

**PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU  
PADA SISTEM HYBRID  
DITEKNIK ELEKTRO ITN MALANG**

**SKRIPSI**



**Disusun Oleh :  
Prima Adhi Triana  
NIM. 0912008**

**PROGRAM STUDI ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2013**

---

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU PADA SISTEM HYBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN MALANG

#### SKRIPSI

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

Disusun oleh :  
**PRIMA ADHI TRIANA**  
NIM : 09.12.008

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1


  
(M. Ibrahim Ashari, ST, MT)  
NIP. P. 1030100358

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
**Ir. Teguh Herbasuki, MT**  
NIP.Y.1038900209

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

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2013**

## SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : PRIMA ADHI TRIANA

NIM : 0912008

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : 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, 21 Maret 2013

Yang membuat Pernyataan,



PRIMA ADHI TRIANA  
0912008

## ABSTRAK

### PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU PADA SISTEM HYBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN MALANG

Prima Adhi Triana, NIM 0912008

Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT dan  
Ir. Choirul Saleh, MT

Energi angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternative untuk menghasilkan listrik melalui konversi pembangkit listrik tenaga bayu. Namun sumber angin yang berfluktuatif menghasilkan daya keluaran yang tidak stabil. Maka dari itu pada tugas akhir ini disamping untuk mengetahui karakteristik dari PLTB (pembangkit listrik tenaga bayu) di ITN Malang pada sistem hybrid, juga dilakukan pemodelan dan desain sistem kendali dengan pengaturan sinyal gate pada converter dengan menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) menggunakan metode P&O (*Perturbation and Observation*) control untuk meningkatkan daya keluarannya. Metode tersebut bekerja dengan mengukur nilai tegangan dan arus pada sisi beban sebagai *input* kontrol. Pemodelan ini dilengkapi dengan generator sinkron magnet permanen (PMSG), penyearah diode (*Rectifier*) dan *boost converter*. Maka diperoleh hasil pertama, perbandingan antara model simulasi tanpa MPPT dengan hasil yang menggunakan MPPT. Hasil kedua, perbandingan antara model simulasi tanpa MPPT dengan hasil pengukuran dari keluaran konverter pada PLTB. Maka Dapat disimpulkan bahwa turbin angin yang menggunakan MPPT memiliki daya rata-rata yang lebih besar daripada tidak menggunakan MPPT. Nilai eror perbandingan antara model simulasi tanpa MPPT dengan pengukuran dari keluaran konverter adalah 4,41% untuk nilai rata-rata tegangan, dan 6,10% untuk nilai rata-rata arus. Pemodelan dan simulasi pembangkit listrik tenaga bayu ini menggunakan software MATLAB/SIMULINK R2008b.

**Kata kunci :** PLTB, Turbin Angin, PMSG, MPPT, diode rectifier dan boost converter

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami selaku penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul **“PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU PADA SISTEM HYBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN MALANG ”** 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 Informatika & Komputer ITN Malang. Sebagai pihak penyusun, penulis menyadari tanpa adanya 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. H. Anang Subardi, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. M.Ibrahim Ashari,ST, MT selaku Ketua Prodi Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Ir. Teguh Herbasuki, MT selaku Dosen Pembimbing satu Skripsi.
5. Ir.Choirul Saleh, MT selaku Dosen Pembimbing dua Skripsi.
6. Sahabat-sahabat dan rekan-rekan yang tidak kami sebutkan satu-persatu, kami ucapkan banyak terima kasih atas bantuannya dalam proses pembuatan Skripsi.

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, 15 Maret 2013

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GRAFIK .....</b>	<b>ix</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	 <b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Pembahasan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Metodologi Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
 <b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	 <b>5</b>
2.1. Konstruksi Sistem Hybrid .....	5
2.2. Sistem Turbin Angin .....	6
2.3. Jenis Turbin Angin .....	8
2.3.1. Turbin Angin Jenis <i>HAWT</i> .....	8
2.3.2. Turbin Angin Jenis <i>VAWT</i> .....	9
2.4. Energi Angin .....	10
2.5. Ekstraksi Daya Mekanik Dari Turbin Angin .....	11
2.6. Karakteristik Daya Rotor Turbin Angin .....	14
2.7. Sistem Elektrik .....	17
2.7.1 Generator Sinkron .....	18
2.7.2 Power Elektronik .....	21
2.7.2.1 Penyearah Tegangan ( <i>Rectifier</i> ).....	22

2.7.2.2 DC /DC Konverter .....	24
<b>BAB III PEMODELAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK</b>	
<b>TENAGA BAYU .....</b>	<b>28</b>
3.1. Maximum Power Point Tracker algorithm.....	28
3.1.1. Perubahan Langkah Variabel ( $\Delta V_{dc}$ ) .....	31
3.2. Dc / Dc Kontroler Konverter .....	32
3.3. <i>Flowchart</i> Validasi Model <i>MATLAB/SIMULINK</i> .....	34
3.4. Model Turbin Angin .....	35
3.5. PMSG dan DC Konverter .....	36
<b>BAB IV SIMULASI MODEL DAN ANALISA HASIL .....</b>	<b>38</b>
4.1. Perbandingan Hasil Pemodelan Tanpa MPPT Dengan Hasil Pengukuran Keluaran Konverter.....	38
4.2. Data Hasil Pengukuran Dan Simulasi .....	39
4.3. Hasil Simulasi Model .....	40
4.4. Perhitungan Prosentase Nilai Error.....	42
4.5. Perbandingan Hasil Pemodelan Tanpa MPPT Dengan Hasil Pemodelan Menggunakan MPPT .....	45
4.6. Data Hasil Simulasi.....	46
4.7. Perhitungan Prosentase Nilai Kenaikan Antara Hasil Simulasi Tanpa MPPT Dan Dengan MPPT .....	48
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>51</b>
5.1. Kesimpulan .....	51
5.2. Saran .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

2.1. Struktur Sistem Hybrid.....	5
2.2. Komponen Turbin Angin .....	7
2.3. Jenis Turbin Angin .....	8
2.4. Kecepatan Angin Terhadap Permukaan Tanah.....	11
2.5. Karakteristik $C_p-\lambda$ Turbin Angin .....	14
2.6. Karakteristik Daya Mekanik Turbin dengan Kecepatan Rotor .....	16
2.7. Karakteristik Torsi-Kecepatan Rotor Generator .....	17
2.8. Konfigurasi Dasar dari PMSM Eksterior .....	18
2.9. Salah Satu Fase dari Mesin Sinkron dioperasikan Sebagai Generator	20
2.10. Dioda Tiga Fasa Penyearah Jembatan Penuh.....	22
2.11. Proses Pergantian Diode Penyearah .....	24
2.12. <i>Boost (Step Up) Converter</i> .....	25
2.13. <i>The Boost Converter</i> : (A) Mengaktifkan (Mode 1), (B) Matikan (Mode 2) .....	25
3.1. Skema Sistem Ekstraksi Dari Turbin Angin Hingga Beban Resistif..	27
3.2. Sistem Turbin Angin .....	28
3.3. Diagram Alir <i>Maximum Power Point Tracker</i> .....	29
3.4. Proses <i>Maximum Power Point Tracker</i> .....	30
3.5. Blok Diagram Dari Kontroler Dc/Dc Konverter .....	32
3.6. Model Matematis Kontrol MPPT .....	33
3.7. <i>Flowchart</i> Validasi Model <i>MATLAB/SIMULINK</i> .....	34
3.8. Model Matematis Turbin Angin.....	35
3.9. Model PMSG Dan DC/DC Konverter .....	36
4.1. Model PLTB Tanpa MPPT Dengan Software <i>MATLAB/SIMULINK</i> .	38
4.2. Kecepatan Angin pada Turbin .....	39
4.3. Hasil Simulasi Tegangan Keluaran Dari Konverter Tanpa MPPT.....	41
4.4. Hasil Simulasi Arus Keluaran Dari Konverter Tanpa MPPT .....	41
4.5. Hasil Simulasi Daya Keluaran Dari Konverter Tanpa MPPT .....	42



4.6. Model PLTB Menggunakan MPPT Dengan Software MATLAB/SIMULINK.....	45
4.7. Hasil Simulasi Tegangan Keluaran Dari Konverter Menggunakan MPPT.....	47
4.8. Hasil Simulasi Arus Keluaran Dari Konverter Menggunakan MPPT.	47
4.9. Hasil Simulasi Daya Keluaran Dari Konverter Menggunakan MPPT.	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Parameter Turbin Angin.....	36
Tabel3.2. Parameter Generator Listrik.....	37
Tabel 3.3. Parameter Konverter DC/DC.....	37
Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran dengan Data Hasil Simulasi Tanpa MPPT.....	40
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Nilai Error Tegangan Dan Arus Keluaran Dari Konverter.....	43
Tabel 4.3. Hasil Perbandingan Antara Hasil Simulasi Tanpa MPPT Dengan Yang Menggunakan MPPT.....	46
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Nilai Kenaikan Tegangan Dan Arus.....	49

## DAFTAR GRAFIK

Tabel 4.1. Hasil Perbandingan Tegangan Hasil Pengukuran Dengan Hasil Simulasi Tanpa Mppt .....	44
Tabel 4.2. Hasil Perbandingan Arus Hasil Pengukuran Dengan Hasil Simulasi Tanpa MPPT .....	44
Tabel 4.3. Hasil Perbandingan Tegangan Tanpa MPPT Dengan Yang Menggunakan MPPT .....	50
Tabel 4.4. Hasil Perbandingan Arus Tanpa MPPT Dengan Yang Menggunakan MPPT .....	50

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya energi berlimpah dan beragam baik yang bersumber dari fosil seperti minyak bumi, batubara dan gas bumi. Ataupun sumber energi alternatif dan terbarukan lainnya seperti tenaga surya, tenaga angin, tenaga air, geothermal, biomasa dan lain-lain. Namun pada kenyataannya, banyak pembangkit listrik di Indonesia yang menggunakan energi berbahan dasar fosil sebagai bahan bakar untuk menggerakkan turbin generatornya. Permasalahannya pada pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil yaitu mulai dari ketersediaannya yang terbatas sampai emisi udara hasil pembakaran yang mengakibatkan pemanasan global. Maka dari itu pemanfaatan energi terbarukan (*Renewable Energy*) mutlak digunakan disamping dapat mengurangi krisis energi, juga sebagai sumber energi yang ramah lingkungan.

Energi angin merupakan salah satu potensi energi terbarukan (*Renewable energy*) yang dapat memberikan kontribusi terhadap kebutuhan energi listrik domestik, khususnya wilayah terpencil. Pembangkit energi angin yang biasa disebut Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) ini merupakan energi bebas polusi dan tersedia di mana pun, maka pembangkit ini dapat menjawab masalah lingkungan hidup dan ketersediaan sumber energi.

Permasalahan lain yang timbul dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu yaitu ketidakstabilan tegangan dan daya output yang disebabkan oleh fluktuasi perubahan kecepatan angin terhadap waktu dan besarnya yang tidak bisa diprediksi. Maka dari itu diperlukan pemodelan pembangkit energi angin untuk mempermudah perancangan dan analisa dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga

Bayu serta sistem kendali untuk menjaga kestabilan serta mengontrol kerja dari turbin angin dengan menggunakan *power control*.

Sistem kendali dengan menggunakan kontrol daya (*power control*) digunakan untuk menghasilkan daya output yang stabil tanpa terpengaruh dengan fluktuasi kecepatan angin. Sistem MPPT merupakan salah satu sistem kontrol yang digunakan pada turbin angin sebagai pengendali *power control*. Dalam skripsi ini, penulis membuat pemodelan sekaligus memvalidasikan dari model Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Teknik Elektro ITN Malang dengan menggunakan software MATLAB Simulink. Model yang dibuat merupakan gabungan dari beberapa model yang sudah dikembangkan para peneliti sebelumnya, dan digunakan sebagai alat bantu dalam merancang, membangun dan menganalisa sistem pembangkit energi angin.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat pada skripsi ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara untuk memodelkan dan menganalisa pembangkit listrik tenaga bayu di Teknik Elektro ITN Malang?
2. Bagaimana kesesuaian validasi antara model yang dibuat dengan Pembangkit listrik tenaga bayu di Teknik Elektro ITN Malang?
3. Seberapa besar nilai eror antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi.

## 1.3 Tujuan

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

1. Untuk melihat karakteristik pambangkit listrik tenaga bayu di Teknik Elektro ITN Malang dengan memodelkannya.
  2. Menganalisa pengaruh – pengaruh hasil pemodelan PLTB.
  3. Mengetahu besarnya eror yang dihasilkan dari pengukuran dan simulasi.
-

#### 1.4 Batasan Masalah

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

1. Memodelkan kecepatan angin dengan kecepatan nominal dengan sample 0 m/s – 6.4 m/s
2. Sistem menggunakan generator jenis PMSG (permanent magnet synchronous generator)
3. Tidak membahas hubungan antara pembangkit listrik tenaga bayu dengan sistem hibrid.
4. Hanya membahas konstruksi PLTB secara umum.

#### 1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah :

1. Kajian literatur

Yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan, eksplorasi model matematik pembangkit listrik tenaga bayu, membuat simulasi, eksplorasi program MATLAB/SIMULINK.

2. Pengumpulan Data

Bentuk data yang digunakan adalah :

- Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka-angka.
- Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram.

3. Menganalisa data – data yang telah di kumpulkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Elektro ITN Malang.

4. Menguji hasil valid pemodelan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu yang ada di Elektro ITN Malang.

5. Kesimpulan

Menarik kesimpulan hasil analisa data keluaran dari simulasi.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan didalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

### **BAB I : PENDAHULUAN**

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

### **BAB II : DASAR TEORI**

Pengertian dan penjelasan teori dasar tentang Pembangkit listrik tenaga bayu di Elektro ITN Malang

### **BAB III : PEMODELAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU**

Pada bab ini menjelaskan tentang pemodelan dari sistem pembangkit listrik tenaga bayu di Elektro ITN.

### **BAB IV : SIMULASI DAN ANALISA HASIL**

Pada bab ini berisi data dan hasil simulasi dari *MATLAB 7.1*.

### **BAB V : PENUTUP**

Berisi kesimpulan dan saran.

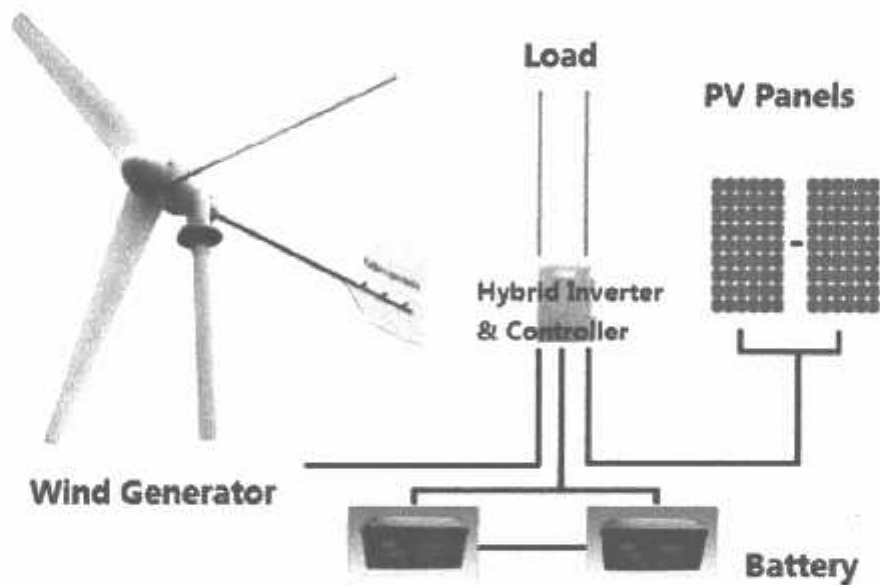
### **DAFTAR PUSTAKA**

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Konstruksi Sistem Hybrid

Sistem pembangkit energi hibrid adalah sistem yang menggabungkan beberapa sumber energi untuk memasok energi listrik ke beban. Tujuan utama sistem hibrid adalah memaksimalkan energi bebas polusi, kualitas daya yang bagus, dan energi yang berkesinambungan. Karena karakteristik dari masing-masing pembangkit yang berbeda-beda, menyebabkan beberapa variasi dalam arsitektur sistem hibrid seperti diperlihatkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1

Struktur Sistem Hybrid

(Sumber : [www.Weiku.com](http://www.Weiku.com))

Pembangkit listrik tenaga bayu merupakan salah satu bagian dari Sistem hybrid. Peran dari pemodelan PLTB ini adalah untuk mengetahui karakteristik



turbin angin sebelum dihubungkan pada keseluruhan dari system hybrid. Maka dari itu untuk membuat *hardware* dari system hybrid perlu mengacu pada pemodelan dari masing-masing pembangkit baik dari pembangkit listrik tenaga bayu, panel surya ataupun baterai.

Alasan teknis dimanfaatkannya system hybrid adalah sebagai berikut:

- a. Saling melengkapi keunggulan dan kelemahan masing-masing pembangkit : Misalnya untuk PLTB, melihat kondisi kecepatan angin di Indonesia tidak merata / dapat di kategorikan kecepatan angin lambat.
- b. Mengoptimalkan kemampuan system pembangkit : pada Hybrid PLTB – PLTS.
- c. Mengurangi ketergantungan pada suplai BBM.

