

**OPTIMASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID* PADA SEKTOR
SISTEM TURBIN ANGIN MENGGUNAKAN *MAXIMUM POWER POINT
TRACKING* (MPPT) DENGAN METODE *PARTICLE SWARM
OPTMIZATION* (PSO) DI PLTH BAYU BARU, BANTUL, D.I.
YOGYAKARTA**

SKRIPSI

Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Mencapai Derajat Sarjana S1



Disusun oleh:

Bibie Albar Whiancaka

13524110

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**

2018

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID* PADA SEKTOR
SISTEM TURBIN ANGIN MENGGUNAKAN *MAXIMUM POWER POINT
TRACKING (MPPT)* DENGAN METODE *PARTICLE SWARM OPTMIZATION*
(PSO) DI PLTH BAYU BARU, BANTUL, D.I. YOGYAKARTA

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

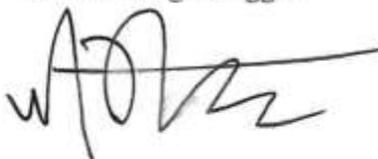
Disusun oleh:

Bibie Albar Whiancaka
13524110

Yogyakarta, 19 Februari 2018

Menyetujui,

Pembimbing Tunggal



Husein Mubarak

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 19 Februari 2018



Bibie Albar Whiancaka

KATA PENGANTAR



Assalamualikum wr.wb.,

Alhamdulillahirabbil `alamin, segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam yang telah memeberikan rahmat, hidayah dan karuni kepada setiap hamba-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta para keluarganya, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman. Skripsi yang berjudul “Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Pada Sektor Sistem Turbin Angin Menggunakan *Maksimum Power Point Tracking* (MPPT) Dengan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) Di Pantai Baru, Bantul, D.I. Yogyakarta” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan ini, ungkapan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya saya ucapkan kepada berbagai pihak yang memberikan bantuan, bimbingan, dukungan, kerjasama, fasilitas dan kemudahan lainnya. Untuk itu dengan tulus saya ucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Mubadiana, Wiwik S, serta adik-adik yang selalu memeberikan semangat, motivasi dan juga inspirasi.
2. Bapak Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T.,MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Husein Mubarak, S.T.,M.Eng. Selaku Pembimbing Tugas Akhir.
4. Mas Daud, mas Hammam, dan mas Bayu banyak membantu serta sharing ilmunya.
5. Farid, Rio, Mukti, Mas Bayu dan teman-teman kos lainnya. Serta keluarga bapak Giono, terimakasih banyak atas keramahan dan kebaikanya.
6. Sohib-sohib grub Keluarga Budi (KB), Wildan, Budi, Bayu, Anka, dan lainnya kalian memang keluarga terkocak seperantauan, semoga kita sukses semua.
7. Sobat paling indie, Ryan M. Terimakasih kawan *lo emang* lain daripada yang lain. Dan M Dasta sobat seperjuangan liku-liku masalah kuliah, teman KP, dan hal-hal gila maupun sepele.
8. Teman-teman menulis Kompasiana, Kaskus, dan forum-forum lainnya.
9. Keluarga satu perjuangan TE 13 dan semua pihak yang telah ikhlas membantu, mensupport, sharing dan menghibur menuntaskan skripsi ini.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

OPTIMASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID* PADA SEKTOR SISTEM
TURBIN ANGIN MENGGUNAKAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING*
(MPPT) DENGAN METODE *PARTICLE SWARM OPTMIZATION* (PSO) DI PLTH
BAYU BARU, BANTUL, D.I. YOGYAKARTA

TUGAS AKHIR

ISLAM
Oleh :

Nama : Bibie Albar Whiancaka

Nim : 13524110

Telah dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 23 Februari 2018

Tim Penguji,

Ketua

Husein Mubarak, S.T.,M.Eng

Anggota I

Tito Yuwono, S.T.,M.Sc

Anggota II

Dwi Ana Ratna Wati, S.T.,M.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro
Universitas Islam Indonesia



Dr.Eng Hendra Setiawan, S.T.,M.T.

