Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Tanglad

a : Tegangan PLTD

b : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu

Gambar 4.4 menerangkan bahwa pada penyulang Tanglad, detik ke 7, tegangan listrik mencapai 0.67026 pu. Detik 0 hingga detik ke 10 merupakan tegangan yang masih menggunakan PLTD. Namun ketika PLTD berkerja bersamaan dengan PLTB (dapat dilihat pada detik ke 10 hingga detik ke 30) terjadi peningkatan tegangan listrik mendekati standart minimum yang ditetapkan oleh PLN. Hal tersebut dapat diketahui pada detik ke 26, tegangan listrik mengalami peningkatan menjadi 0.86911 pu. Ketika PLTD bekerja bersama dengan PLTB, tegangan yang dihasilkan menjadi lebih baik dibandingkan dengan hanya menggunakan PLTD saja. Tetapi saat PLTD dan PLTB bersama menyuplai tegangan, tegangan yang dihasilkan masih belum memenuhi standart PLN karena suplai daya reaktif dari *Wind Turbine* yang fluktuatif tidak dapat memenuhi kebutuhan beban (dapat dilihat pada gambar 4.5). Untuk mengatasi permasalahan ini *SVC* akan dipasang pada sisi *Wind Turbine* sehingga suplai daya reaktif dapat terpenuhi.



Gambar 4.5
Grafik Daya Reaktif pada *Wind Turbine*

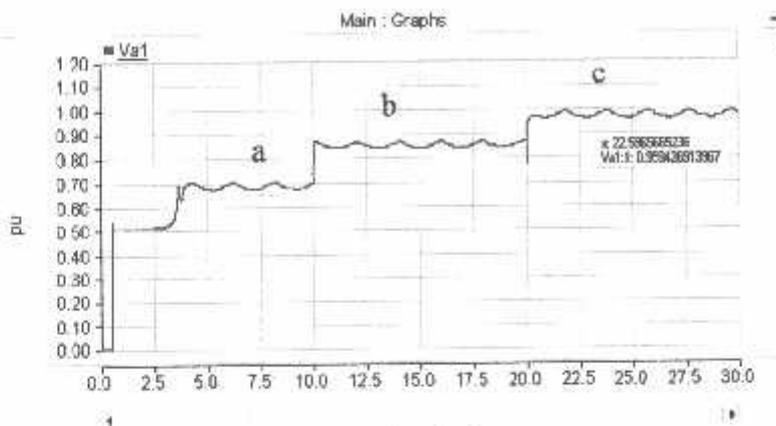
a : Daya Reaktif ketika *Wind Turbine* mulai masuk ke sistem (10s)

b : Daya Reaktif ketika ada penambahan beban pada penyulang Tanglad (15s)

c : Daya Reaktif sudah mengalami peningkatan ketika disuplai *SVC* (20s)

4.4. Hasil Simulasi Ketika Setelah Pemasangan SVC

Tegangan pada bus 20 kV



Gambar 4.6

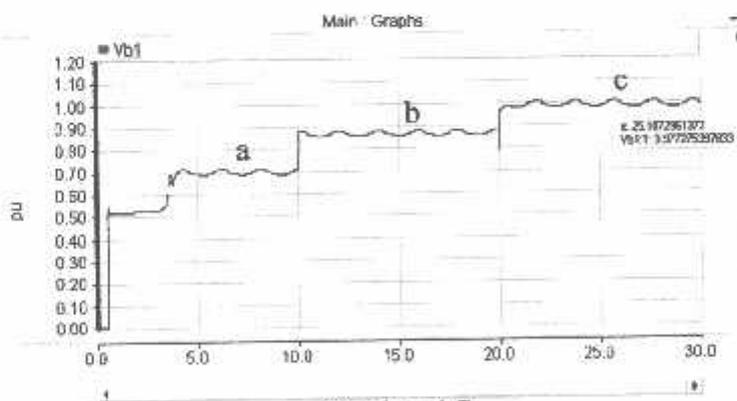
Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Lembongan

a : Tegangan PLTD

b : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu

c : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu setelah dikompensasi oleh SVC