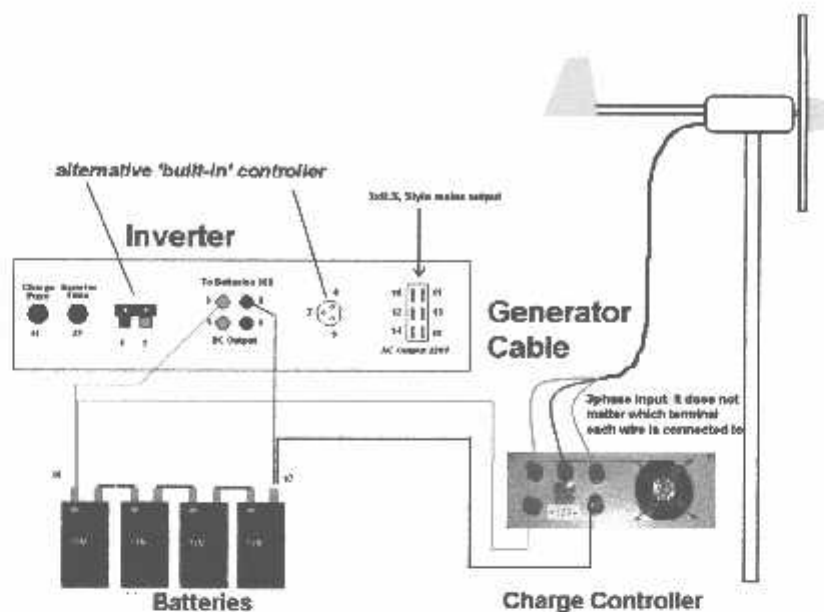
Alasan ekonomisnya adalah sebagai berikut:

- a. Meningkatkan efisiensi system pembangkit: Hybrid PLTB – PLTS - mengurangi jauh dibawah kapasitas genset, maka genset dapat dimatikan dan PLTS - PLTB menggantikan, sehingga genset tidak dibiarkan beroperasi pada kapasitas dibawah kapasitas optimum.
- b. Meningkatkan keandalan (reliability) dan pelayanan.

## 2.2 Sistem Turbin Angin

Turbin Angin merupakan suatu sistem yang mampu mengkonversi energi angin secara langsung menjadi energi listrik. Oleh karenanya energi maksimum yang dihasilkan tidak hanya tergantung pada batas dari generator tetapi juga pada kecepatan angin. Energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin biasanya digunakan untuk pengisian sirkuit baterai, sistem tenaga listrik untuk skala perumahan, sistem generasi terdistribusi, dan jaringan kelistrikan yang mempunyai skala besar.

---



Gambar 2.2

## Komponen Turbin Angin

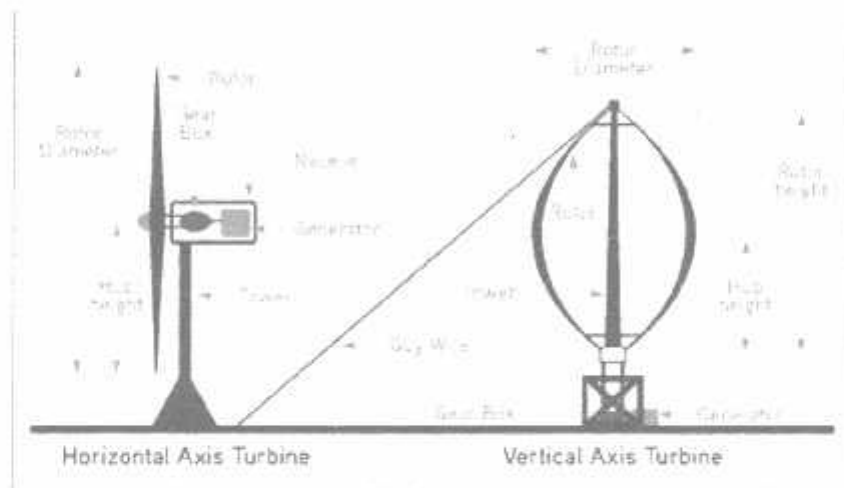
(Sumber : [envirogreentechnologies.blogspot.com](http://envirogreentechnologies.blogspot.com))

Pada gambar 2.2 prinsip dari turbin angin ini yaitu saat energi angin melewati *blade* yang mengakibatkan baling-baling berputar dengan kecepatan tertentu maka akan menghasilkan energi mekanik yang berputar menggerakkan rotor dari generator, perputaran rotor yang memotong dari medan magnet akan menimbulkan GGL (gaya gerak listrik) dari generator. Listrik AC (*Alternating Current*) yang dihasilkan oleh generator dapat ditransformasikan pada sistem konversi dari tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*).

Sistem kontrol yang digunakan pada turbin angin diantaranya meliputi sensor, pengendali mekanik, rangkaian listrik, komputer, dan aktuator. Sistem kontrol ini sangat penting untuk operasi dari turbin angin sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal, Oleh karena itu kontrol yang handal diperlukan untuk mengoperasikan turbin pada nilai efisiensi tertinggi.

### 2.3 Jenis Turbin Angin

Ada 2 macam turbin angina yang baisanya digunakan sekarang ini yaitu Turbin angin tipe HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) dan Turbin angin type VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*). Turbin angin yang digunakan merupakan turbin angin dari jenis HAWT (*Horizontal axis wind turbine*) / sumbu rotasi horisontal. Gambar 2.3 menunjukkan komponen turbin angin modern sumbu horizontal.



Gambar 2.3

Jenis Turbin Angin

(Sumber : Hill Country Wind Power, L.P.)

#### 2.3.1 Turbin Angin Jenis HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbin*)

Merupakan jenis turbin angin dengan poros horizontal seperti baling- baling pesawat terbang pada umumnya. Turbin angin ini harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya. Untuk turbin angin skala kecil menggunakan air tail (sirip ekor ) sebagai penggerak arah angin, sedangkan untuk turbin angin dengan skala besar pada umumnya menggunakan sensor angin yang dihubungkan pada servo motor untuk menggerakkan turbin sesuai dengan arah angin

#### A. Kelebihan HAWT

Dengan menggunakan menara sebagai tempat turbin angin mampu memudahkan turbin angin dalam mendapatkan besaran angin yang diinginkan.

#### B. Kekurangan HAWT

1. Menara yang tinggi, serta blade yang panjang mencapai 20 meter, sulit dipasang serta biaya yang besar.
2. Mempengaruhi radar dari airport
3. Mengurangi nilai estetika karena dengan ukurannya yang menjulang tinggi.
4. Untuk turbin angin skala besar, membutuhkan control yaw untuk membelokkan turbin angin sesuai arah hembusan angin.

### 2.3.2 Turbin Angin Jenis VAWT

Turbin angin jenis ini memiliki sumbu poros utama yang tegak lurus. Kelebihan dari jenis ini adalah turbin tidak selalu diarahkan sesuai arah angin, serta berguna pada tempat-tempat yang arah anginnya bervariasi. Dengan sumbu turbin angin yang vertikal maka generator dapat diletakkan dengan permukaan tanah, sehingga tidak memerlukan biaya yang tinggi untuk pemasangannya, serta lebih mudah dalam perawatannya. Adapun kelebihan dan kekurangan turbin angin jenis VAWT yaitu :

#### A. Kelebihan VAWT

1. Tidak membutuhkan struktur menara yang tinggi.
  2. Karena mempunyai sumbu vertikal, maka tidak membutuhkan mekanisme yaw untuk menentukan arah angin.
  3. Dengan desain blade yang vertikal memiliki daerah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada jenis HAWT
  4. Memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah dari jenis HAWT
  5. Jenis VAWT biasanya memiliki tip speed ratio yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak disaat angin berhembus kencang.
-

### B. Kekurangan VAWT

1. Kebanyakan VAWT mempunyai torsi awal yang lebih rendah dan membutuhkan energy untuk memutarinya.
2. Karena letaknya dekat dengan permukaan tanah maka kecepatan angin yang didapat relative lebih rendah.

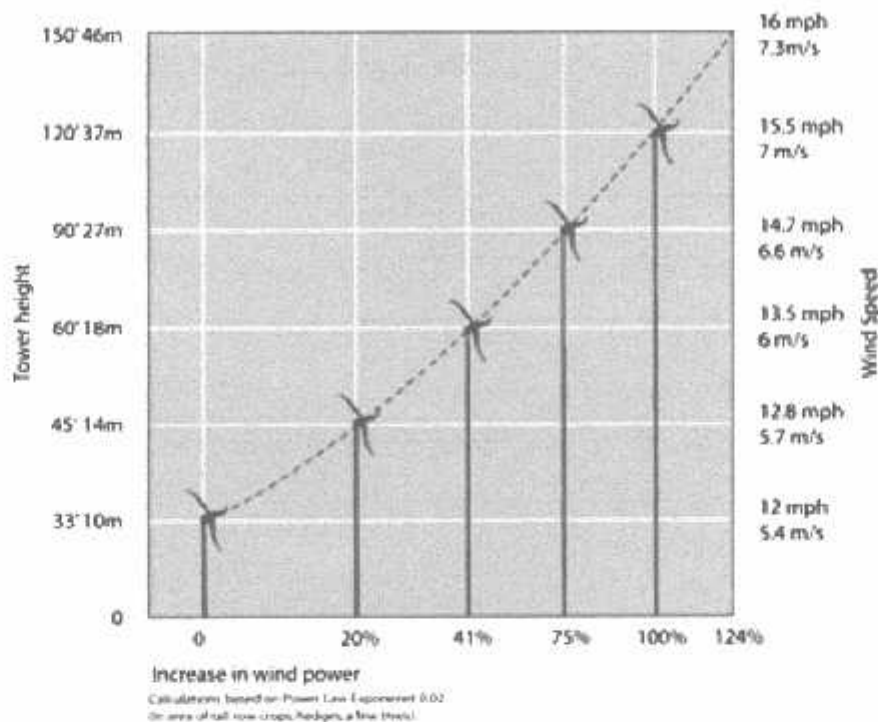
Turbin angin yang mempunyai sudu banyak akan mempunyai torsi yang lebih besar, sedangkan dengan sudu yang lebih sedikit digunakan untuk keperluan pembangkitan listrik karena mempunyai torsi rendah tetapi putaran rotor yang tinggi.

### 2.4. Energi Angin

Energi angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

Hal yang dijadikan patokan untuk mengetahui potensi angin adalah kecepatannya. Permasalahan yang ada adalah untuk kestabilan kecepatan angin. Sebagaimana diketahui kecepatan angin akan berfluktuasi terhadap waktu dan tempat. Jika terlalu dekat dengan permukaan tanah, kecepatan angin yang diperoleh akan kecil sehingga daya yang dihasilkan sangat sedikit. Semakin tinggi akan semakin baik. Untuk memperoleh kecepatan angin di kisaran 5-7 m/s umumnya diperlukan ketinggian 5-12 m.

---



Gambar 2.4.  
Kecepatan Angin Terhadap Permukaan Tanah

2.5 Ekstraksi Daya Mekanik Dari Turbin Angin

Baling-baling pada turbin angin berputar untuk mengubah energi dari aliran udara menjadi energi rotasi untuk menggerakkan sistem mekanis pada rotor dari generator listrik. Energi kinetik dalam udara terdiri dari massa *m* yang bergerak dengan kecepatan *v* adalah sama dengan:

$E = \frac{1}{2}mv^2$  (Nm) ..... (2.1)

Daya dari udara yang bergerak di udara, jika kita asumsikan dengan kecepatan angin konstan, adalah:

$P_{wind} = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2}mv^2$  ..... (2.2)

Dimana *m* adalah laju aliran udara massa per detik. Ketika udara melewati sebuah luasan A, seperti daerah sapuan oleh rotor baling-baling, daya dari udara tersebut dapat diperkirakan menjadi:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \text{ (w)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$\rho$  adalah densitas udara. Kepadatan udara bervariasi dengan tekanan udara dan temperatur, sehingga  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ , nilai tersebut sebagai acuan dari pemodelan ini. Persamaan di atas digunakan untuk memperkirakan berapa banyak daya yang terdapat dalam udara, Seperti yang ditunjukkan dalam [E.Hau], energi mekanik yang dirubah dari aliran udara akan sama untuk daya aliran udara sebelum dan sesudah melewati baling-baling:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho v_1 A_1 (v_1^2 v_2^2) \text{ (W)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan menggunakan hukum kekekalan momentum, daya yang diberikan oleh angin yang melewati *blade* adalah:

$$F = m(v_1 - v_2) \text{ (N)} \dots\dots\dots (2.5)$$

dan daya mekanik yang diekstraksi adalah:

$$P_{mech} = F = m(v_1 - v_2) v' \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan membandingkan persamaan 2.4 dan 2.8 kita akan dapat memperoleh hubungan untuk aliran kecepatan angin  $v'$ :

$$v' = \frac{1}{2} (v_1 - v_2) \left( \frac{m}{s} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan demikian kecepatan aliran udara yang melewati *blade* sama dengan nilai rata-rata dari  $v_1$  dan  $v_2$ . Daya mekanis keluaran yang melewati *blade* kemudian dapat dinyatakan sebagai:

$$P_{mech} = \frac{1}{4} \rho A (V_1^2 - V_2^2) (V_1 + V_2) \text{ (w)} \dots\dots\dots (2.8)$$

Perbandingan keluaran daya mekanik dengan daya dari aliran udara yang mengalir melalui luas penampang (A) yang sama, rasio antara ekstraksi daya mekanik dengan daya pada aliran udara yang melewati *blade* disebut dengan daya koefisien"  $C_p$  dan dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_{mech}}{P_{wind}} = \frac{\frac{1}{4}\rho A(V_1^2 - V_2^2)(V_1 + V_2)}{\frac{1}{2}\rho A v^3} \dots\dots\dots(2.9)$$

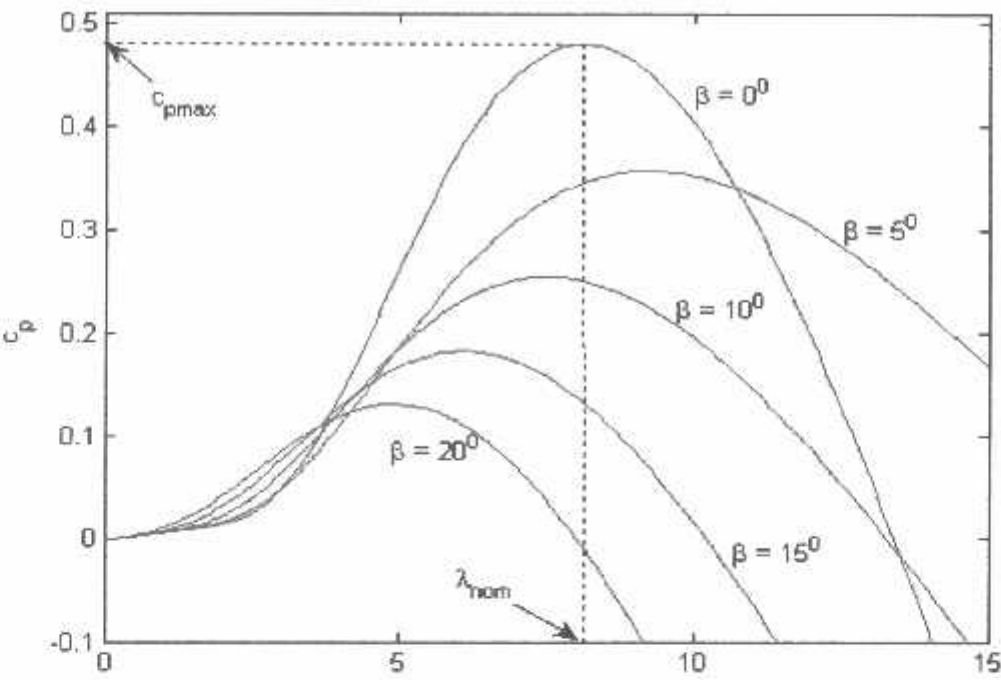
Persamaan ini pertama kali ditemukan oleh A. Betz, maka dari itu disebut juga dengan persamaan "*Betz factor*" atau "*Betz limit* " [J.F.Manwell]. Nilai ini adalah nilai teoritis maksimum daya koefisien, Oleh karena itu, efisiensi teoritis maksimum dari konversi energi angin adalah 46%. Hal ini dikatakan baik jika nilai daya koefisien diperoleh merupakan nilai yang ideal dari aliran udara yang melewati *blade*. Dalam kondisi nyatanya, turbin angin akan selalu memiliki daya koefisien maksimum yang lebih kecil dibandingkan faktor *Betz*, hal ini karena banyak rugi-rugi aerodinamis, tergantung pada desain dan konstruksi rotor (jumlah blade, berat, kekakuan, dll). Daya koefisien dan efisiensi dari sistem turbin angin akan berbeda. Koefisien daya biasanya diberikan sebagai fungsi dari λ kecepatan ujung rasio dan pitch blade sudut β. Sudut pitch adalah sudut antara bidang rotasi dan penampang *blade* [Z.Lubosny]. *Tip speed ratio* turbin angin didefinisikan sebagai

$$\lambda = \frac{u}{v_1} = \frac{\omega R}{v_1} \dots\dots\dots(2.10)$$

- Dimana :
- u = kecepatan tangensial pitch blade.
  - ω = kecepatan sudut rotor.
  - R = jari-jari rotor (m).
  - v<sub>1</sub>= kecepatan angin.

Grafik daya Koefisien berbanding *tip speed ratio* ditunjukkan pada Gambar 2.5. Grafik ini merupakan elemen dalam menentukan karakteristik dari sistem konversi energi angin [S.N. Bhadra].





Gambar. 2.5  
Karakteristik Cp-λ Turbin Angin.

2.6 Karakteristik Daya Rotor Turbin

Dengan menggunakan daya Koefisien, daya mekanis pada rotor dapat dihitung sebagai fungsi dari kecepatan angin:

$$P_R = C_p \frac{1}{2} \rho A v_w^3 \dots\dots\dots(2.11)$$

di mana:

- A = Dacrah sapuan *blade* (m<sup>2</sup>)
- v<sub>w</sub> = kecepatan angin (m / s)
- C<sub>p</sub> = Koefisien daya
- ρ = kerapatan udara (kg/m<sup>3</sup>)
- P<sub>R</sub> = Daya rotor (W)

Daya koefisien dapat diperoleh dengan data pada tabel kunci atau menggunakan fungsi analitis. Dalam skripsi ini, untuk menentukan daya koefisien menggunakan table kunci untuk memodelkan turbin angin, yang ditunjukkan dalam [Z.Lubosny]:

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left( C_2 \frac{1}{\lambda} - C_3 \beta - C_4 \right) e^{-C_5 \frac{1}{\lambda}} + C_6 \lambda \dots\dots\dots (2.12)$$

Koefisien c1-c6 dan x dapat berbeda untuk berbagai turbin. Hal ini tergantung pada jenis turbin angin dan desain *blade*. Parameter 1/Λ didefinisikan sebagai:

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \dots\dots\dots (2.13)$$

Untuk simulasi model nilai berikut telah dipilih untuk koefisien c1-c6: c1 = 0,5 ; c2 = 116 ; c3 = 0,4 ; c4 = 0 ; c5 = 5 ; c6 = 21. Dari persamaan (2.11) kita tahu bahwa daya mekanik diekstraksi dari udara merupakan fungsi dari kecepatan angin dan daya koefisien. Jika kita mengasumsikan bahwa kecepatan angin adalah konstan, maka daya mekanik menggunakan fungsi dari daya koefisien. Daya mekanik kemudian dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$P_R = C_p P_0 \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana,  $P_0 = \frac{1}{2} \rho A v_w^3$  dan ini merupakan nilai untuk kecepatan angin konstan.