HALAMAN MOTTO

تَعَلَّمُوا الْعِلْمَ ، فَإِنَّ تَعَلُّمَهُ قُرْبَةٌ إِلَى اللَّهِ عَزَّ وَجَلَّ ، وَتَعْلِيمُهُ لِمَنْ لَا يَعْلَمُهُ صَدَقَةٌ ، وَإِنَّ الْعِلْمَ لَيَنْزِلُ بِصَاحِبِهِ فِي مَوْضِعِ الشَّرَفِ وَالرَّفْعَةِ ، وَالْعِلْمُ زِينٌ لِأَهْلِهِ فِي الدُّنْيَا وَالْآخِرَةِ . (الربيع)

“Tuntutlah ilmu, sesungguhnya menuntut ilmu adalah pendekatan diri kepada Allah Azza wajalla, dan mengajarkannya kepada orang yang tidak mengetahuinya adalah sodaqoh. Sesungguhnya ilmu pengetahuan menempatkan orangnya dalam kedudukan terhormat dan mulia (tinggi). Ilmu pengetahuan adalah keindahan bagi ahlinya di dunia dan di akhirat.”

-HR. Ar-Rabii’-

Rabia was once asked, "How did you attain that which you have attained?" "By often praying, 'I take refuge in You, O God, from everything that distracts me from You, and from every obstacle that prevents me from reaching You.'"

-Rabi’a al-‘Adawiyya al-Qaysiyya-

“Apabila dalam diri seseorang masih ada rasa malu dan takut untuk berbuat suatu kebaikan, maka jaminan bagi orang tersebut adalah tidak akan bertemunya ia dengan kemajuan selangkah pun.”

“Gantungkan cita-citamu setinggi langit! Bermimpilah setinggi langit. Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh di antara bintang- bintang.”

-Soekarno-

ABSTRAK

Pemanfaatan sumber energi alternatif pada sebuah sistem pembangkit listrik tenaga hybrid (PLTH), memiliki kendala pada kurang optimalnya daya keluaran yang dihasilkan sistem pembangkit tersebut. Pada penelitian tugas akhir ini akan membahas pengoptimalan pada sisi sistem turbin angin pembangkit listrik tenaga angin, Kemudian dilakukan simulasi secara matematis, untuk memperoleh hasil daya keluaran yang optimal dan efisien, sehingga dibutuhkan penerapan menggunakan metode *maximum power point tracking* (MPPT) dengan algoritme *particle swarm optimization* (PSO) sebagai pengatur nilai *duty cycle* di *boost converter* ketika nilai kecepatan angin berubah - ubah. Hasil implementasi MPPT dengan algoritme PSO pada sistem turbin angin di PLTH menunjukkan kualitas yang baik. Terjadi peningkatan daya keluaran sebesar 27,73% saat kecepatan angin yang berubah-ubah.

Kata kunci: Optimasi, Energi terbarukan, Turbin angin, MPPT, PSO

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
HALAMAN MOTTO	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Studi Literatur	4
2.2 Tinjauan Teori.....	5
2.2.1 Proses Terjadinya Angin.....	5
2.2.2 Energi Angin.....	6
2.2.3 Turbin Angin.....	5
2.2.4 <i>Permanent Magnet Synchronous Self Generator</i>	5
2.2.5 Penyearah.....	6
2.2.6 <i>Konverter DC-DC</i>	6
2.2.7 <i>Buck Converter</i>	6