Gambar 4.6 menerangkan bahwa pada penyulang Lembongan, detik ke 7 tegangan listrik mencapai 0.67164 pu. Detik 0 hingga detik ke 10 merupakan tegangan yang masih menggunakan PLTD. Namun ketika PLTD berkerja bersamaan dengan PLTB (dapat dilihat pada detik ke 10 hingga detik ke 20) tegangan meningkat menjadi 0.83705 pu di detik ke 15. SVC diinjeksi pada detik 20 dan dapat dilihat ketika detik ke 25 tegangan mulai meningkat secara signifikan mencapai 0,97548 pu sehingga penggunaan SVC dapat meningkatkan tegangan sesuai dengan standart tegangan yang ditetapkan oleh PLN.



Gambar 4.7

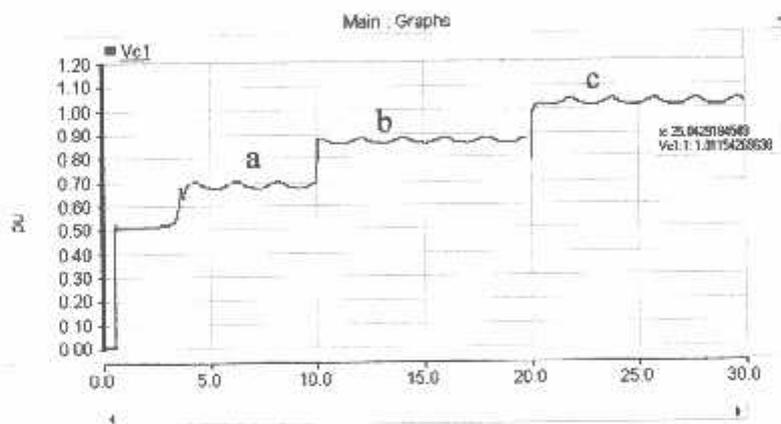
Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Karangsari

a : Tegangan PLTD

b : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu

c : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu setelah dikompensasi oleh SVC

Gambar 4.7 menerangkan bahwa pada penyulang Karang Sari, detik ke 7 tegangan listrik mencapai 0.68314 pu. Detik 0 hingga detik ke 10 merupakan tegangan yang masih menggunakan PLTD. Namun ketika PLTD berkerja bersamaan dengan PLTB (dapat dilihat pada detik ke 10 hingga detik ke 20) tegangan meningkat menjadi 0.85138 pu di detik ke 15. SVC diinjeksi pada detik 20 dan dapat dilihat ketika detik ke 25 tegangan mulai meningkat secara signifikan mencapai 0,95906 pu sehingga penggunaan SVC dapat meningkatkan tegangan sesuai dengan standart tegangan yang ditetapkan oleh PLN.



Gambar 4.8

Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Tanglad

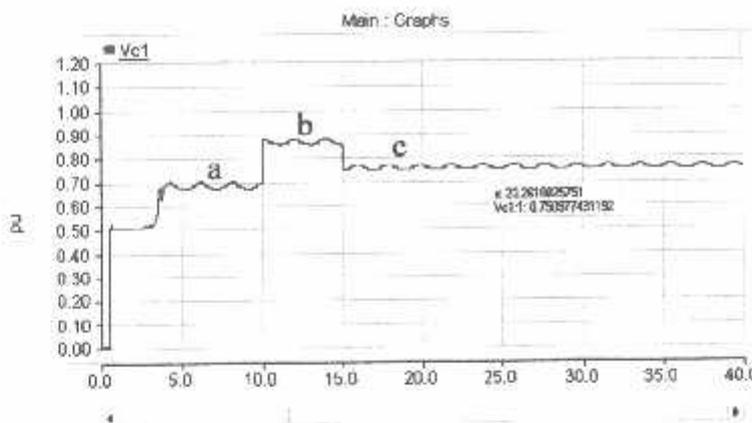
a : Tegangan PLTD

b : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu

c : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu setelah dikompensasi oleh SVC