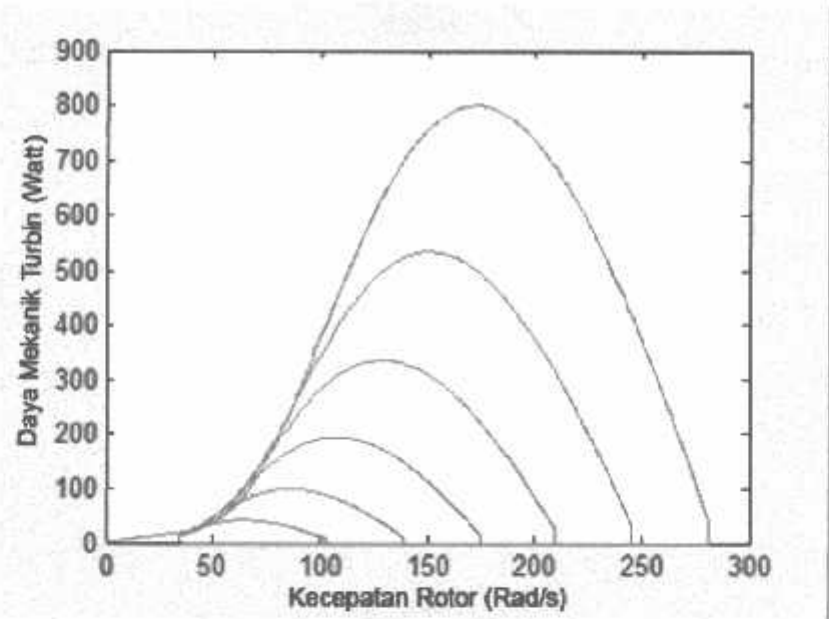
Dengan asumsi kecepatan angin dan sudut *pitch blade* adalah konstan, maka daya koefisien menjadi fungsi dari ω<sub>R</sub> kecepatan rotor. Oleh karena itu daya mekanik dapat dinyatakan sebagai

$$P_R = C_p(\omega_R) P_0 \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan demikian :

$$P_R = \omega_R \dots\dots\dots (2.16)$$

Gambar 2.6. menunjukkan perbandingan antara daya mekanik dengan kecepatan rotor dari generator untuk desain turbin angin yang ditunjukkan di atas. Hal ini penting untuk mengetahui bahwa setiap desain turbin angin akan memiliki daya yang berbeda dibandingkan grafik kecepatan rotor. Selain itu, daya koefisien masing-masing turbin akan ditentukan oleh desain *blade* dan sudut *pitch* (lihat Gambar 2.5).



Gambar 2.6

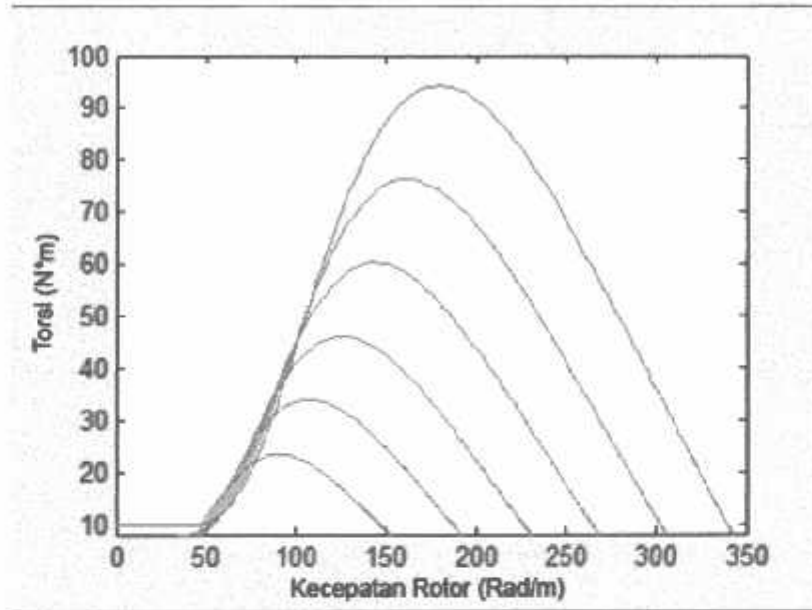
Karakteristik Daya Mekanik Turbin Dengan Kecepatan Rotor Generator

Daya ekstraksi dari angin akan bernilai maksimal jika nilai *Coefficient Power*  $C_p$  juga maksimal. Nilai optimal dari  $C_p$  terjadi pada nilai yang ditentukan dari  $\lambda$  kecepatan ujung rasio. Untuk setiap besaran kecepatan angin nilai kecepatan rotor dapat optimal jika daya yang diekstraksi dari angin maksimum. Oleh karena itu, jika kecepatan angin diasumsikan konstan nilai  $C_p$  tergantung pada kecepatan rotor dari turbin angin dengan demikian, pengontrolanan kecepatan rotor juga sebagai mengendalikan daya keluaran dari turbin.

Penting untuk mempelajari perbandingan antara karakteristik torsi dengan kecepatan rotasi dari turbin angin. Dengan mengetahui torsi-kecepatan karakteristik turbin angin akan memungkinkan untuk menyesuaikan daya yang dihasilkan terhadap beban, dan mengoperasikan generator di wilayah yang stabil. Ciri karakteristik dari kecepatan torsi turbin angin sumbu horisontal yang ditunjukkan pada Gambar. 2.7. Profil dari kurva torsi-kecepatan berasal dari hubungan berikut,

$$T_{mech} = \frac{P_R}{\omega_R} \dots\dots\dots (2.17)$$

T<sub>mech</sub> adalah torsi mekanik pada rotor dan  $P_R$  dan  $\omega_R$  adalah daya mekanik rotor dan kecepatan sudut masing-masing rotor. Seperti yang bisa di lihat dari Gambar 2.7 karakteristik hubungan antara torsi dengan kecepatan rotor generator



Gambar 2.7

Karakteristik Torsi-Kecepatan Rotor Generator

Daya keluaran mekanik adalah hasil dari perbandingan antara torsi dan kecepatan rotor karena itu, dengan pengendalian generator dengan benar diperoleh karakteristik beban yang bisa disesuaikan, untuk menghasilkan daya yang maksimum dengan kecepatan angin yang berubah-ubah. Untuk mengendalikan turbin angin agar menghasilkan daya maksimum pada kecepatan angin yang berbeda harus menggunakan peralatan elektronika daya.

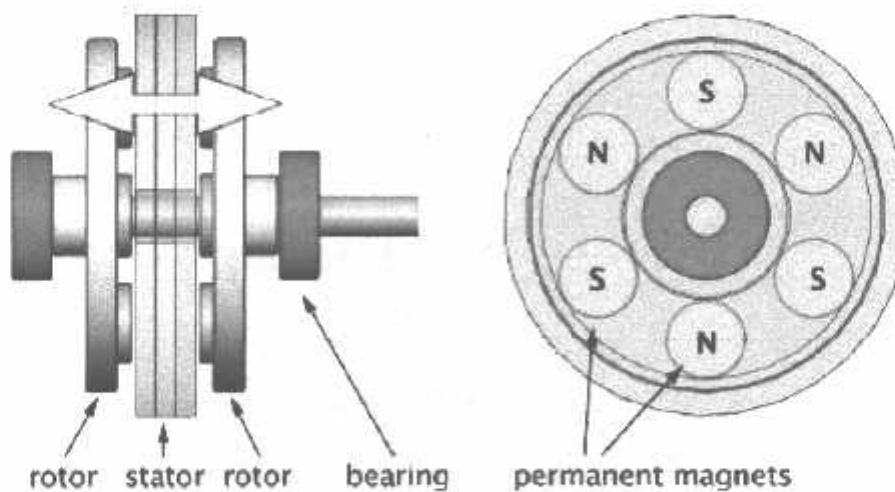
## 2.7 Sistem Elektrik

Hasil ekstraksi energy angin menjadi energy listrik perlu digunakan system elektrik sebagai pengubah energy mekanik dari putaran rotor turbin angin menjadi energy listrik keluaran DC. Sistem elektrik dalam turbin angin terdiri dari beberapa komponen diantaranya akan dijelaskan dari generator sinkron magnet permanen, penyearah terkendali, serta *boost converter dc-to-dc*.

### 2.7.1 Generator Sinkron

Generator sinkron biasanya digunakan pada kecepatan konstan dan terhubung langsung ke jaringan listrik. Untuk aplikasi dengan kecepatan variable maka digunakan generator sinkron dengan magnet permanen (PMSG). PMSG telah banyak ditemukan aplikasinya sebagai drive mesin dengan kinerja tinggi karena karakteristiknya bebas dari riak torsi dan strategi kontrolnya sederhana. Dibandingkan dengan generator induksi, PMSG memiliki losses rotor yang kecil maka dari itu berpotensi lebih efisien. Selain itu, PMSG dapat mencapai kecepatan torsi lebih tinggi dari rotor yang seimbang.

Generator sinkron dengan magnet permanen memiliki nilai reaktansi rendah daripada jenis mesin listrik yang lain. Selain itu, generator sinkron dengan permanen magnet (PMSG) memiliki kemampuan torsi tinggi yang akan bermanfaat bagi sistem turbin angin jika terjadi hembusan angin yang keras. Mesin ini juga dapat menahan pulsations torsi berulang hingga 20% dari nilai torsi rata-rata [S.N. Bhadra].



Gambar 2.8

Konfigurasi Dasar Dari PMSM Eksterior.

Gambar 2.8 menunjukkan konfigurasi dasar dari sistem eksterior PMSM dengan 28 kutub. Magnet permanen dipasang pada rotor, sedangkan stator telah didistribusikan dengan gulungan sinusoidal. Kecepatan mekanis rotor dapat

direpresentasikan sebagai  $\omega_{rm}$  dan posisi mekanik sebagai  $\theta_{rm}$ . Kecepatan rotor listrik dapat diketahui dari persamaan sebagai berikut

$$\omega_r = \frac{P}{2} \omega_{rm} \text{ and } \theta_r = \frac{P}{2} \theta_{rm} \dots\dots\dots (2.18)$$

Persamaan tegangan dalam kerangka acuan abc stasioner, seperti yang ditunjukkan pada [H.A. Toliyat], yang diberikan oleh,

$$V_a = r_s i_a + \frac{d}{dt} \lambda_a \dots\dots\dots (2.19)$$

$$V_b = r_s i_b + \frac{d}{dt} \lambda_b \dots\dots\dots (2.20)$$

$$V_c = r_s i_c + \frac{d}{dt} \lambda_c \dots\dots\dots (2.21)$$

Persamaan keterkaitan fluks dinyatakan sebagai berikut,

$$\lambda_{abcs} = L_s i_{abcs} \lambda_m \begin{bmatrix} \sin v_r \\ \sin \left( v_r - \frac{2\pi}{3} \right) \\ \sin \left( v_r - \frac{4\pi}{3} \right) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.22)$$

$\lambda_m$  "menunjukkan amplitudo dari hubungan fluks yang ditimbulkan oleh permanen magnet seperti yang ditunjukkan dari belitan fase stator. Dalam induktansi stator matriks,  $L_s$  ditunjukkan sebagai,

$$L_s = \begin{bmatrix} L_{is} + L_A + L_B \cos 2\theta_r & -\frac{1}{2} L_A - L_B \cos 2 \left( \theta_r - \frac{\pi}{3} \right) & -\frac{1}{2} L_A - L_B \cos 2 \left( \theta_r + \frac{\pi}{3} \right) \\ -\frac{1}{2} L_A - L_B \cos 2 \left( \theta_r - \frac{\pi}{3} \right) & L_{is} + L_A - L_B \cos 2 \left( \theta_r - \frac{2\pi}{3} \right) & -\frac{1}{2} L_A - L_B \cos 2 \left( \theta_r + \pi \right) \\ -\frac{1}{2} L_A - L_B \cos 2 \left( 2\theta_r + \frac{\pi}{2} \right) & -\frac{1}{2} L_A - L_B \cos 2 \left( 2\theta_r + \pi \right) & L_{is} + L_A - L_B \cos 2 \left( \theta_r + \frac{2\pi}{3} \right) \end{bmatrix}$$

Torsi dan kecepatan yang berkaitan dengan persamaan gerak elektromekanis

$$J \frac{d}{dt} \omega_{rm} = \frac{P}{2} (T_e - T_L) B_m \omega_{rm} \dots\dots\dots (2.24)$$

J adalah moment inersia,  $B_m$  adalah redaman mekanik karena gesekan, dan  $T_L$  adalah torsi beban. Ketika mesin digunakan sebagai generator penggerak,

maka diperlukan penggerak utama untuk memutar generator. Dalam aplikasinya turbin angin adalah penggerak utama untuk generator. Pada kondisi mantap, torsi elektromekanik dari mesin harus keseimbangan dengan torsi mekanik pada poros rotor dari turbin angin, termasuk rugi-rugi mekanik,

$T_{mech}=T_{em}+T_{loss} \dots\dots\dots (2.25)$

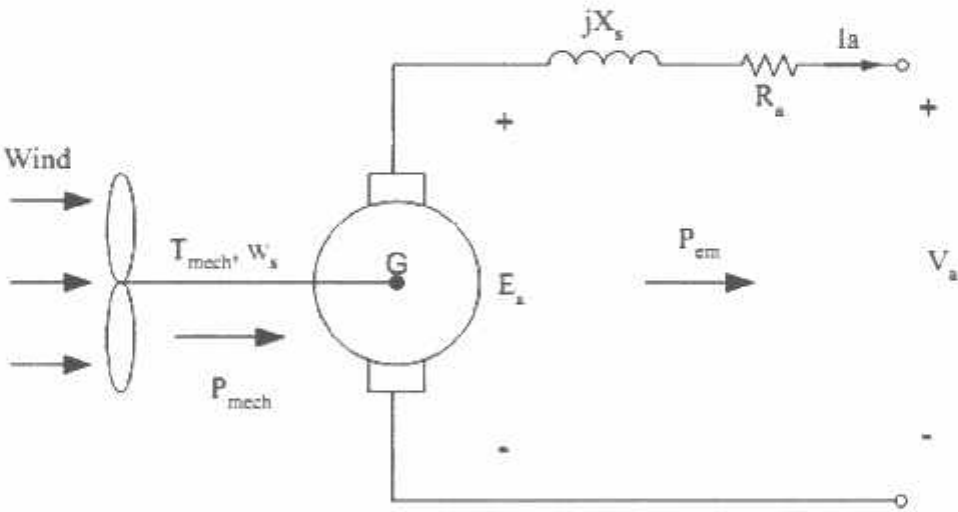
Persamaan kesetimbangan daya dapat diberikan sebagai,

$P_{mech} = P_{em}+P_{loss} \dots\dots\dots (2.26)$

$P_{mech} = T_{mech}\omega_{syn}$  adalah daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin,  $P_{em} = T_{em}\omega_{syn}$  adalah daya generator, dan  $P_{loss} = T_{loss}\omega_{syn}$  adalah rugi-rugi yang ditimbulkan daya mekanik. Daya yang dihasilkan dapat dinyatakan sebagai,

$P_{em} = T_{em}\omega_{syn} = 3E_aI_a\cos(\phi E_aI_a) \dots\dots\dots(2.27)$

$\phi E_aI_a$  adalah sudut antara fasor  $E_a$  dan  $i_a$ .



Gambar 2.9.

Salah Satu Fase Dari Mesin Sinkron Dioperasikan Sebagai Generator.

Ketika resistansi belitan fase berlawanan di gambar 2.9 diabaikan, daya keluaran listrik diberikan oleh,

$P_{em} = P_{out} = 3V_aI_a\cos\phi \dots\dots\dots(2.28)$

### 2.7.2 Power Electronics

Tugas utama dari sistem elektronik daya adalah untuk memproses dan mengontrol efisiensi aliran energi listrik dengan menyediakan tegangan dan arus dengan menggunakan perangkat semikonduktor sehingga daya dapat optimal sesuai kebutuhan beban.

Pada peralatan elektronika daya biasanya terdiri dari sirkuit terpadu linear dan /atau sinyal prosesor digital. Sebuah pengontrol dengan umpan balik (close loop) yaitu membandingkan daya keluaran unit konverter dengan nilai dikehendaki atau referensi dan perbedaan atau kesalahan antara dua pengukuran oleh controller. Aliran daya yang mengalir melewati konversi elektronika daya dapat diatur sesuai kemampuan perangkat semikonduktor yang digunakan, sehingga terjadi perubahan pada sisi input dan output.