2.2.8 <i>Boost Converter</i>	7
2.2.9 <i>Buck Boost Converter</i>	7
2.2.10 <i>Maximum Power Poin Tracking (MPPT)</i>	7
2.2.11 <i>MPPT Dengan Algoritme Optimasi</i>	8
2.2.12 <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	8
BAB 3 METODOLOGI	14
3.1 <i>Alat dan Bahan</i>	14
3.2 <i>Metode Analisis</i>	14
3.3 <i>Cara Analisis</i>	16
3.3.1 <i>Data Karaterisitik Turbin angin dan Karakteristik Angin</i>	16
3.3.2 <i>Pemodelan Sistem Turbin angin</i>	16
3.3.3 <i>Implementasi Algoritm PSO</i>	16
3.3.4 <i>Analisa Turbin Angin</i>	19
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 <i>Hasil Pemodelan Sistem Turbin Angin</i>	20
4.2 <i>Implementasi Algoritme PSO</i>	21
4.2.1 <i>Analisis Sensitivitas</i>	20
4.2.2 <i>Analisis Validitas</i>	21
4.3 <i>Analisis Pengaruh Karakteristik Daya Keluaran Sistem Turbin Angin</i>	24
4.3.1 <i>Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap daya keluaran Sistem Turbin Angin</i>	24
4.3.2 <i>Perbandingan Sistem Turbn Angin Dengan Dan Tanpa MPPT</i>	26
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	28
5.1 <i>Kesimpulan</i>	28
5.2 <i>Saran</i>	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Blok diagram sistem pembangkit listrik tenaga <i>hybrid</i>	5
Gambar 2.2 <i>Tips speed ratio for various turbine</i> [10]	7
Gambar 2.3 Turbin Berjenis <i>Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)</i>	8
Gambar 2.5 Gelombang keluaran <i>boost converter</i>	10
Gambar 2.4 Tegangan keluaran <i>boost converter</i>	10
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	15
Gambar 3.2 Flowchart algoritme MPPT PSO.....	18
Gambar 4.1 Diagram blok sistem turbin angin	20
Gambar 4.2 Blok simulink sistem turbin Angin	20
Gambar 4.3 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Keluaran.....	23
Gambar 4.4 Grafik kecepatan angin dengan kecepatan rotor turbin angin	25
Gambar 4.5. Grafik perbandingan daya listrik sistem turbin angin dengan.....	27
Gambar 4.6.Grafik perbandingan Efisiensi sistem turbin angin dengan.....	27
Gambar 5.1 Parameter turbin angin	31
Gambar 5.2 Parameter jenis rotor generator	31
Gambar 5.3 Parameter Rotor Generator.....	32
Gambar 5.4 Parameter penyearah	32

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Verifikasi model sistem turbin angin	17
Tabel 4.2 Uji Sensitivitas algoritme PSO.....	19
Tabel 4.3. Uji Validitas algoritme PSO.....	20
Tabel 4.4 Pengaruh kecepatan angin terhadap kecepatan rotor dan daya keluaran	22
Tabel 5.1 Data karakteristik turbin angin.....	28
Tabel 5.2 Rating data performa turbin angin 1 KW.....	29

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sebagai negara berkembang Indonesia mempunyai kebutuhan energi listrik terus meningkat setiap tahunnya. Berkembangnya seluruh sektor untuk mendukung kehidupan yang lebih modern memerlukan sumber daya energi yang memadai, terutama energi primer yaitu energi listrik yang lebih besar. Sehingga perlu adanya energi terbarukan untuk mengatasi lonjakan kebutuhan energi listrik. Semakin menurunnya jumlah energi listrik dari bahan bakar konvensional sudah semakin menipis. Oleh karena itu pembangkit listrik energi terbarukan yang bersumber dari panas bumi, air, cahaya matahari, maupun angin harus ditingkatkan. Sesuai dengan kebijakan untuk memanfaatkan energi terbarukan tentang pengelolaan energi Nasional untuk memprioritaskan peningkatan dan optimasi pencapaian energi terbarukan tahun 2025 sejumlah 5% [1], maka sumber energi terbarukan bisa menjadi langkah alternatif sebagai sumber pembangkit energi listrik yang tetap tertuju pada keseimbangan dinamika, aspek teknis, keselamatan lingkungan hidup dan ekonomi di Indonesia.

Energi baru terbarukan yang melimpah tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal, dalam kondisi seperti ini diperlukan pengetahuan tentang energi baru terbarukan, tentang bagaimana masalah yang dapat timbul saat pengelolaan energi baru terbarukan sekaligus membuat kebijakan dalam pemanfaatan energi tersebut. Pada tahun 2016 lalu kebijakan akan Energi Baru Terbarukan (EBT) mengenai program 35.000MW diupayakan dapat mewujudkan ketahanan energi sekaligus menurunkan emisi gas rumah kaca, tanpa terkecuali pada kedaulatan energi untuk menopang kebutuhan energi Indonesia yang masih saja krisis seperti saat ini [2].