Gambar 4.8 menerangkan bahwa pada penyulang Tanglad, detik ke 7 tegangan listrik mencapai 0.67026 pu. Detik 0 hingga detik ke 10 merupakan tegangan yang masih menggunakan PLTD. Namun ketika PLTD berkerja bersamaan dengan PLTB (dapat dilihat pada detik ke 10 hingga detik ke 20) tegangan meningkat menjadi 0.85354 pu di detik ke 15. SVC diinjeksi pada detik 20 dan dapat dilihat ketika detik ke 25 tegangan mulai meningkat secara signifikan mencapai 1.01091 pu sehingga penggunaan SVC dapat meningkatkan tegangan sesuai dengan standart tegangan yang ditetapkan oleh PLN.

4.5. Grafik hasil simulasi penambahan beban sebelum pemasangan SVC



Gambar 4.9

Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Tanglad

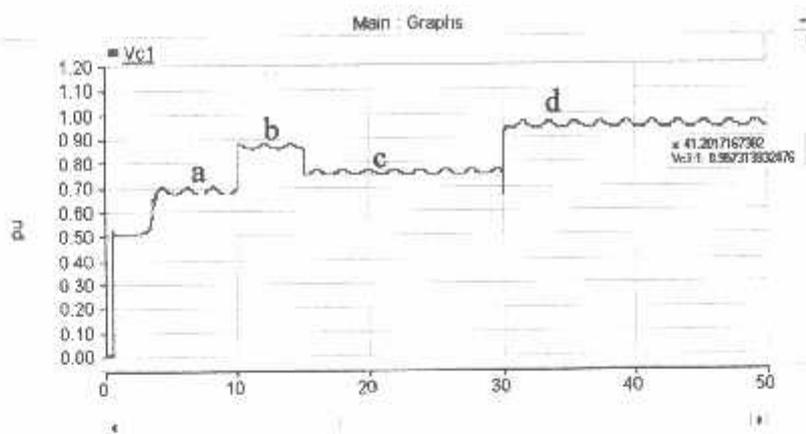
a : Tegangan PLTD

b : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu

c : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu setelah ada penambahan beban dan belum dikompensasi oleh SVC

Gambar 4.9 menerangkan bahwa pada penyulang Tanglad, detik ke 7 tegangan listrik mencapai 0.67026 pu. Detik 0 hingga detik ke 10 merupakan tegangan yang masih menggunakan PLTD. Namun ketika PLTD berkerja bersamaan dengan PLTB (dapat dilihat pada detik ke 10 hingga detik ke 15) tegangan meningkat menjadi 0.85410 pu di detik ke 13. Penambahan beban dilakukan pada detik ke 15. Tampak pada gambar tegangan mulai menurun mencapai 0.74674 pu di detik ke 25. Penambahan beban sangat berpengaruh terhadap turunnya tegangan apabila tidak diimbangi daya reaktif yang disuplai oleh sumber.

4.6. Grafik hasil simulasi penambahan beban setelah pemasangan SVC



Gambar 4.10

Grafik Tegangan RMS pada Bus Penyulang Tanglad

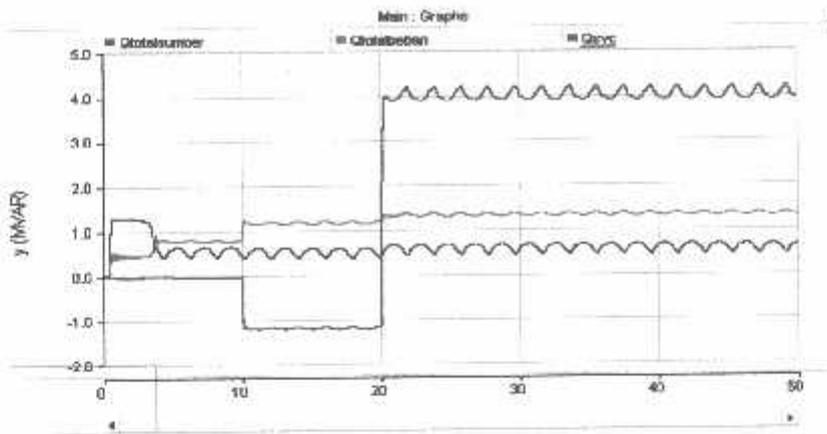
a : Tegangan PLTD

b : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu

c : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu setelah ada penambahan beban dan belum dikompensasi oleh SVC