Peralatan elektronika daya biasanya terdiri dari lebih dari satu sistem konversi daya. Tahapan-tahapan dalam proses konversi dengan cara penyimpanan energi dalam kapasitor dan induktor. Setiap tahap konversi daya disebut konverter, yang merupakan modul dasar dari sistem elektronika daya. Berdasarkan jenis sinyal (AC atau DC) yang merupakan input dan output konverter, maka konverter daya listrik dapat dikategorikan sebagai berikut:

- Konverter AC ke DC
- Konverter DC ke AC
- Konverter DC ke DC
- Konverter AC ke AC

perubahan tegangan AC menjadi DC disebut sebagai *rectifier*. Dalam beberapa kasus, satu converter dapat membalikkan aliran daya dan beroperasi sebagai penyearah atau sebagai inverter. Dalam situasi ini konverter disebut dalam modus operasi. Berikut akan dijelaskan dasar karakteristik AC ke DC (*rectifier*) converter

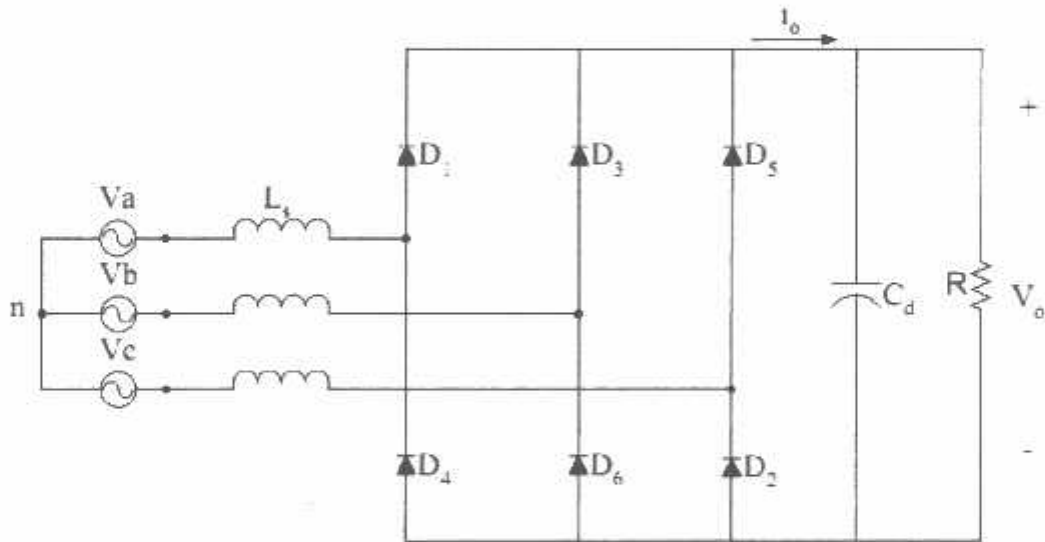
---



2.7.2.1 penyearah tegangan (*Rectifier*)

Sebuah penyearah terkendali adalah suatu penyearah dengan pengaturan konverter yang menggunakan dioda untuk memasok listrik ke rangkaian DC dari sumber AC. Sebuah penyearah terkendali memberikan tegangan DC konstan untuk suplai AC yang diberikan. Gambar 2.10 menunjukkan rangkaian tiga fase, dioda penyearah jembatan gelombang penuh. Pada sirkuit,  $C_d$  merupakan filter tegangan DC pada bus DC dan  $L_s$  adalah induktansi dari sumber AC per-fase. Jika rectifier terhubung langsung pada generator (induksi atau sinkron),  $L_s$  merupakan induktansi generator.

Jika nilai dari  $L_s$  kecil dan  $C_d$  besar, tegangan keluaran DC akan halus dengan riak yang sangat sedikit, tetapi arus pada AC terdapat riak di setiap setengah siklus dinamakan sebagai harmonisa pada sumber AC. Jika  $L_s$  tidak digunakan, maka arus transient yang ditimbulkan akan sangat tinggi.



Gambar 2.10  
Dioda Tiga Fasa Penyearah Jembatan Penuh.

Dengan menggunakan penyearah jembatan penuh di bawah beban resistif seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10 diatas, penyearah jembatan penuh dianggap sebagai kombinasi kelompok dioda positif pertukaran D1, D2, D3, dan pertukaran dioda negatif kelompok D4, D5, dan D6. Pada waktu tertentu hanya ada dua dioda yang bekerja, salah satu dari sisi positif dan salah satu dari sisi negatif. Mengingat

bahwa satu dioda adalah dari sisi positif dan salah satu dari sisi negatif pada diperlukan waktu kerja tertentu agar dapat bekerja secara bergantian, tegangan output,  $V_o$ , diberikan oleh,

$$v_o = v_{pn} - v_{nn} \dots\dots\dots (2.29)$$

Diketahui,  $v_{pn}$  dan  $v_{nn}$  adalah tegangan output masing-masing yang bernilai positif dan negatif pertukaran sisi dioda ke netral. Dengan asumsi  $L_s = 0$ , tegangan keluaran rata-rata diberikan oleh

$$V_o = \frac{1}{\pi/3} \int_{-\pi/6}^{\pi/6} \sqrt{2} V_{LL} \cos(\omega t) d(\omega t) \dots\dots\dots (2.30)$$

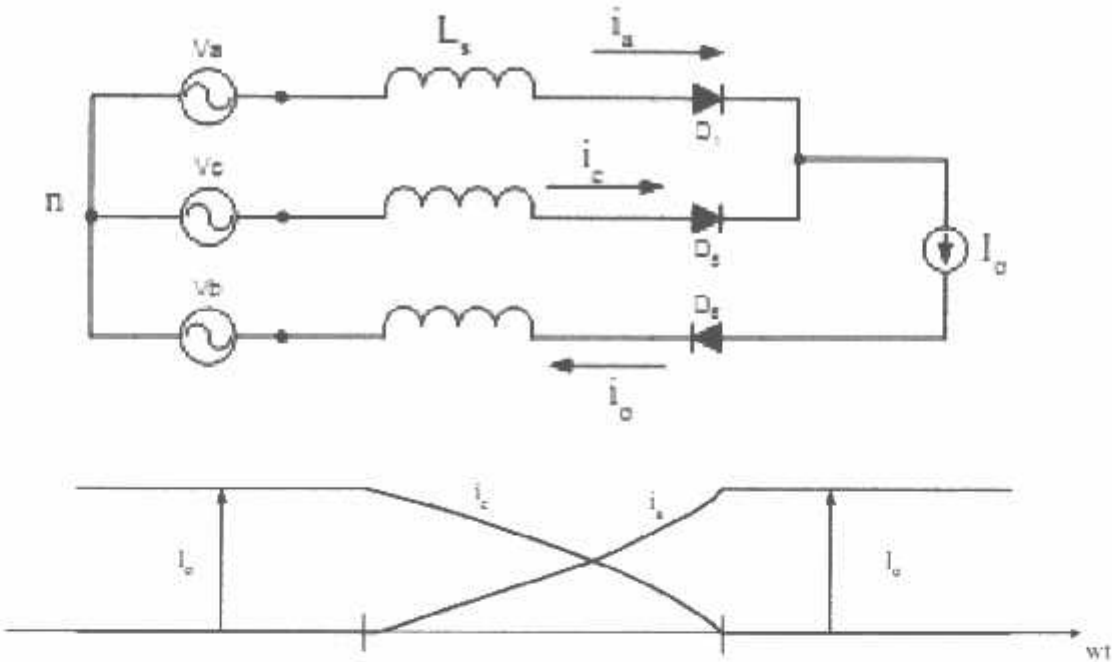
$$V_o = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{LL} = 1.35V_{LL} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dalam prakteknya  $L_s$  bernilai bukan nol. Oleh karena itu, arus melalui dioda akan keluar menurun secara bertahap dan arus melalui dioda yang masuk akan naik secara bertahap.

Efek ini menyebabkan arus tumpang tindih, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11. Jika saat pergantian seketika karena  $L_s$  sama dengan nol, maka tegangan  $V_{pn}$  akan sama dengan  $V_{nn}$ . Namun, dengan  $L_s$  terbatas ada drop tegangan di  $V_{pn}$  selama Interval pergantian sehingga tegangan dc output rata-rata menjadi,

$$V_L = 1.35V_{LL} - \frac{3}{\pi} X_S I_d \dots\dots\dots (2.32)$$

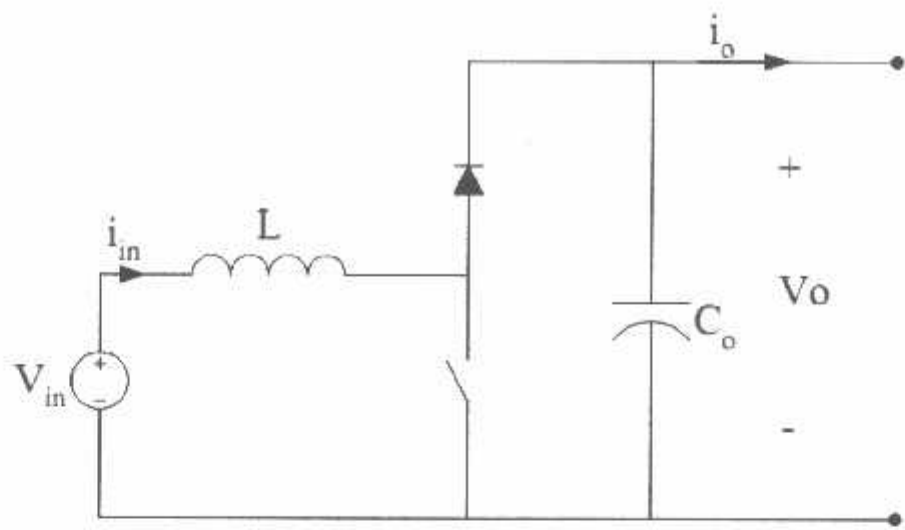
Selain tidak dapat mengendalikan tegangan dc dan menciptakan ripple pada sisi ac, penyearah penuh dioda jembatan memiliki kelemahan lain. Menurut [S.N. Bhadra], penggunaan dioda-penyearah jembatan bersama dengan generator sinkron memiliki nilai reaktansi tembaga yang tinggi dan rugi-rugi besi, dan ketidakstabilan ketika dioda- penyearah jembatan tiba-tiba terbebani.



Gambar 2.11  
Proses Pergantian Diode Penyearah.

2.7.2.2 DC/DC Konverter

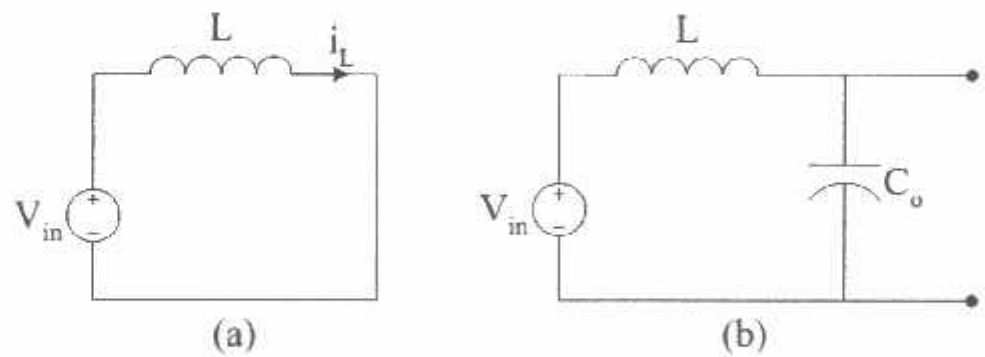
Konverter DC/DC yang sering digunakan dalam pengaturan switch-mode suplay daya DC dan aplikasi drive motor DC. Sebagian besar, masukan pada konverter adalah tegangan DC yang tidak diatur yang dapat diperoleh dengan penyearah dengan sumber tegangan AC. Tegangan tidak stabil akan berfluktuasi karena dari perubahan circuit. Untuk mengontrol tegangan DC yang variabel menjadi keluaran DC yang dapat diatur, maka perlu menggunakan DC/DC konverter. Ada banyak jenis DC/DC konverter diantaranya termasuk *buck converter*, *boost converter*, dan *buck-boost converter* dan banyak lainnya. Berikut ini akan uraian untuk penaik tegangan (*boost*) konverter yang ditunjukkan pada Gambar.2.12.



Gambar. 2.12

*Boost (Step Up) Converter.*

Fungsi rangkaian ini adalah ketika saklar ditutup, tegangan input mengalir melewati induktor (lihat Gambar.2.13 (a)), menyebabkan arus yang melalui induktor akan dinaikkan yang kemudian akan meningkatkan energi yang tersimpan dalam induktor. Saklar yang terbuka akan memaksa arus dari induktor mengalir melalui dioda dan beberapa energi yang tersimpan dalam induktor ditransfer ke kapasitor filter output dan output beban. Hasil rangkaian untuk mode 2 dapat dilihat pada Gambar.2.13 (b).



Gambar. 2.13

*Boost Converter: (A) Mengaktifkan (Mode 1), (B) Matikan (Mode 2).*

Bila saklar pada kondisi tertutup maka tegangan induktor adalah  $V_{in}$  dan arus melalui induktor diberikan oleh :

$$i_L(t) = \frac{1}{L}V_{in}t + (0) \quad 0 \leq t \leq DT \dots\dots\dots(2.33)$$

Dimana  $I_L(0)$  adalah nilai induktor awal pada  $t = 0$ ,  $D$  adalah duty cycle dan  $T$  adalah periode. Dalam modus 2 tegangan induktor adalah  $V_{in} - V_o$ , dan arus induktor diberikan oleh

$$i_L(t) = \frac{1}{L}(V_{in} - V_o)(t - DT) + I_L(DT) \quad 0 \leq t \leq DT \dots\dots\dots(2.34)$$

Mengevaluasi persamaan (2.33) dan (2.34) pada  $t = DT$  dan  $t = T$ , dan dengan asumsi bahwa  $I_L(T) = I_L(0)$ , kita memperoleh persamaan konversi tegangan seperti yang ditunjukkan dalam [M.Mohr],

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1}{1-D} \dots\dots\dots(2.35)$$

Dari persamaan (2.35) dapat dilihat bahwa tegangan yang diperoleh akan selalu lebih dari satu dan dengan mengendalikan nilai  $D$  siklus kita dapat mengatur tegangan output. Dengan asumsi sirkuit lossless,

$$V_{in}I_{in}=V_oI_o \dots\dots\dots (2.36)$$

Oleh karena itu,

$$\frac{I_o}{v_{in}} = (1 - D) \dots\dots\dots(2.37)$$

Menurut [H.A. Toliyat], nilai kritis induktor yang akan membuat bentuk konverter berkonduksi secara kontinyu dihitung sebagai berikut,

$$L_{crit} = \frac{RT}{2}(1 - D)^2D \dots\dots\dots (2.38)$$

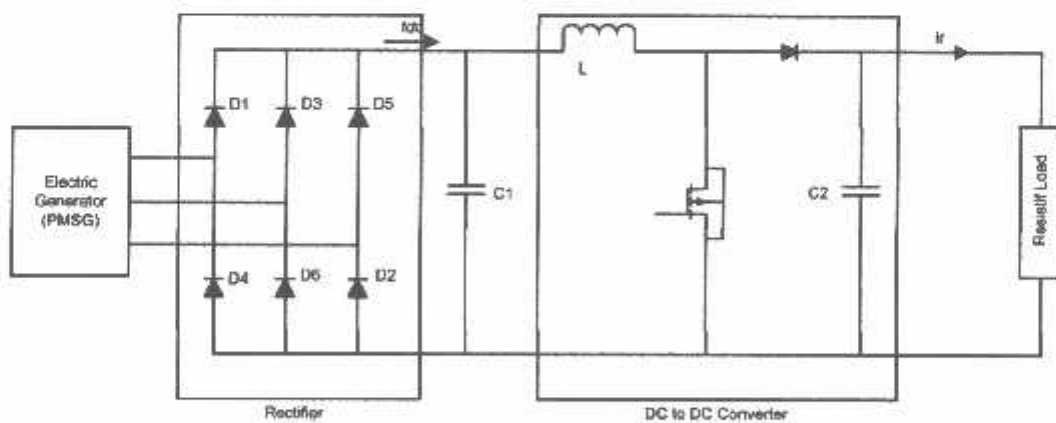
dan peak to peak riak tegangan output untuk bentuk operasi konduksi kontinyu dapat dihitung dengan,

$$\Delta V_L = \frac{V_o}{R} \frac{DT_s}{C} \dots\dots\dots (2.39)$$

### BAB III

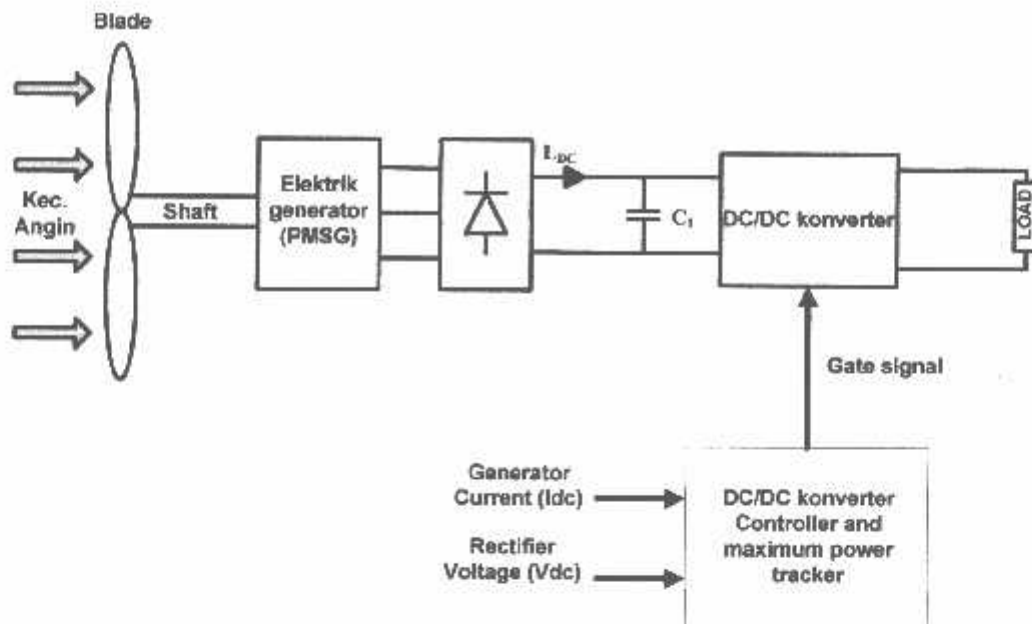
## PEMODELAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU

Pada bab tiga akan dijelaskan mengenai pembuatan model simulasi dengan menggunakan *Software MATLAB/SIMULINK* untuk setiap komponen dari pembangkit listrik tenaga bayu. Untuk model *MATLAB* terdiri dari model turbin angin, PMSG (*Permanent Magnet Synchronous Generator*) dan DC konverter. Model simulasi yang dibuat didasarkan pada kondisi nyata pada pembangkit listrik tenaga bayu di Elektro ITN Malang. Turbin angin dipasang pada ketinggian  $\pm 10$  meter dari atas permukaan tanah dengan kecepatan angin 8 m/s. Gambar 3.1 merupakan diagram blok sistem ekstraksi dari energi angin menjadi energi listrik. Turbin angin mengubah energi angin menjadi daya mekanik pada poros rotor, daya mekanik pada poros tersebut kemudian diubah menjadi energi listrik menggunakan generator magnet permanen sinkron (PMSG). Tegangan dihasilkan oleh generator magnet permanen diperbaiki menggunakan *pasif rectifier* tiga fase, yang mengubah tegangan AC yang dihasilkan oleh PMSG menjadi tegangan DC.