Potensi pengembangan energi angin dan energi matahari di pantai Baru yang berada di kabupaten Bantul Yogyakarta dengan kondisi geografis berhadapan dengan samudra Hindia, sangat menjanjikan sebagai pembangkit listrik tenaga *hybrid* [3]. Melalui pendirian PLTH Bayu Baru yang merupakan hasil kerjasama antara pemerintah, perguruan tinggi, swasta dan masyarakat bisa menjadi sebuah teladan untuk diimplementasikan di daerah lain yang memiliki potensi sumber energi terbarukan yang sesuai, agar mendorong perkembangan kesejahteraan masyarakat merata.

Salah satu faktor penghambat dari pemanfaatan energi baru terbarukan pada pembangkit listrik tenaga *hybrid* angin khususnya pada sistem turbin anginnya ialah pada rancangan sistem pembangkit yang kurang responsif saat kecepatan berubah-ubah[1]. Metode PSO mampu memberikan respon yang baik untuk sistem turbin angin dengan kecepatan angin yang berubah-ubah.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana desain sistem turbin angin menggunakan MPPT dengan algoritme PSO yang dapat beradaptasi dengan kecepatan angin yang berubah-ubah ?
2. Berapa efisiensi yang diperoleh sistem turbin angin dilengkapi dengan MPPT dengan algoritme PSO ?
3. Bagaimana nilai daya keluaran ketika terjadi perubahan kecepatan angin terhadap keluaran dari sistem turbin angin yang dilengkapi dengan MPPT dengan algoritme PSO ?

1.3 Batasan Masalah

1. Pada penelitian ini optimasi diimplementasikan hanya pada sistem turbin angin.
2. Data kecepatan angin yang menjadi objek dari penelitian disesuaikan dengan spesifikasi turbin angin *low wind speed* (LWS) di PLTH Bayu Baru Yogyakarta.
3. Data pada penelitian ini *pitch angle* bernilai konstan.
4. Data yang dipakai pada penelitian ini merupakan *rated* kecepatan angin dari turbin 1kW.
5. Simulasi tentang optimasi ini tanpa penggunaan penyimpanan daya atau baterai.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Memperoleh desain sistem turbin angin yang dilengkapi MPPT dengan metode PSO sehingga mampu beradaptasi dengan kecepatan angin yang berubah-ubah, yang mana dalam penelitian ini sistem turbin angin dimodelkan secara sistematis.
2. Mengetahui seberapa besar peningkatan efisiensi sistem turbin angin setelah dilengkapi dengan MPPT.
3. Mengetahui performansi turbin angin pada saat kecepatan yang berubah-ubah.

1.5 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian tentang optimasi pada sistem turbin angin di pembangkit listrik tenaga *hybrid* di pantai Baru yang berada di kabupaten Bantul Yogyakarta , diharapkan dapat menjadi titik awal pemecahan masalah terkait performansi sebuah pembangkit listrik alternatif atau energi baru terbarukan, sehingga berjalan optimal.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Angin yang memiliki kecepatan berubah-ubah dan tidak menentu mengakibatkan daya keluaran yang dihasilkan oleh sebuah turbin angin pada sebuah pembangkit listrik tidak maksimal. Untuk mengatasi hal tersebut menjaga supaya daya keluaran yang mampu mewujudkan pasokan energi listrik tetap tinggi maka perlu adanya optimasi pada sistem tersebut. Seperti menggunakan bantuan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Selain itu terdapat pula berbagai macam metode untuk memperoleh sebuah titik operasi yang optimum pada sebuah sistem turbin angin. Seperti pada penelitian[4], metode yang digunakan untuk melakukan optimasi adalah *Tip Speed Ratio (TSR)*, dengan menggunakan metode TSR terbukti kecepatan putar rotor mampu mengikuti kecepatan *reference* motor dan *error* yang dihasilkan ketika kecepatan angin yang berubah-ubah. Selanjutnya menghasilkan daya keluaran yang optimal pada sebuah sistem turbin angin.