d : Tegangan PLTD + Tegangan PLT Bayu setelah ada penambahan beban dan dikompensasi oleh SVC

Gambar 4.10 menerangkan bahwa pada penyulang Tanglad, detik ke 7 tegangan listrik mencapai 0.67026 pu. Detik 0 hingga detik ke 10 merupakan tegangan yang masih menggunakan PLTD. Namun ketika PLTD berkerja bersamaan dengan PLTB (dapat dilihat pada detik ke 10 hingga detik ke 15) tegangan meningkat menjadi 0.85410 pu di detik ke 13. Penambahan beban dilakukan pada detik ke 15. Tampak pada gambar tegangan mulai menurun mencapai 0.74674 pu di detik ke 25. SVC diinjeksi pada detik 30 dan dapat dilihat ketika detik ke 41 tegangan mulai meningkat secara signifikan mencapai 0.95008 pu sehingga penggunaan SVC dapat meningkatkan tegangan sesuai dengan standart tegangan yang ditetapkan oleh PLN. Penambahan beban sangat berpengaruh terhadap turunnya tegangan apabila tidak diimbangi daya reaktif yang disuplai oleh sumber.



Gambar 4.11

Grafik Daya Reaktif Beban, Sumber dan SVC

Gambar 4.11 menerangkan bahwa grafik berwarna hijau merupakan daya reaktif beban, grafik berwarna biru merupakan daya reaktif sumber dalam hal ini sumber : PLTB dan PLTD, grafik berwarna merah merupakan daya reaktif SVC. Ketika detik 10 PLT Bayu masuk ke sistem dan daya reaktif pada beban naik sedangkan daya reaktif SVC turun. Pada detik 20 SVC menginjeksi PLT Bayu dan daya reaktif SVC meningkat sesuai parameter yang kita injeksikan.

4.7. Analisa Hasil

4.7.1. Perbandingan Nilai Tegangan Dengan dan Tanpa SVC

Tabel 4.1

Perbandingan Nilai Tegangan Sebelum dan Sesudah Kompensasi, Penambahan Beban Sebelum dan Sesudah Kompensasi

Nama Bus Penyulang	Tanpa SVC	Suplai SVC	Penambahan beban tanpa SVC	Penambahan beban suplai SVC
	V (pu)	V (pu)	V (pu)	V (pu)
Lembongan	0,84194	0,96240	0,80557	0,97085
Karangsari	0,85635	0,97888	0,81231	0,98591
Tanglad	0,85829	1,01424	0,79683	1,00991

4.7.2. Perbandingan Daya Aktif dan Daya Reaktif Beban Dengan dan Tanpa SVC

Tabel 4.2

Perbandingan Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Kompensasi, Penambahan Beban Sebelum dan Sesudah Kompensasi

Nama Bus Penyulang	Tanpa SVC	Suplai SVC	Penambahan beban tanpa SVC	Penambahan beban suplai SVC
	P (MW)	P (MW)	P (MW)	P (MW)
Lembongan	1,18813	1,55240	0,62680	0,92448
Karangsari	0,48927	0,63924	0,25734	0,38051
Tanglad	0,65722	0,91759	0,31299	0,53201

Tabel 4.3

Perbandingan Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Kompensasi, Penambahan Beban Sebelum dan Sesudah Kompensasi