Gambar 3.1

Skema Sistem Ekstraksi Dari Turbin Angin Hingga Beban Resistif



Gambar 3.2

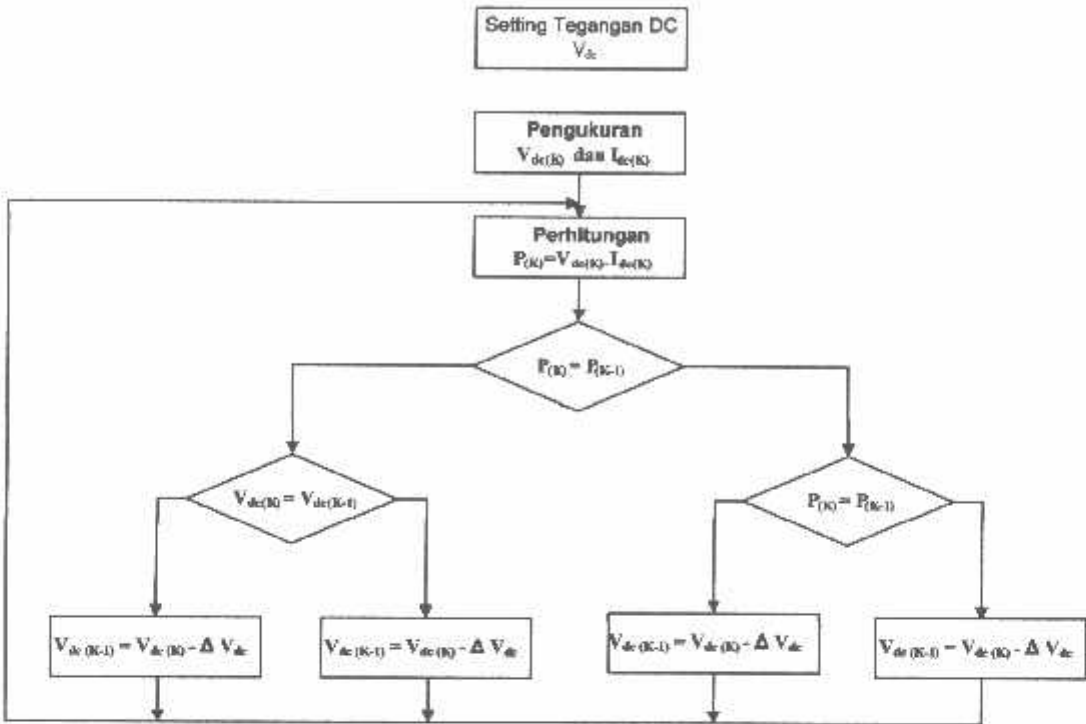
Sistem Turbin Angin Dengan Kontrol MPPT

### 3.1 Maximum Power Point Tracker Algorithm

*Maximum Power Point Tracker* (MPPT) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran berbagai pembangkit listrik. Pada pembangkit listrik tenaga angin, metode MPPT yang cukup sederhana adalah dengan algoritma *Perturbation & Observation* (P&O). Algoritma ini didasarkan pada monitoring *output* generator dengan mengukur tegangan atau arus keluaran dari generator dan mengatur *duty cycle* dari *dc/dc converter* sesuai hasil perbandingan antara nilai daya keluaran generator. Algoritma P&O bisa dilihat pada gambar 3.3.

DC-DC konverter yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *Boost Converter*. *Boost converter* terdiri dari induktor, dioda, kapasitor dan *Mosfet* sebagai komponen pensaklar. *Boost converter* bekerja berdasarkan sinyal pensaklaran,  $t_{on}$  dan  $t_{off}$ . Perbandingan waktu hidup ( $t_{on}$ ) terhadap jumlah waktu keduanya disebut juga dengan *duty cycle*. Saat saklar hidup (on), energi disimpan pada induktor menjadi medan magnet, saat saklar mati (off), energi yang tersimpan pada induktor diubah lagi menjadi listrik dan didorong oleh tegangan *input* menjadi tegangan *output* sehingga nilainya menjadi lebih besar. Tegangan

ouput boost converter dapat di kontrol dengan mengatur besar duty cycle atau sinyal pensaklaran. Nilai D yaitu  $0 < D < 1$ .



Gambar 3.3

Diagram Alir *Maximum Power Point Tracker*.

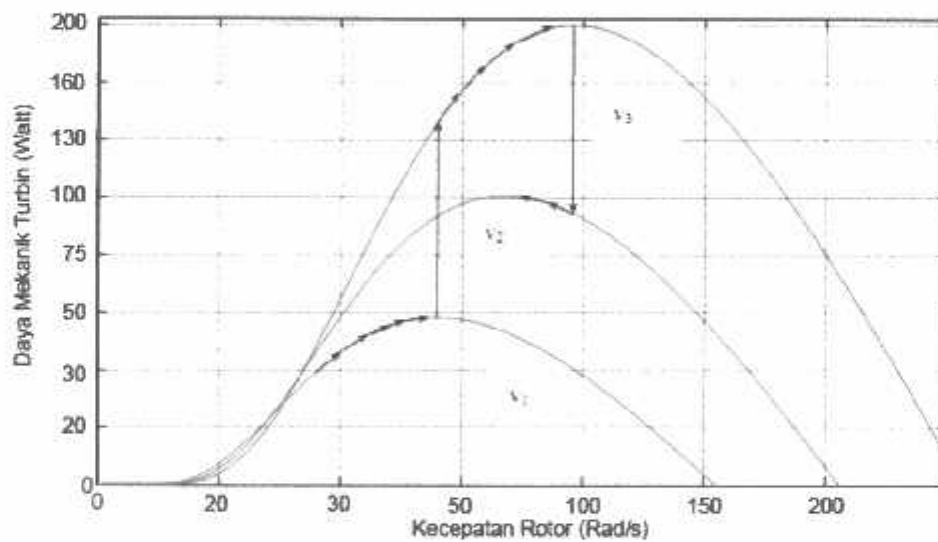
Penjelasan untuk sistem algoritma dari *Maximum Power Point Tracker* diberikan pada Gambar. 3.3 adalah sebagai berikut: untuk memulai proses pencarian daya maksimum yaitu dengan menetapkan sisi dc menjadi tegangan referensi  $V_{ref}$ . Pengontrolan dilakukan dengan mengukur nilai arus dan tegangan pada sisi dc sebagai nilai masukan, dan kemudian digunakan untuk menghitung nilai daya  $P_0 = V_{DC} I_{DC}$ . Maka, tegangan referensi  $V_{ref}$  akan meningkat sebesar  $\Delta V_{dc}$ , sehingga

$$V_{ref}(k) = V_{ref}(k-1) + \Delta V_{dc} \dots\dots\dots (3.1)$$

Daya dc dapat dihitung dengan  $P(k) = V_{DC}(k) I_{DC}(k)$ . Jika  $P(k) > P_0$ , *Maximum Power Point Tracker* belum tercapai, maka tegangan referensi  $\Delta V_{dc}$  perlu ditingkatkan, dan kemudian daya dc akan dibandingkan  $P(k) > P(k-1)$ . Proses ini



akan berulang sampai daya maksimum dapat tercapai. Jika  $P_{(K)} < P_{(K-1)}$  dan tegangan referensi  $\Delta V_{dc}$  mengalami penurunan. Dalam proses pencarian daya maksimum pada setiap kecepatan angin empat kondisi haruslah bertemu. Jika  $P_{(K)} \geq P_{(K-1)}$  dan  $V_{DC(K)} \geq V_{DC(K-1)}$ , maka nilai tegangan referensi  $\Delta V_{dc}$  harus ditingkatkan. Ketika kondisi ini terpenuhi turbin akan beroperasi pada kecepatan rendah, hal ini dapat dilihat pada Gambar. 3.4 kurva daya. Jika  $P_{(K)} \geq P_{(K-1)}$  dan  $V_{DC(K)} < V_{DC(K-1)}$ , saat turbin beroperasi pada kecepatan tinggi maka tegangan referensi  $\Delta V_{dc}$  perlu dikurangi. Ketika  $P_{(K)} < P_{(K-1)}$  dan  $V_{DC(K)} \geq V_{DC(K-1)}$  sistem *Maximum Power Point Tracker* akan dilewatkan dan langkah mundur harus diambil untuk mengurangi tegangan referensi  $\Delta V_{dc}$ . Kondisi ini terpenuhi ketika turbin beroperasi pada kecepatan tinggi/puncak dan dayanya mengalami penurunan. Di sisi lain, ketika  $P_{(K)} < P_{(K-1)}$  dan  $V_{DC(K)} < V_{DC(K-1)}$  daya menurun saat turbin beroperasi pada kecepatan rendah, sehingga tegangan referensi  $\Delta V_{dc}$  akan ditingkatkan.



Gambar 3.4

*Proses Maximum Power Point Tracker.*

Dalam Gambar 3.4, hubungan daya mekanik berbanding dengan kecepatan rotor ditunjukkan untuk tiga kecepatan angin yang berbeda, di mana  $v_1 < v_2 < v_3$ . Panah menunjukkan lintasan di mana turbin akan dioperasikan menggunakan *Maximum Power Point Tracker algorithm* yang ditampilkan pada Gambar. 3.3. Jika kecepatan angin  $v_1$  kontroler akan melakukan pencarian daya

maksimum dari penjelasan algoritma. Jika perubahan angin untuk  $v_3$ , turbin tidak lagi dioperasikan pada titik daya maksimum sehingga kontroler akan mencari titik daya maksimal baru. Setelah mencapai titik daya maksimum tersebut, maka turbin angin akan beroperasi pada titik yang optimal hingga terjadi perubahan angin, sehingga pencarian daya maksimum dilakukan pada setiap perubahan kecepatan angin.

3.1.1 Perubahan Langkah Variabel ( $\Delta V_{dc}$ )

Dalam proses algoritma optimasi daya ditampilkan pada Gambar. 3.4, langkah yang menggabungkan kecepatan konvergensi dan keakuratan hasil akan dikembangkan. Setiap perubahan didasarkan pada metode *Newton-Raphson*. Nilai tersebut dapat dihitung sebagai,

$$X_{n-1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana  $X_n$  adalah nilai yang diketahui dari  $x$ ,  $f(X_n)$  merupakan nilai fungsi di  $x_n$ , dan  $f'(X_n)$  adalah turunan di  $X_n$ . Fungsi  $f(X_n)$  dapat ditunjukkan sebagai berikut,

$$f(X_n) = f(V_{dc}(k)) = \frac{dP}{dV_{dc}} = \frac{P(k)-P(k-1)}{V_{dc}(k)-V_{dc}(k-1)} = slope_{(k)} \dots (3.3)$$

Dan  $f'(X_n)$  sebagai,

$$f'(X_n) = f'(V_{dc}(k)) = \frac{d^2P}{dV_{dc}^2} = \frac{slope_{(k)}-slope_{(k-1)}}{V_{dc}(k)-V_{dc}(k-1)} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dengan menggunakan persamaan (3.2), (3.3), dan (3.4),  $\Delta V_{dc}$  dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$\Delta V_{dc} = \frac{f(V_{dc}(k))}{f'(V_{dc}(k))} = \frac{\frac{P(k)-P(k-1)}{V_{dc}(k)-V_{dc}(k-1)}}{\frac{slope_{(k)}-slope_{(k-1)}}{V_{dc}(k)-V_{dc}(k-1)}} = \frac{P(k)-P(k-1)}{slope_{(k)}-slope_{(k-1)}} \dots (3.5)$$

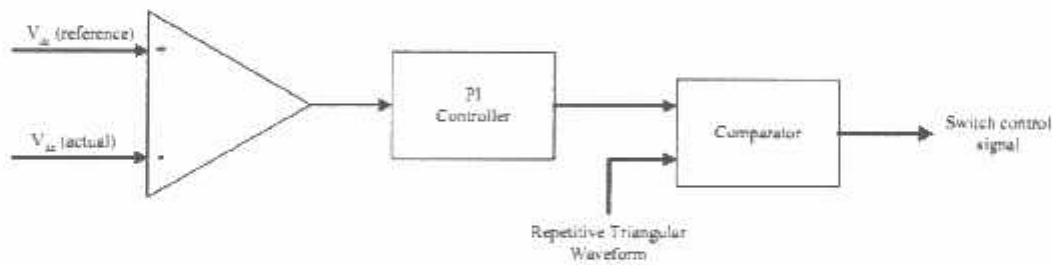
Oleh karena itu *referensi* dc tegangan dapat dihitung dengan

$$V_{ref}(K) = V_{ref}(K-1) + \Delta V_{dc} \dots\dots\dots (3.6)$$

Menggunakan langkah-langkah yang bervariasi akan memungkinkan pencarian daya maksimum untuk lebih cepat mencapai ke titik daya maksimum dan akan menurunkan osilasi daya karena nilai yang besar dari ΔVdc ketika daya maksimum tercapai. Untuk memberikan batasan terhadap nilai ΔVdc. Batas ΔVdc dapat diubah berdasarkan ukuran generator dan desain parameter.

**3.2 Dc / Dc Kontroler Konverter**

Pada kontroler dc – dc konverter Tegangan referensi akan digunakan untuk mengontrol tegangan dc - dc penyearah pada sisi terminal. Pada konverter dc - dc menggunakan kontroler umpan balik yang sederhana. Tegangan referensi yang dihasilkan oleh *Maximum Power Point Tracker* algorithm akan dibandingkan dengan tegangan sebenarnya, dan kesalahan sinyal diumpankan pada kontroler PI. Kontroler PI digunakan untuk menyesuaikan *duty cycle* dari pensaklaran konverter. Metode kontrol ini sederhana dan handal, dan dapat diimplementasikan dengan mudah. Pada Gambar. 3.5 merupakan diagram blok dari kontroler.



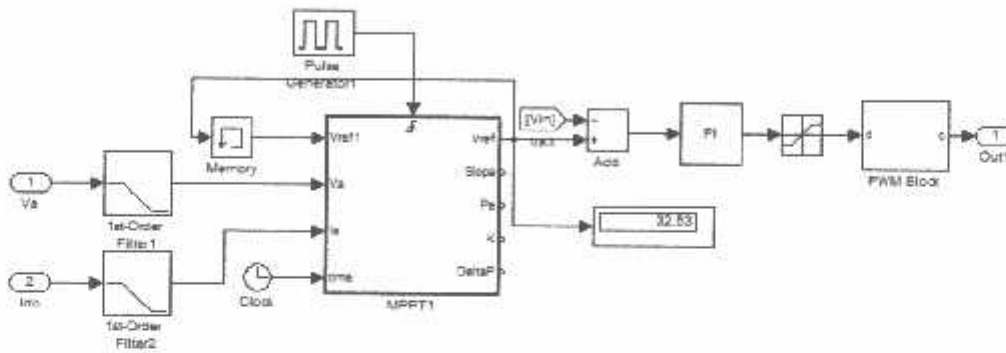
Gambar 3.5  
Blok Diagram Dari Kontroler Dc/Dc Konverter.

Untuk menyesuaikan tegangan dc, sinyal keluaran dari kontroler PI akan dibandingkan dengan gelombang segitiga frekuensi tetap secara berulang. Hal ini membuat sinyal akan mengaktifkan atau menonaktifkan saklar. *Duty cycle* konverter diberikan oleh,

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} \dots\dots\dots (3.7)$$

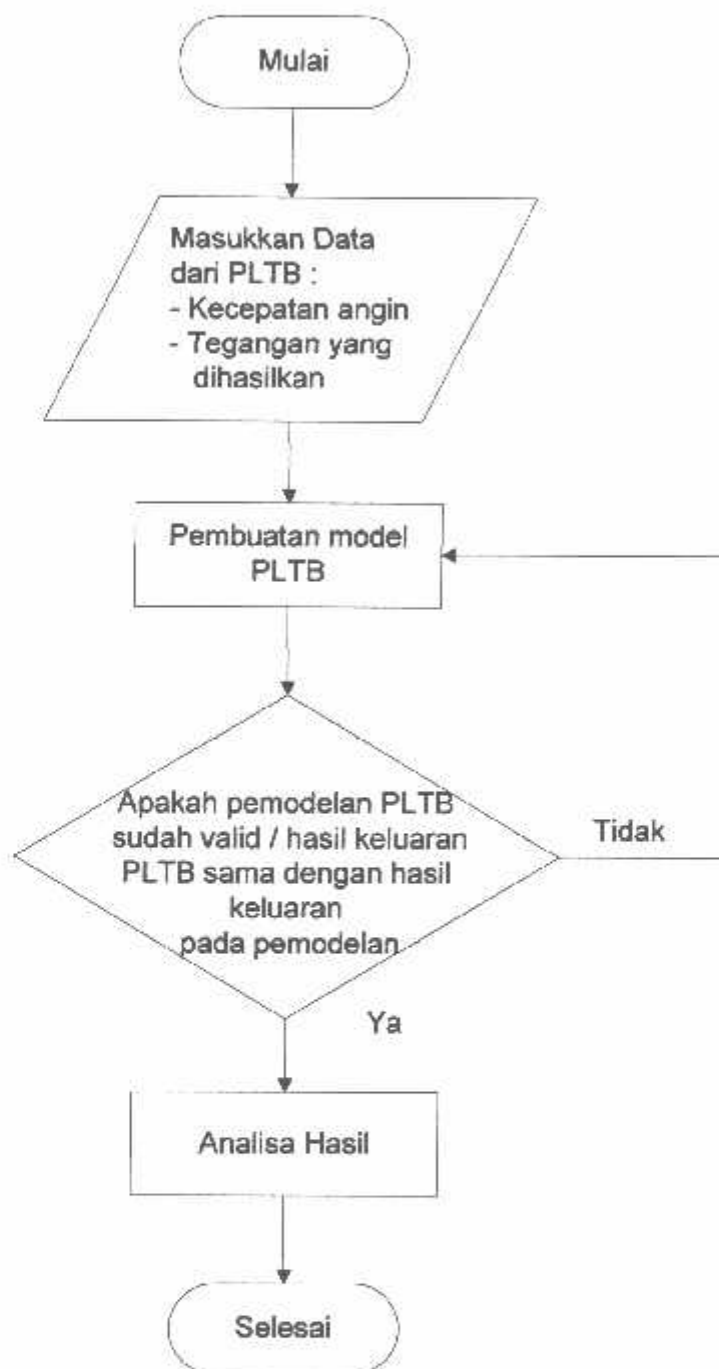
Dimana,  $t_{on}$  adalah waktu pensaklaran aktif (tertutup) dan  $T_s$  adalah *switching periode*. *Switching periode* diberikan oleh gelombang frekuensi secara berulang. Metode ini disebut *pulse-width modulation* (PWM) dan dengan mengubah  $t_{on}$  lebar dari perubahan *switching* gelombang.

### MPPT Sistem Kontrol



Gambar 3.6  
Model Matematis Kontrol MPPT

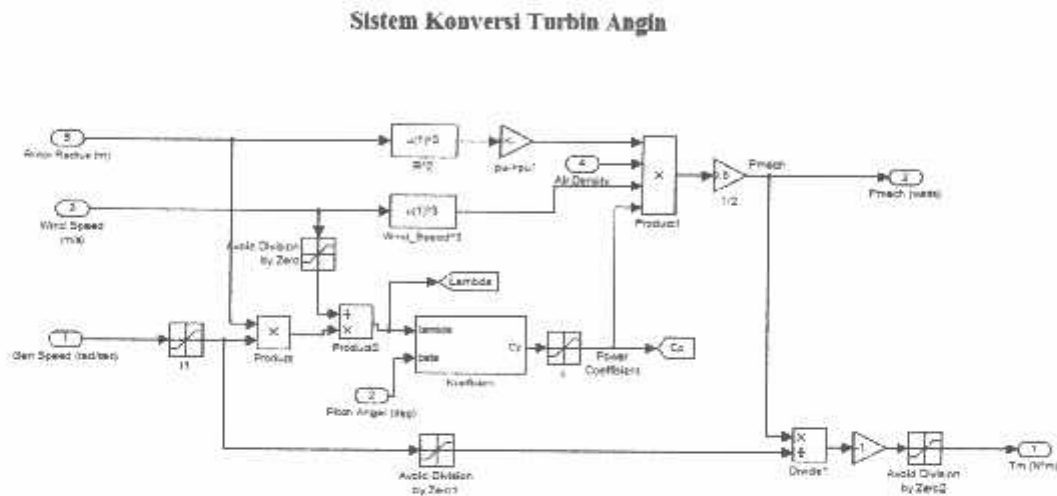
### 3.3 Flowchart Validasi Model MATLAB/SIMULINK



Gambar 3.7  
Flowchart Penyelesaian Masalah

### 3.4 Model Turbin Angin

Besaran daya turbin angin yang diekstrak dari energi angin tergantung pada desain turbin. Faktor-faktor seperti diameter rotor dan kecepatan angin mempengaruhi jumlah daya *output* turbin yang diekstrak dari energi angin. Turbin angin dimodelkan dengan menggunakan persamaan matematik yang ditunjukkan pada Bab II. Gambar 3.8 menunjukkan simulasi model turbin angin dan parameter turbin angin.



Gambar 3.8

Model Matematis Turbin Angin

Pada bagian berikut diketahui parameter dari turbin angin. Nilai dari Turbin angin yang digunakan diperoleh dari hasil simulasi dan pengukuran. Parameter untuk model turbin angin terdiri atas diameter rotor, densitas udara, nilai cut in dan cut out dari kecepatan angin dan sudut *blade* (*Pitch angle*) yang mempunyai nilai 0°, Tabel 3.1 menunjukkan parameter turbin angin.



Tabel 3.2.

## Parameter Generator Listrik

Parameter	Symbol	Nilai	Satuan
Daya rata-rata	$P_e$	200	W
Tegangan DC	$V_{0,Rated}$	48	V
Resistansi stator	$R$	0.485	$\Omega$
Induktansi stator	$L_d, L_q$	0.25	mH
fluks magnet	-	0.00945	Wb
Momen Inersia	$J$	0.00025	$Kg \cdot m^2$
Jumlah pole	$P$	28	-

Pada bagian berikut diketahui parameter dari peralatan elektronika daya. Nilai tiap elemen dari DC/DC konverter sisi bus telah diperoleh dari data *real* di lapangan. Tabel 3.3 menunjukkan parameter DC konverter.

Tabel 3.3

## Parameter Konverter DC/DC

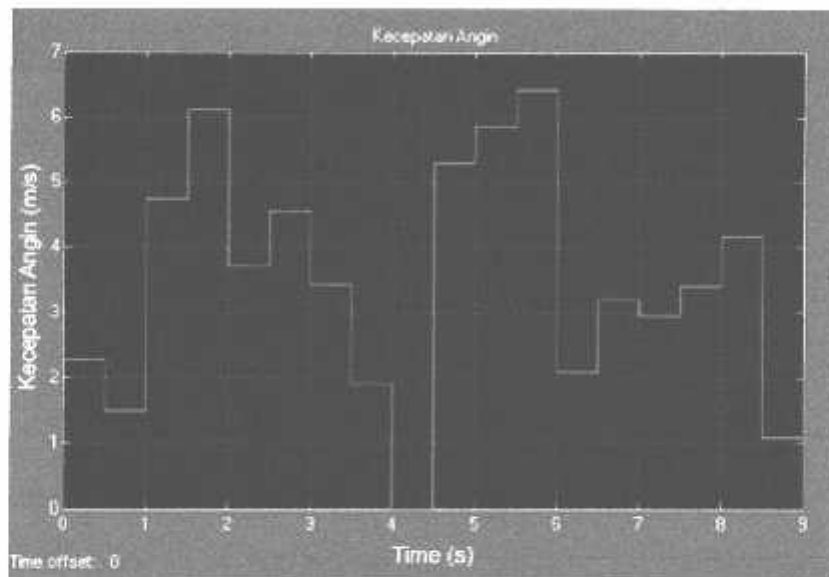
Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Daya rata-rata	$P_e$	200	W
Kapasitor 1	$C_1$	47	$\mu F$
Kapasitor 2	$C_2$	100	$\mu F$
Inductor	$L$	200	$\mu H$





#### 4.2 Data Hasil Pengukuran Dan Simulasi

Data hasil pengukuran diperoleh dari data *record* yang dilakukan secara *real time* untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus dilakukan pengukuran menggunakan avometer dengan nilai beban sebesar sebesar 24 volt, 35 watt dengan durasi kecepatan angin mulai dari 0 m/s hingga 6.4 m/s. Data dan hasil simulasi ini berisikan kecepatan angin, nilai tegangan DC, Arus DC dan daya DC keluaran dari konverter.



Gambar 4.2

Kecepatan Angin Pada Turbin

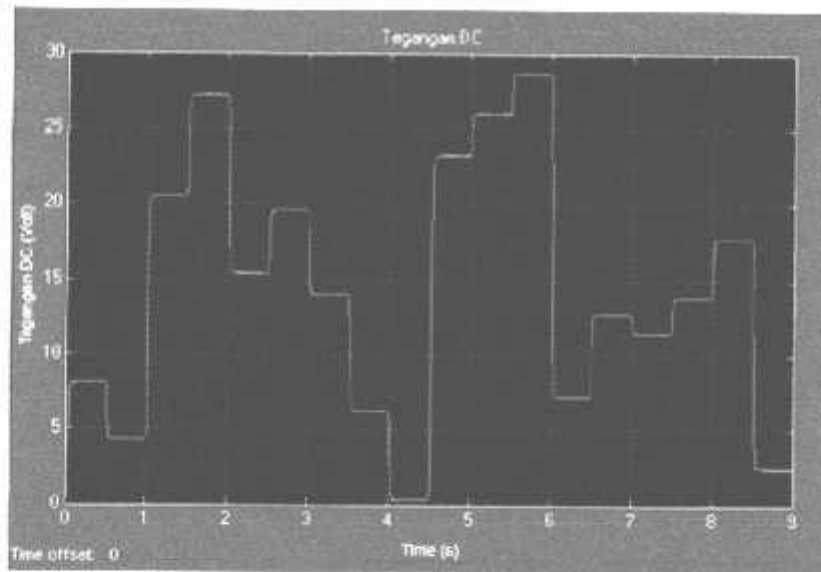
Gambar 4.2 diatas menjelaskan tentang kecepatan angin yang berfluktuasi mengikuti lingkungan sekitarnya berguna sebagai penggerak *blade* pada turbin angin. Untuk mengukur kecepatan angin menggunakan Anemometer, kecepatan angin dimulai dari batas minimalnya 0 m/s hingga batas maksimalnya 6.4 m/s. pada gambar dibawah merupakan data perbandingan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi dari software Matlab.

Tabel 4.1  
Data Hasil Pengukuran dengan Data Hasil Simulasi Tanpa MPPT

Kecepatan Angin	Data Hasil Pengukuran		Data Hasil Simulasi Tanpa MPPT	
	Tegangan (DC)	Arus (DC)	Tegangan (DC)	Arus (DC)
2.27	8.2	0.5	8.0	0.48
1.5	4.1	0.28	4.3	0.261
4.75	19.4	1.36	20.62	1.253
6.1	26.3	1.75	27.46	1.67
3.7	15.1	1.02	15.9	0.965
4.56	18.9	1.3	19.92	1.21
3.44	14.6	0.93	14.15	0.858
1.9	6.3	0.43	6.6	0.4
0	0	0	0	0
5.3	21.7	1.48	23.06	1.4
5.86	25.3	1.72	26.45	1.6
6.4	28.4	1.87	29	1.764
2.1	7.2	0.48	7.8	0.474
3.2	12.3	0.83	12.75	0.775
2.95	11.9	0.74	11.5	0.7
3.4	13.4	0.92	14.09	0.855
4.18	17.3	1.17	18.26	1.11
1.1	2.9	0.18	2.8	0.17

4.3 Hasil Simulasi Model

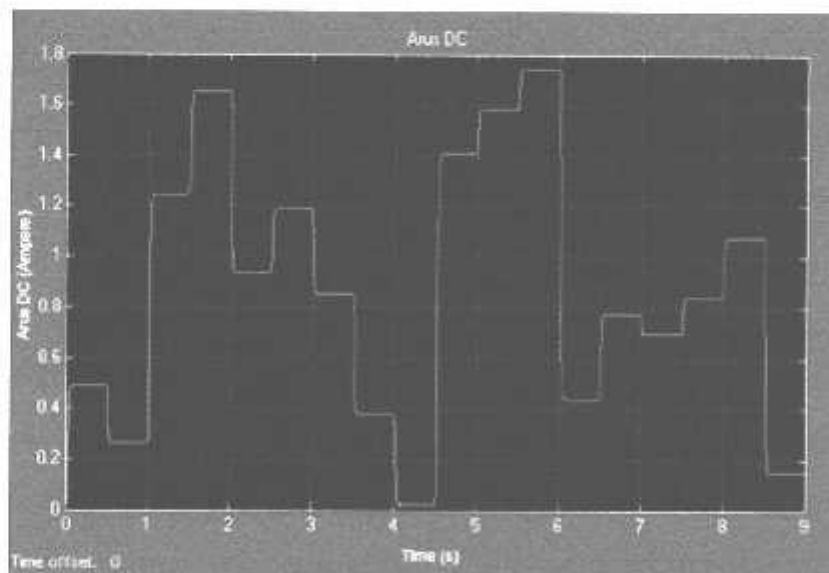
Dengan *software MATLAB/SIMULINK* ini secara skematik kita dapat memodelkan rangkaian, menjalankan simulasi, menganalisa hasil dan manajemen data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk kontrol dan alat-alat ukur. Berikut adalah hasil simulasi dari pemodelan.



Gambar 4.3

Hasil Simulasi Tegangan Keluaran Dari Konverter Tanpa MPPT

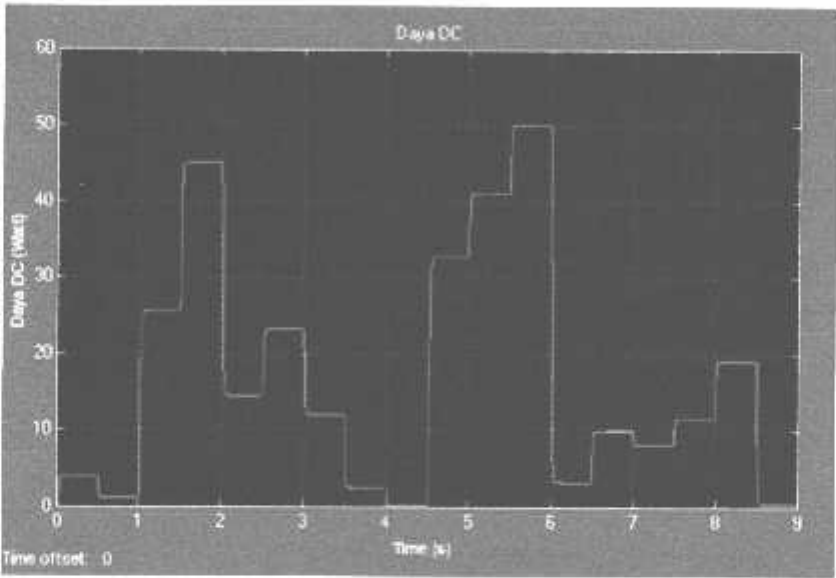
Gambar 4.3 menerangkan tentang bentuk tegangan dari hasil pemodelan. Terlihat pada gambar tersebut bentuk gelombang tegangan yang berubah-ubah nilainya. Hal ini disebabkan karena bentuk gelombang tegangan tersebut mengikuti dari kecepatan angin yang berfluktuasi. Simulasi dijalankan dengan time step sebesar 0.5 *second* dengan durasi selama 9 *second* dan kecepatan angin yang digunakan antara 0 m/s sampai dengan 6.4 m/s.



Gambar 4.4

Hasil Simulasi Arus Keluaran Dari Konverter Tanpa MPPT

Gambar 4.4 menerangkan tentang bentuk gelombang arus dari hasil pemodelan. Terlihat pada gambar tersebut gelombang tegangan yang berubah-ubah nilainya. Hal ini disebabkan karena bentuk gelombang tegangan tersebut mengikuti dari kecepatan angin yang berfluktuasi. Simulasi dijalankan dengan time step sebesar 0.5 second dengan durasi selama 9 second dan kecepatan angin yang digunakan antara 0 m/s sampai dengan 6.4 m/s.



Gambar 4.5  
Hasil Simulasi Daya Keluaran Dari Konverter Tanpa MPPT

Hasil simulasi daya keluaran dari konverter didapat dari perkalian antara tegangan dengan arus, karena pada skripsi ini menggunakan beban resistif maka untuk nilai cos phi diabaikan.

4.4 Perhitungan Prosentase Nilai Error

Untuk mengetahui nilai error tegangan dan arus keluaran dari konverter dengan mengacu pada table perbandingan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$error = \frac{Pengukuran-Simulasi}{Simulasi} \times 100\% .....(4.1)$$

Untuk kecepatan angin 2.27 m/s, maka untuk menghitung error tegangan dan arusnya adalah:

Nilai error tegangan :

$$\frac{8.2-8.0}{8.0} \times 100\% = 2.5\%$$

Nilai error arus :

$$\frac{0.5-0.48}{0.48} \times 100\% = 4.16\%$$

Tabel 4.2.

Perhitungan Nilai Error Tegangan Dan Arus Keluaran Dari Konverter

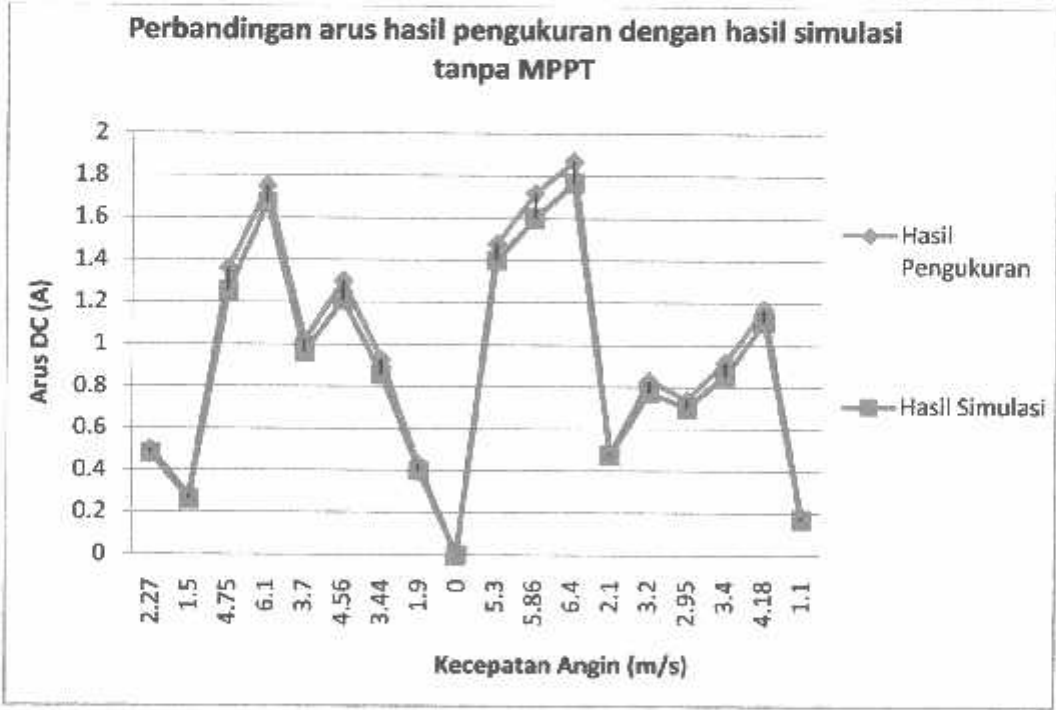
Kecepatan Angin	Nilai Error (%)	
	Tegangan	Arus
2.27	2.5	4.16
1.5	4.88	7.28
4.75	6.28	8.54
6.1	4.41	4.79
3.7	5.3	5.7
4.56	5.4	7.44
3.44	3.18	8.39
1.9	4.76	7.5
0	0	0
5.3	6.27	4.96
5.86	4.55	7.5
6.4	2.11	6.0
2.1	8.33	7.59
3.2	3.66	7.09
2.95	3.48	4.0
3.4	5.15	7.6
4.18	5.55	5.4
1.1	3.57	5.9
<b>Error rata-rata</b>	4.41	6.10

Sehingga dari perhitungan diatas dapat diketahui nilai error dari masing-masing tiap kecepatan angin, nilai error rata-rata tegangan sebesar 4.41 % dan nilai error rata-rata arusnya sebesar 6.10%.