Nama Bus Penyulang	Tanpa SVC	Suplai SVC	Penambahan beban tanpa SVC	Penambahan beban suplai SVC
	Q (MVar)	Q (MVar)	Q (MVar)	Q (MVar)
Lembongan	0,59490	0,77721	0,47109	0,68908
Karangsari	0,25269	0,33011	0,20104	0,29279
Tanglad	0,32758	0,45736	0,22789	0,40205

Dari tabel 4.1 dan grafik 4.6, 4.7, 4.8 tampak bahwa SVC mampu menginjeksi daya reaktif *Wind Turbine* sehingga tegangan dapat mencapai pada kisaran yang diijinkan (0.95 – 1.05 pu). Dimana ditunjukkan bahwa :

- Bus Beban Lembongan :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0,84194$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 0,96240$ pu
- Bus Beban Karangsari :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0,85635$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 0,97888$ pu
- Bus Beban Tanglad :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0,85829$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1,01424$ pu

Contoh analisa perhitungan besar tegangan yang diinjeksikan pada sistem, pada penelitian ini diambil contoh pada bus beban Tanglad, dimana :

$$V_{without\ SVC} = 0,85829\ pu$$

$$V_{with\ SVC} = 1,01424\ pu$$

Besar optimasi perbaikan kualitas tegangan sebesar :

$$\begin{aligned} V_{optimasi} &= V_{with\ SVC} - V_{without\ SVC} \\ &= 1,01424\ (pu) - 0,85829\ (pu) \\ &= 0,15595\ (pu) \end{aligned}$$

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

$$V_{optimasi} = 0,15595 \times 20\ kV = 3,119\ kV$$

Prosentase besar $V_{optimasi}$ yang diperoleh adalah :

$$\begin{aligned} \% V_{optimasi} &= \left| \frac{V_{with\ SVC} - V_{without\ SVC}}{V_{with\ SVC}} \right| \times 100\ \% \\ &= \left| \frac{1,01424 - 0,85829}{1,01424} \right| \times 100\ \% \\ &= 0,15376 \times 100\ \% = 15,37\ \% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, besar $\% V_{optimasi}$ pada setiap bus penyulang ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4
Prosentase $V_{optimasi}$

Bus Penyulang	$V_{OPTIMASI}$ (kV)	$\% V_{OPTIMASI}$
Lembongan	2,4092	12,51
Karangsari	2,4506	12,51
Tanglad	3,119	15,37

Berdasarkan simulasi dan perhitungan, bus penyulang yang mengalami injeksi terbesar adalah penyulang Tanglad, hal ini disebabkan karena sistem *hybrid* dikoneksikan pada penyulang Tanglad. Dimana voltage yang terjadi sebesar 0,85829 pu. SVC mampu mereduksi voltage yang terjadi hingga penyulang Tanglad mengalami kenaikan sebesar 1,01424 pu. $V_{optimasi}$ pada penyulang Tanglad sebesar :

$$V_{optimasi} = 3,119\ kV\ \text{atau}\ 15,37\ \%$$

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pengaruh pemasangan SVC (*Static Var Compensator*) pada sistem kelistrikan kepulauan Nusa Penida dengan menggunakan bantuan *software PSCAD /EMTDC V4.2 Power System Simulation*, maka dapat diambil kesimpulan :

1. SVC (*Static Var Compensator*) dapat memperbaiki profile tegangan hingga mencapai kisaran 1,04 pu.
2. Pemasangan SVC pada sistem *Wind Turbine* juga berpengaruh pada peningkatan tegangan pada bus beban 1 (penyulang Lembongan) sebesar 12,51% atau setara dengan 2,4092 kV dan pada bus beban 2 (penyulang Karangasari) sebesar 12,51% atau setara dengan 2,4506 kV
3. Tegangan mengalami perbaikan pada bus beban ketiga dari 0,85829 (pu) atau 17,16 kV menjadi 1,01424 (pu) atau 20,28 kV.
4. Kenaikan tegangan pada penyulang Tanglad setelah pemasangan SVC sebesar 15,37% atau setara dengan 3,119 kV
5. Hubungan antara beban dengan *SVC* berbanding lurus, semakin besar beban maka kebutuhan VAR yang diinjeksikan semakin besar pula sehingga untuk memenuhi kebutuhan beban maka *rating* SVC harus dinaikkan sesuai kebutuhan beban agar mencapai variasi tegangan yang diijinkan yaitu berkisar antara 0,95 – 1,05 pu berdasarkan standar PT. PLN (Persero).^[1]