Grafik.4.1

Hasil Perbandingan Tegangan Hasil Pengukuran  
dengan Hasil Simulasi Tanpa MPPT



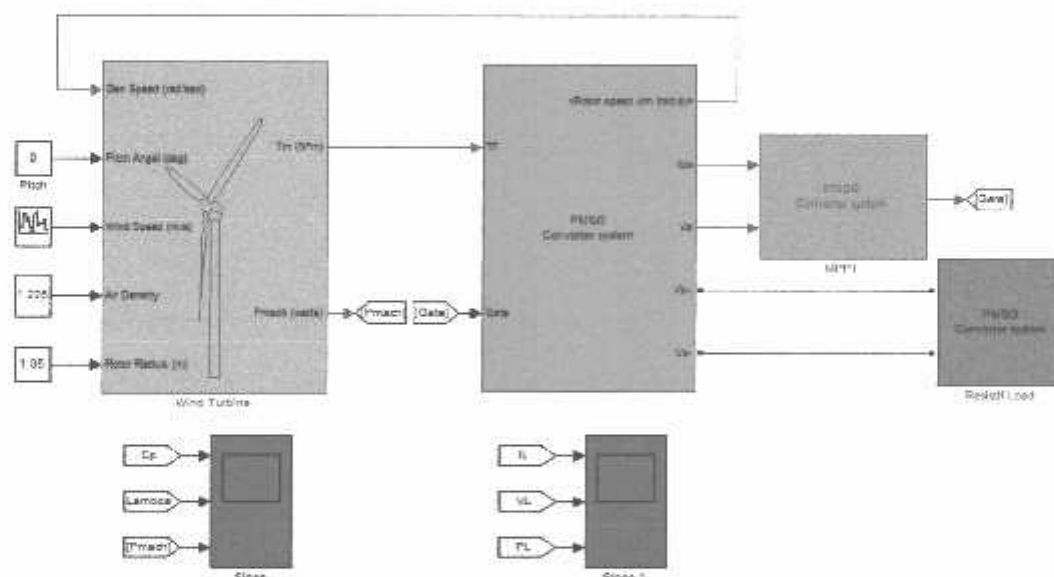
Grafik.4.2

Hasil Perbandingan Arus Hasil Pengukuran Dengan Hasil Simulasi Tanpa MPPT

#### 4.5 Perbandingan Hasil Pemodelan Tanpa MPPT Dengan Hasil Pemodelan Menggunakan MPPT

Kali ini simulasi akan dilakukan pengambilan data dengan perbandingan antara hasil pemodelan tanpa MPPT dengan hasil pemodelan dengan menggunakan MPPT. Setelah itu hasil keluaran tegangan dan arus tersebut juga akan dianalisa untuk besaran nilai kenaikannya dari perbandingan tersebut. Untuk mensimulasikannya tetap menggunakan software *MATLAB/SIMULINK*. Simulasi juga akan dijalankan dengan time step sebesar 0.5 s dengan durasi selama 9 s, dengan parameter PI pada P&O control yaitu  $K_p$  adalah 0,001 dan  $K_i$  adalah 10 . Berikut adalah pemodelan lengkap dari PLTB dengan menggunakan kontrol MPPT di mana setiap blok merupakan sebuah sub sistem yang berisi tentang model matematik untuk setiap subsistemnya.

## MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU ITN MALANG



Gambar 4.6

### Model PLTB Menggunakan MPPT Dengan Software MATLAB/SIMULINK

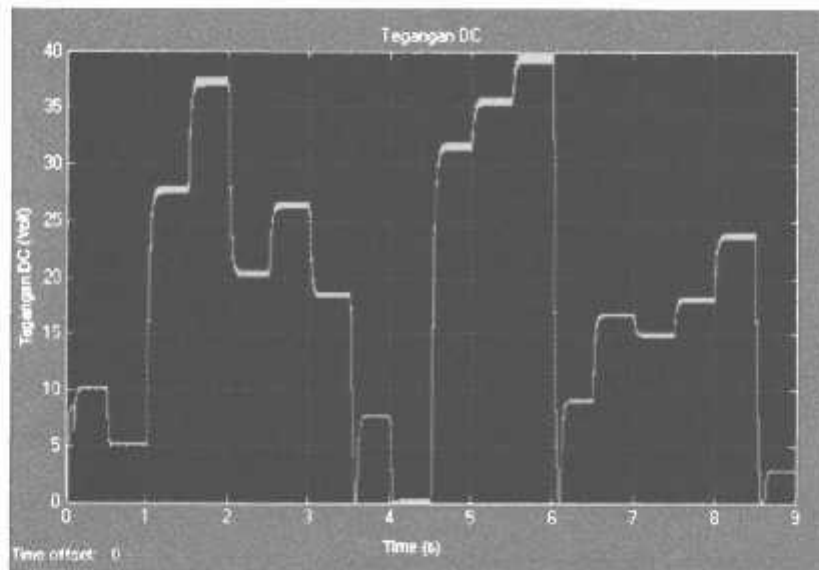


4.6 Data Hasil Simulasi

Hasil simulasi ini membandingkan antara pemodelan PLTB tanpa MPPT dengan pemodelan yang menggunakan MPPT. Kecepatan angin yang digunakan seperti sebelumnya yaitu antara 0 m/s hingga 6.4 m/s dan nilai beban sebesar 24 volt, 35 watt. Pada hasil simulasi ini berisikan kecepatan angin, nilai tegangan DC, Arus DC dan daya DC keluaran dari konverter.

Tabel 4.3  
Hasil Perbandingan Antara Hasil Simulasi Tanpa MPPT  
Dengan Yang Menggunakan MPPT

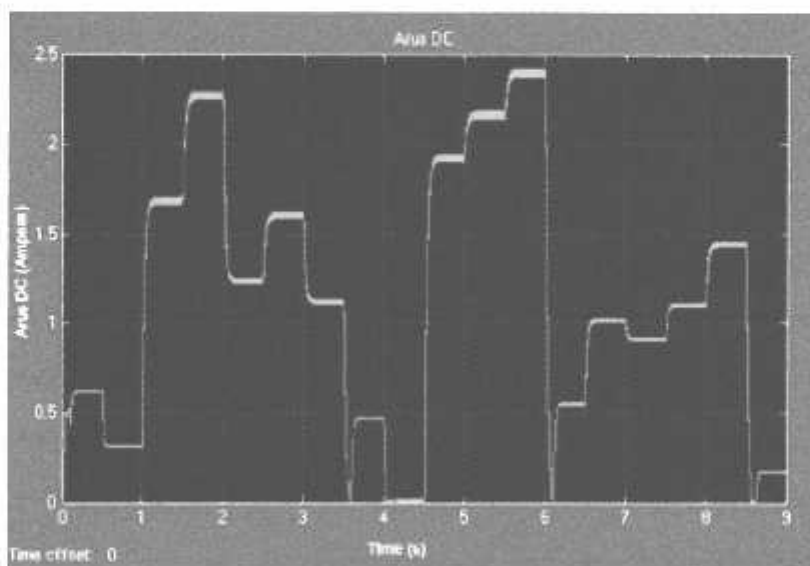
Kecepatan Angin	Data Hasil Simulasi Tanpa MPPT		Data Hasil Simulasi Dengan MPPT	
	Tegangan (DC)	Arus (DC)	Tegangan (DC)	Arus (DC)
2.27	8.0	0.48	10.3	0.63
1.5	4.3	0.261	5.2	0.32
4.75	20.62	1.253	28	1.7
6.1	27.46	1.67	37.7	2.3
3.7	15.9	0.965	20.6	1.25
4.56	19.92	1.21	26.7	1.62
3.44	14.15	0.858	18.7	1.14
1.9	6.6	0.4	7.8	0.47
0	0	0	0	0
5.3	23.06	1.4	32	1.95
5.86	26.45	1.6	36	2.2
6.4	29	1.764	40	2.43
2.1	7.8	0.474	9.2	0.56
3.2	12.75	0.775	16.7	1.02
2.95	11.5	0.7	15	0.91
3.4	14.09	0.855	18.3	1.12
4.18	18.26	1.11	23.7	1.45
1.1	2.8	0.17	3	0.18



Gambar 4.7

Hasil Simulasi Tegangan Keluaran Dari Konverter Menggunakan MPPT

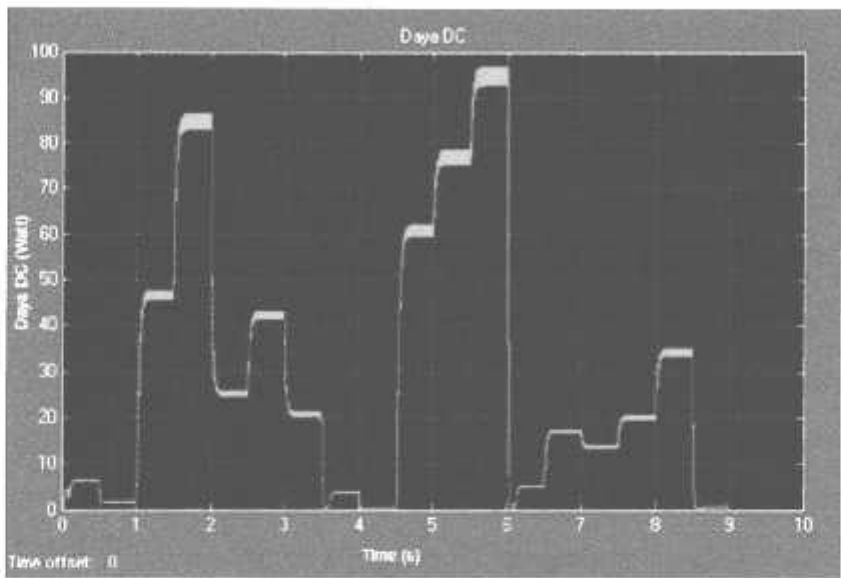
Gambar 4.7 menerangkan tentang bentuk tegangan dari hasil pemodelan. Simulasi dijalankan dengan time step sebesar 0.5 *second* dengan durasi selama 9 *second* dan kecepatan angin yang digunakan antara 0 m/s sampai dengan 6.4 m/s. Pemodelan dihubungkan dengan beban resistif 30 watt/24 volt dc, dan nilai  $K_p$  0.001 dan  $K_i$  10.



Gambar 4.8

Hasil Simulasi Arus Keluaran Dari Konverter Menggunakan MPPT

Gambar 4.8 menerangkan tentang bentuk gelombang arus dari hasil pemodelan. Simulasi dijalankan dengan time step sebesar 0.5 *second* dengan durasi selama 9 *second* dan kecepatan angin yang digunakan antara 0 m/s sampai dengan 6.4 m/s. Pemodelan dihubungkan dengan beban resistif 30 watt/24 volt dc, dan nilai Kp 0.001 dan Ki 10.



Gambar 4.9

Hasil Simulasi Daya Keluaran Dari Konverter Menggunakan MPPT

Hasil simulasi daya keluaran dari konverter didapat dari perkalian antara tegangan dengan arus, karena pada skripsi ini menggunakan beban resistif maka untuk nilai cos phi diabaikan.

**4.7 Perhitungan Prosentase Nilai Kenaikan Antara Hasil Simulasi Tanpa MPPT Dan Dengan MPPT**

Untuk mengetahui prosentase nilai kenaikan tegangan dan arus keluaran dari konverter antara hasil simulasi tanpa MPPT dan dengan MPPT yaitu dengan mengacu pada tabel perbandingan hasil simulasi tanpa MPPT dengan hasil simulasi menggunakan MPPT dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$Nilai\ kenaikan = \frac{MPPT - Tanpa\ MPPT}{Tanpa\ MPPT} \times 100\% .....(4.2)$$

Untuk kecepatan angin 2.27 m/s, maka untuk menghitung kenaikan tegangan dan arusnya adalah:

Nilai kenaikan tegangan :

$$\frac{10.3-8.0}{8.0} \times 100\% = 28\%$$

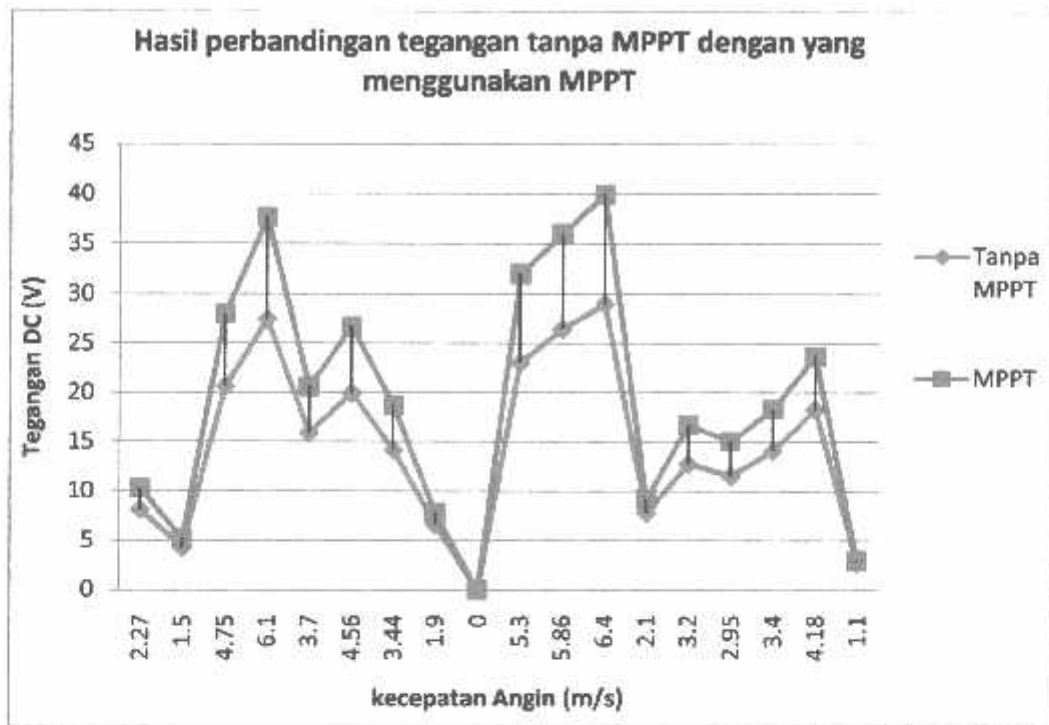
Nilai kenaikan arus :

$$\frac{0.63-0.48}{0.48} \times 100\% = 31.25\%$$

Tabel 4.4  
Hasil Perhitungan Nilai Kenaikan Tegangan Dan Arus

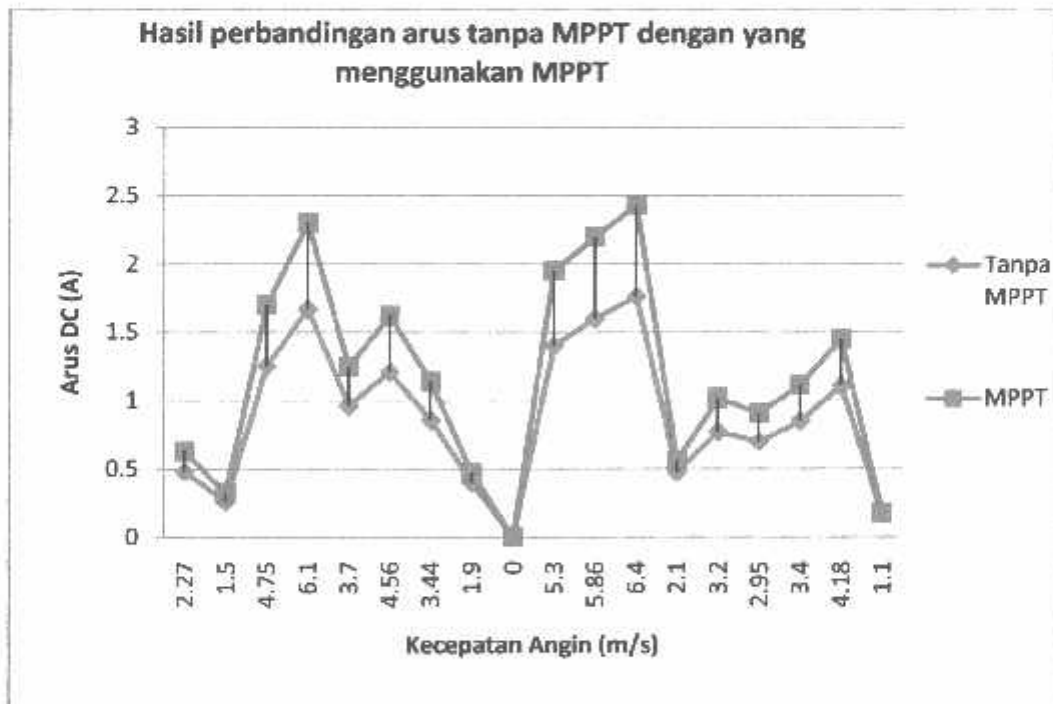
Kecepatan Angin	Nilai Kenaikan (%)	
	Tegangan	Arus
2.27	28	31.25
1.5	20.93	22.61
4.75	35.8	35.67
6.1	37.29	37.72
3.7	29.56	29.53
4.56	34.04	33.88
3.44	32.16	32.87
1.9	18.18	17.5
0	0	0
5.3	38.77	39.29
5.86	36.11	37.5
6.4	37.93	37.76
2.1	17.95	18.14
3.2	30.98	31.61
2.95	30.43	30
3.4	29.88	30.99
4.18	29.79	30.63
1.1	7.14	5.88
Kenaikan rata-rata	27.5	27.935

Sehingga dari perhitungan diatas dapat diketahui nilai kenaikan dari tiap kecepatan angin, nilai kenaikan rata-rata tegangan sebesar 27,5% dan nilai kenaikan rata-rata arusnya sebesar 27,935%.



Grafik 4.3

Hasil Perbandingan Tegangan Tanpa MPPT Dengan Yang Menggunakan MPPT



Grafik 4.4

Hasil Perbandingan Arus Tanpa MPPT Dengan Yang Menggunakan MPPT

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Hasil dari pemodelan pembangkit listrik tenaga bayu di Teknik Elektro ITN Malang dengan menggunakan bantuan *software MATLAB/SIMULINK*, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Turbin angin bekerja sesuai dengan karakteristik turbin dengan kecepatan rata-rata 6,4 m/s , untuk mendapatkan  $C_p$  sebesar 0,46; daya dari turbin ( $P_{mech}$ ) sebesar 830 watt dan TRS adalah 8,1.
2. Power koefisien diperoleh nilai 0.46 pada kecepatan angin 6 m/s, kerja turbin angin tidak optimal setelah kecepatan angin melewati nilai 8 m/s hal ini dikarenakan nilai  $C_p$  menjadi lebih kecil.
3. Untuk validasi model antara hasil simulasi tanpa MPPT dengan hasil pengukuran turbin angin diperoleh nilai rata-rata error tegangan konverter sebesar 4.41 % dan rata-rata nilai eror arus konverter sebesar 6.10 %.
4. Untuk hasil simulasi tanpa MPPT dengan hasil simulasi yang menggunakan MPPT nilai rata-rata kenaikan tegangan sebesar 27.5 % dan rata-rata nilai eror arus konverter sebesar 27.935 %.

#### 5.2 Saran

Pada pemodelan ini perlu ditambahkan pengendali gerak maju baling-baling (*Pitch Control*) yang berfungsi untuk mengendalikan sudut  $\beta$  pada saat sistem kelebihan beban atau kecepatan angin terlalu besar. Kemudian pengendali kecepatan dari generator (*Speed Control*) yang berfungsi sebagai pengaturan kecepatan rotasi turbin angin. Manfaat perlu ditambahkan pengendali kontrol yang lain agar memberikan variasi sistem kontrol selain dari sistem kontrol yang sudah digunakan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2002
- Z. Lubosny, *Wind Turbine Operation in Electric Power Systems*, Berlin, Germany: Springer, 2003.
- S. N. Bhadra, D. Kastha, S. Banerjee, *Wind Electrical Systems*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2005.
- I. Batarseh, *Power Electronic Circuits*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006.
- Farret, Felix A., M. Godoy Simões. *Integration of Alternative Sources of Energy*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2006.
- FGW: *Technical Guidelines for Power Generating Units. Part 4 Demandson Modeling and Validating Simulation Models of the Electrical Characteristics of Power Generation Units and System. Revision 4*, Sep. 15.2009
- E. Muljadi and A. Ellis, "Validation of wind power plant dynamic models," in *proc. IEEE PES General Meeting*, Pittsburg, PA, Jul.20-24, 2008
- S.N. Bhadra, D. Kastha, S. Banerjee, *Wind Electric System*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2005.
- H.A. Toliyat, S. Cambell, *DSP-Based Electromechanical Motion Control*, Boca Raton, FL: CRC Press, 2000
- H.E. Mena Lopez, *Maximum Power Tracking Control Scheme for Wind Generator Systems*, Texas, A&M University, 2000

# 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

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NAGA 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

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : PRIMA ADHI TRIANA
2. NIM : 09.12.008
3. Program Studi : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : **PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU PADA SISTEM HIBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN MALANG**

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

Hari : Selasa  
Tanggal : 19 Februari 2013  
Dengan Nilai : 84.2505 (A) *✓*

**Panitia Ujian Skripsi**

Ketua

(M. Ibrahim Ashari, ST, MT)  
NIP. P. 1030100358

Sekretaris

(Dr. Eng. Aryanto Soetedjo, ST, MT)  
NIP. Y. 1030800417

**Anggota Penguji**

Penguji I

(Ir. Abdul Hamid, MT)  
NIP. Y. 1018800188

Penguji II

(Awan Uji Krismanto, ST, MT)  
NIP. 198003012005011002



## PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Selasa  
Tanggal : 19 Februari 2013

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : PRIMA ADHI TRIANA
2. NIM : 09.12.008
3. Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : **PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU PADA SISTEM HIBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN MALANG**

No	Materi Perbaikan	Ket
1	Prinsip MPPT	A
2	Hasil detail simulasi <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Kecepatan Angin</li><li>▪ Tegangan</li><li>▪ Arus</li><li>▪ Daya</li></ul>	A
3	Bandingkan hasil dengan dan tanpa MPPT	A

Dosen Penguji I

Ir. Abdul Hamid, MT  
NIP. Y. 1018800188

Dosen Penguji II

Awan Uji Krismanto, ST. MT  
NIP. 198003012005011002

Dosen Pembimbing I

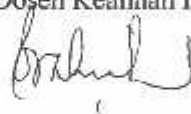

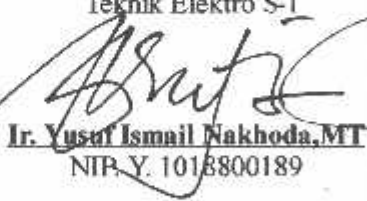

Ir. Teguh Herbasuki, MT  
NIP. Y. 1038900209

Dosen Pembimbing II

Ir. Choirul Shaleh, MT  
NIP. Y. 1018800190



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

1.	Nim	: 0912008	
2.	Nama	: PRIMA ADHI TRIANA	
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Energi Listrik	
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat
	12 Nopember 2012	09:00	III.1.1
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU PADA SISTEM HIBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN MALANG	
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian		
7.	Catatan :		
8.	Catatan :		
	Persetujuan judul Skripsi		
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II	Disetujui, Dosen Keahlian III
	 (.....)	 (.....)	(.....)
	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs		
Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1	Pembimbing I	Pembimbing II	
 <b>Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT</b> NIP. Y. 1018800189	 (.....)	(.....)	



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : PRIMA ADHI TRIANA  
Nim : 09.12.008  
Masa Bimbingan : 2012 s/d 2013  
Judul Skripsi : PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU  
PADA SISTEM HIBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN  
MALANG

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	17-10-2012	Bimbingan makalah seminar proposal	
2.	24-10-2012	Acc makalah seminar proposal	
3.	12-11-2012	Revisi tujuan sesuaikan dengan judul, grafik kecepatan angin, flowchart.	
4.	21-11-2012	Bimbingan teori pada Bab I, II dan III	
5.	11-12-2012	Bimbingan bab IV dan V	
6.	23-01-2013	Revisi bab IV dan bab V	
7.	27-01-2013	Bimbingan makalah seminar hasil	
8.	06-02-2013	Acc makalah seminar proposal	
9.	20-02-2013	Revisi semua Bab	
10.	20-03-2013	Acc ujian skripsi	

Malang, 21 Februari 2013  
Dosen Pembimbing I,

**Ir. Teguh Herbasuki, MT**  
NIP.Y.1038900209

Form.S-4b



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : PRIMA ADHI TRIANA  
Nim : 09.12.008  
Masa Bimbingan : 2012 s/d 2013  
Judul Skripsi : PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU  
PADA SISTEM HIBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN  
MALANG

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	17-10-2012	Bimbingan makalah seminar proposal	
2.	24-10-2012	Acc makalah seminar proposal	
3.	12-11-2012	Revisi tujuan disesuaikan dengan judul, grafik kecepatan angin, flowchart.	
4.	21-11-2012	Bimbingan teori pada Bab I, II dan III	
5.	11-12-2012	Bimbingan bab IV dan V	
6.	23-01-2013	Revisi bab IV dan bab V	
7.	27-01-2013	Bimbingan makalah seminar hasil	
8.	06-02-2013	Acc makalah seminar proposal	
9.	20-02-2013	Revisi semua Bab	
10.	20-03-2013	Acc ujian skripsi	

Malang, 21 Februari 2013  
Dosen Pembimbing II,

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

Form.S-4b



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

### Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

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

NAMA

NIM

Perbaikan meliputi:

① Prinsip MPPT ??

② Tanda ah hail detail simulasi

- frekuensi angin

- tegangan

- arus

- daya mekanik

③ Bandingkan hail dengan dan tanpa MPPT.

Malang,



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Temp. (0341) 417636 Malang

Lampiran : 1 (satu) berkas  
**Pembimbing Skripsi**

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Ir. Teguh Herbasuki, MT**  
Dosen Teknik Elektro S-1  
ITN Malang

Yang bertanda tangan dibawah

Nama : **PRIMA ADHI TRIANA**  
Nim : **0912008**  
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing untuk penyusunan Skripsi dengan judul :

**"PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU PADA SISTEM  
HIBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN MALANG"**

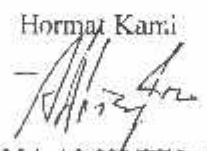
Demikian permohonan kami buat dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

  
**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**  
NIP.Y. 1018800789

Hormat Kami

  
**PRIMA ADHI TRIANA**  
NIM. 0912008



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Kampus II : Jl. Raya Kaunglo Km. 2 Telp. (341) 417636 Malang

## **PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI**

Sesuai permohonan dari mahasiswa/i :

Nama : **PRIMA ADHI TRIANA**

Nim : **0912008**

Semester : **VII (Tujuh)**

Jurusan : **Teknik Elektro S-1**

Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Dengan ini menyatakan bersedia/~~tidak bersedia~~\*) Membimbing skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

**" PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU PADA SISTEM HIBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN MALANG"**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Hormat Kami

**Ir. Teguh Herbasuki, MT**

NIP. Y. 1038900209

\*) Coret yang tidak perlu





**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
Kampus II : Jl. Raya Kawanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

Lampiran : 1 (satu) berkas  
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak/Ibu Ir. Choirul Saleh, MT  
Dosen Teknik Elektro S-1  
ITN Malang

Yang bertanda tangan dibawah

Nama : **PRIMA ADHI TRIANA**  
Nim : **0912008**  
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

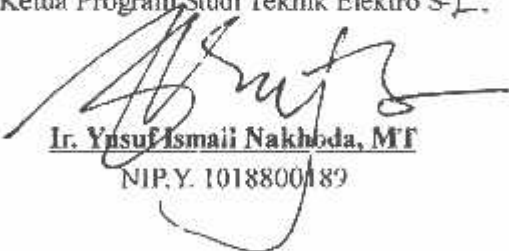
Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing untuk penyusunan Skripsi dengan judul :

**"PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU PADA SISTEM  
HIBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN MALANG"**

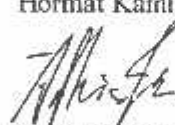
Demikian permohonan kami buat dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1.

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

Hormat Kami

  
**PRIMA ADHI TRIANA**  
NIM. 0912008



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
Kampus II : Jl. Raya Karamlingo Kin. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

## PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa/i :

Nama : PRIMA ADHI TRIANA  
Nim : 0512008  
Semester : VII (Tujuh)  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bersedia/~~tidak bersedia~~\*) Membimbing skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

**" PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU PADA SISTEM HIBRID DI TEKNIK ELEKTRO ITN MALANG "**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Hormat Kami

**Ir. Choirul Saleh, MT**

NIP. Y. 1018800190

Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini Diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut

\*) Coret yang tidak perlu

Berikut adalah data hasil pengukuran nilai tegangan dan arus keluaran converter, untuk avometer sebelah kiri menunjukkan nilai tegangan dan avometer sebelah kanan menunjukkan nilai arus. Dalam pengukuran ini dilakukan menggunakan beban lampu DC 35 watt 24 volt.



Pengukuran dengan kecepatan angin 6.1 m/s



Pengukuran dengan kecepatan angin 6.4 m/s



Pengukuran dengan kecepatan angin 2.95 m/s

Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika  
Sesuai Klimatologi Kelas II Karangpoho Malang  
Jl.Zeterna No.33 Karangpoho, Malang  
Telp : 0341-461595, Fax : 464827

Tanggal 08 Februari		Tanggal 09 Februari		Tanggal 10 Februari	
Waktu	Kec. Angin (Knot)	Waktu	Kec. Angin (Knot)	Waktu	Kec. Angin (Knot)
07.00	0	07.00	0	07.00	0
08.00	0	08.00	0	08.00	0
09.00	4	09.00	3	09.00	6
10.00	4	10.00	3	10.00	8
11.00	7	11.00	5	11.00	5
12.00	8	12.00	6	12.00	4
13.00	9	13.00	3	13.00	6
14.00	13	14.00	0	14.00	14
15.00	10	15.00	0	15.00	14
16.00	10	16.00	3	16.00	10





# Plagiarism Detector - Originality Report

Plagiarism Detector Project: [ <http://plagiarism-detector.com> ] Application core version: 604



This report is generated by the unregistered Plagiarism Detector Demo version!

- 600 initial words analysis only
- partial plagiarism detection
- some important results are excluded
- no external file processing

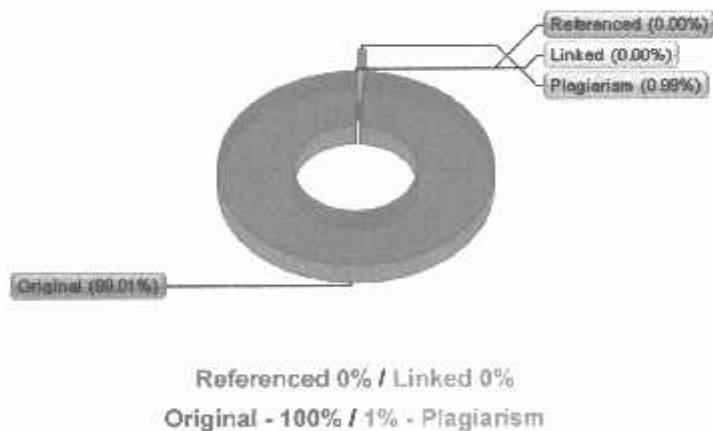
Register the software - get the complete functionality!

## Originality report details:

Generation Time and Date:	3/22/2013 1:34:22 PM
Document Name:	Makalah Seminar hasil.docx
Document Location:	E:\UNIVERSITY\SKRIPSI QU\SKRIPSI PLTB Oleh PRIMA ADHI TRIANA\Seminar Hasil (paper)\Makalah Seminar hasil.docx
Document Words Count:	3781

**Important Hint:** to understand what exactly is meant by any report value - you can click "Help Image" . It will navigate you to the most detailed explanation at our web site.

## Plagiarism Detection Chart:



## Hot Flags: [beta]

  [not detected]	 [not detected]	 Ghostwriting Services (210 records): [not detected]	 Counter Anti-Cheating: [not detected]
------------------------	--------------------	---	--

## PROGRAM CODE MPPT SOFTWARE MATLAB

```

function [Vref1,Slope,Pe,K,DeltaP]=
fcn(Va,V1,Ia,I1,Vref,Vlref,Slope1,t)
% Bagian ini mendukung pemrograman dari bahasa MATLAB
% Untuk lebih lengkapnya lihat pada bar help

%----- Data Masukan -----
if(t<=0.2)
    Vref=25;
    Vref1=25;
    Vlref=0;
    V1=0;
    I1=0;
    Dev2=0;
    Slope=0;
end

%----- Perhitungan -----
Vref1=Vref;

Pe=Va*Ia;                % Daya Aktual

P1=V1*I1;                % Daya pada k-1

DeltaP=(Pe-P1);          % Perubahan Daya. P1 adalah Daya k-1

DeltaV=(Va-V1);           % Perubahan Tegangan. V1 adalah k-1
Tegangan searah

DeltaVref=(Vref-Vlref);    % Perubahan tegangan referensi. Vlref
adalah n-1referensi        % Tegangan (atau tegangan yang
                             diinginkan)

%----- Optimasi kontrol loop -----

% variasi kontrol untuk meningkatkan tegangan referensinya
% k merupakan nama variabel dari sebuah perubahan

Slope=(DeltaP/DeltaV);    % Derivative at k
Dev2=(Slope-Slope1)/(DeltaV); % Dev2:2nd derivative of power
with respect to voltage
K=abs((Slope/Dev2));        %Delta V pada k

%----- Stop Limiting Loop -----

if(t<=0.3)
    K=5;
end

```

---

```

%----- Kecepatan angin keadaan Tinggi -----
if(DeltaP>=30)
    if(DeltaV<=0.5)
        K=5;
    end
end
if(DeltaP>=30)
    K=5;
end

%----- Kecepatan angin keadaan rendah -----
if(DeltaP<=-30)
    if(DeltaV<=0.5)
        K=5;
    end
end
if(DeltaP<=-30)
    K=5;
end

%----- Limiting Loop -----

% This loop limit the step change in reference voltage
if(K>-3)
    K=3;
end

%----- kontrol MPPT -----

if(DeltaP>0)
    if(DeltaVref>=0)
        Vrefl=Vref+K;
    else
        Vref=Vref-K;
    end
end

if(DeltaP<0)
    if(DeltaVref>=0)
        Vrefl=Vref-K;
    else
        if(DeltaP>=-25)
            Vrefl=Vref+K;
        end
    end
end
if(DeltaP==0&&DeltaVref>=0)
    Vrefl=Vref+K;
end
if(DeltaP==0&&DeltaVref<0)
    Vrefl=Vref-K;
end

```

---

```

% ----- Kecepatan angin keadaan tinggi -----

if(DeltaP>-50)
    if(DeltaV<=0.5)
        Vref=Vref+K;
    end
end

%----- Kecepatan angin keadaan rendah -----

if(DeltaP<=-50)
    if(DeltaV<=0.5)
        Vref2=Vref-K;
    end
end

```

---



## BIOGRAFI PENULIS



Prima Adhi Triana lahir pada tanggal 13 Maret 1989 di kota Ngawi, Jawa Timur. Merupakan anak ke tiga dari lima bersaudara putra Bapak Trisno Yuwono dan Ibu Purwati. Penulis memulai pendidikan pada tahun 1994 di SD Negeri 1 Soco dan lulus tahun 2000. Pertengahan tahun 2000 penulis mengenyam pendidikan di SLTP Negeri 1 Jogorogo sampai tahun 2003. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMK PGRI 1 Ngawi mulai tahun 2003 sampai 2006. Setelah lulus dari SMK Penulis sempat merasakan dunia kerja pada tahun 2007 sampai dengan 2009 di PT.ASTRA HONDA MOTOR. Kemudian melanjutkan Pendidikan diperguruan tinggi dimuali pada bulan September tahun 2009 di Institut Teknologi Nasional Malang pada Fakultas Teknik Industri jurusan teknik Elektro S-1 dengan konsentrasi Teknik Energi Listrik dan di wisuda pada tanggal 23 Maret 2013, dengan judul tesis "Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu pada Sistem Hybrid di Teknik Elektro ITN Malang. Semasa kuliah, penulis aktif dalam organisasi diluar kampus yaitu organisasi islam Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia (PMII) mulai tahun 2010 sampai dengan 2013 dan juga sebagai Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik, mulai dari tahun 2010 hingga 2013.

---