5.2. Saran

Bahwa 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 *Static Var Compensator* (SVC) untuk meningkatkan kualitas tegangan sangat diperlukan. Karena ditempat tersebut merupakan wilayah yang tidak terinterkoneksi dengan sistem kelistrikan Jawa-Bali dimana suplai dan kualitas tegangan sangat dibutuhkan untuk menjaga

kualitas penyaluran tenaga listrik sehingga pada Kepulauan Nusa Penida menjadi penyalur tenaga listrik yang handal dan ideal sebagai penyokong energi di wilayah Nusa Penida.

DAFTAR PUSTAKA

- Basri, Hasan. 1997. "*Sistem Distribusi Daya Listrik*". Jakarta: ISTN.
- Cedrat. 2006. "*Wind Turbine Applications Technical Paper*." France.
- Djiteng, Mersudi. 1993. "*Operasi Sistem Tenaga Listrik*". Edisi keempat. Jakarta: Erlangga.
- E. Acha, V.G Agelidis, O Naya-lara, Miller T.J.E. 2002. "*Power Electronic Control In Electrical System*". Newnes, USA.
- Halliday, David. 1999. "*Fisika Dasar*". Edisi ketiga. Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- PT. PLN (Persero) Jasa Pendidikan Dan Pelatihan. "*Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Dan Tegangan Rendah*". APJ Malang.
- Rajapakse, and Anawat Puangpairoj. 2006. "*Harmonic Reducing ANN Controller For a SVC Compensating Unbalanced Fluctuating Load*". A.5 Volume 7.
- Rakhmawati, Afranisa. Skripsi. 2009. "*Pengaruh Pemasangan Pembangkit Terdistribusi Terhadap Rele Arus Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik Nusa Penida Bali*". ITS Surabaya.
- Rhonda R. Peters. 2010. *Electric Power Systems Research*. Canada.
- Safrizal, Thesis. 2006. "*Pemilihan Lokasi Static Var Compensator Untuk Perbaikan Voltage Collapse Menggunakan Metode Genetic Algorithem*". ITS Surabaya.
- Soedjojo, Dr. Peter. 2000. "*Fisika Dasar*". Yogyakarta: Andi.
- www.google-map.com

LAMPIRAN



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

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

NI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : CANDRA KIRANA
2. NIM : 07.12.010
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : **ANALISA PEMASANGAN *STATIC VAR COMPENSATOR* (SVC) UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) DI PULAU NUSA PENIDA BALI**

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

Hari : Sabtu
Tanggal : 20 Agustus 2011
Dengan Nilai : 90 (A) *g*

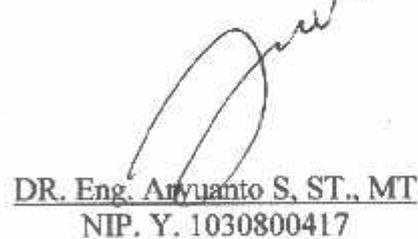
Panitia Ujian Skripsi :

Ketua



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

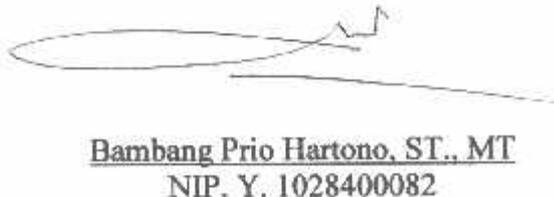
Sekretaris



DR. Eng. Anuwanto S, ST., MT
NIP. Y. 1030800417

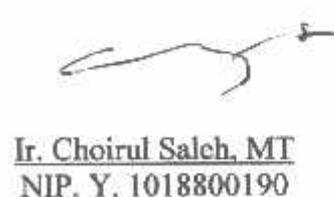
Anggota Penguji :

Penguji I



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

Penguji II



Ir. Choirul Salch, MT
NIP. Y. 1018800190



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Sabtu
Tanggal : 20 Agustus 2011

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : CANDRA KIRANA
2. NIM : 07.12.010
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : **ANALISA PEMASANGAN *STATIC VAR COMPENSATOR* (SVC) UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) DI PULAU NUSA PENIDA BALI**

No	Materi Perbaikan	Ket
1	Abstrak Disempurnakan	A
2	Daftar Pustaka Diperhatikan	B
3	Tujuan	D

Dosen Penguji I

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

Dosen Penguji II

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP. Y. 1018800190

Dosen Pembimbing I

Awan Uji Krismanto, ST., MT
NIP.198003012005011002

Dosen Pembimbing II

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



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : CANDRA KIRANA
Nim : 07.12.010
Masa Bimbingan : 02 Juli 2011 s/d 02 Januari 2012
Judul Skripsi : ANALISA PEMASANGAN *STATIC VAR COMPENSATOR (SVC)* UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) di PULAU NUSA PENIDA

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	23-07-2011	Bimbingan teori pada Bab I, II dan III	
2.	26-07-2011	Perbaiki sistematika penulisan pada Bab I, II dan III	
3.	27-07-2011	Cek uji validasi, apakah sesuai dengan hasil pada jurnal	
4.	29-07-2011	Bimbingan Bab IV dan V	
5.	04-08-2011	Revisi Bab IV dan V	
6.	10-08-2011	Bimbingan makalah seminar hasil	
7.	13-08-2011	Acc makalah seminar hasil	
8.	15-08-2011	Revisi semua Bab	
9.	16-08-2011	Acc ujian skripsi	
10.			

Malang,
Dosen Pembimbing I,

(Awan Uji Krismanto, ST.MT)
NIP.1980030120050110002

Form.S-4b



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : CANDRA KIRANA
Nim : 07.12.010
Masa Bimbingan : 02 Juli 2011 s/d 02 Januari 2012
Judul Skripsi : ANALISA PEMASANGAN *STATIC VAR COMPENSATOR (SVC)* UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) di PULAU NUSA PENIDA

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	22-07-2011	Bimbingan teori pada Bab I, II dan III	
2.	26-07-2011	Perbaiki sistematika penulisan pada Bab I, II dan III	
3.	29-07-2011	Cek uji validasi, apakah sesuai dengan hasil pada jurnal	
4.	30-07-2011	Bimbingan Bab IV dan V	
5.	02-08-2011	Revisi Bab IV dan V	
6.	10-08-2011	Bimbingan makalah seminar hasil	
7.	13-08-2011	Acc makalah seminar hasil	
8.	15-08-2011	Revisi semua Bab	
9.	16-08-2011	Acc ujian skripsi	
10.			

Malang,

Dosen Pembimbing II,

(Ir. Yusup Ismail Nakhoda, MT)

N.P.Y.1018800189

Form.S-4b

Biografi Penulis



Candra Kirana lahir pada tanggal 26 Juni 1989 di Kota Malang, Jawa Timur. Merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara putra Bapak Bambang Utojo dan Ibu Suhartiningsih. Penulis memulai pendidikan pada tahun 1993 di TK. TARUNA Malang. Pada tahun 1995 penulis melanjutkan pendidikannya di SD Narotama II Malang dan lulus tahun 2001. Pertengahan tahun 2001 penulis mengenyam pendidikan di SMP Negeri 5 Malang sampai dengan tahun 2004. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 2 Malang mulai tahun 2004 sampai dengan 2007. Pendidikan diperguruan tinggi dimulai pada bulan September tahun 2007 di Institut Teknologi Nasional Malang pada Fakultas Teknik Industri jurusan teknik Elektro S-1 dengan konsentrasi Teknik Energi Listrik dan diwisuda pada tanggal 24 September 2011.