Terdapat juga penelitian yang dilakukan untuk memperoleh sebuah daya keluaran maksimum terhadap pencarian sebuah titik daya maksimum dan juga masih menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan cara mengimplementasikan sebuah metode yaitu *gradient approximation*. Metode pada penelitian tersebut memanfaatkan tegangan dan arus beban dan merubahnya menjadi sebuah *duty cycle* pada *converter dc-dc* supaya memperoleh sebuah daya keluaran yang maksimal. Penelitian ini menghasilkan peningkatan turbin angin sebesar 13-18%[5]. Sehingga daya keluaran rata-rata yang dihasilkan lebih optimal dan besar daripada tidak menggunakan MPPT

Pada penelitian[6] dilakukan sebuah penelitian dengan cara membandingkan antara metode *hill climb search* (HCS) dan metode *particle swarm optimization* (PSO). Dari hasil penelitian tersebut metode PSO dengan *input* masukan pada sistem turbin angin yang berubah-ubah menghasilkan respon yang baik dan menghasilkan range osilasi lebih kecil. Sehingga menghasilkan daya keluaran yang optimal

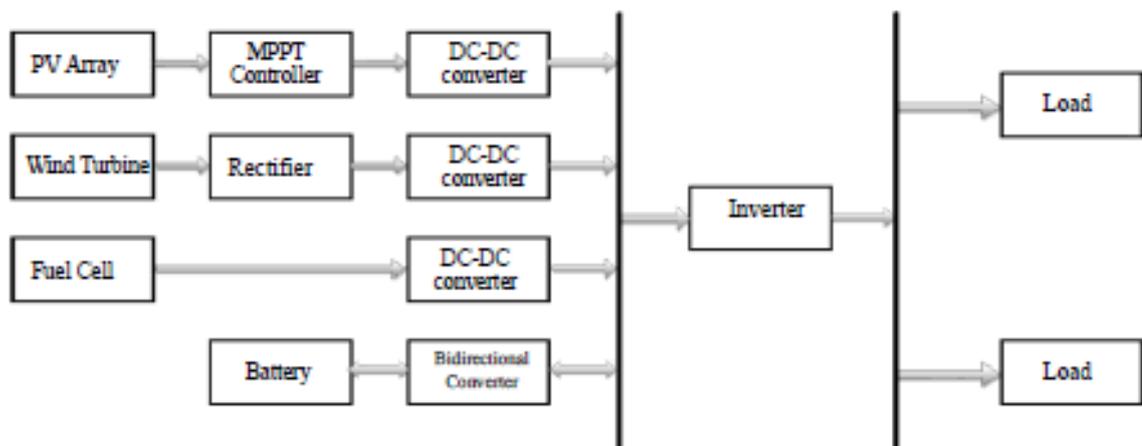
Mengacu pada literatur penelitian-penelitian diatas, penelitian ini akan menggunakan sebuah konfigurasi pada sistem turbin angin yang terdiri atas *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) untuk merubah energi kinetik menjadi energi listrik yang kemudian disalurkan ke beban. Selanjutnya energi listrik yang masih berupa AC akan diubah menjadi DC dengan bantuan *rectifier*. Untuk memperoleh daya keluaran yang maksimum penelitian ini menggunakan sebuah *converter DC-DC* yang dikombinasikan dengan

maximum power poin tracking (MPPT) yang telah dioptimalkan dengan menggunakan metode *particle swarm optimization* (PSO).

2.2 Tinjauan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Berbasis Energi Surya dan Angin

Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan lebih dari satu macam pembangkit. Yang membedakan adalah kombinasi PLTH merupakan gabungan dari energi baru terbarukan dan energi yang tidak dapat diperbarui. Untuk itu PLTH yang bertempat di Bantul ini memanfaatkan gabungan energi angin dan panas matahari. Untuk itu pembangkit tenaga hibrid ini menggunakan kincir atau turbin angin dan panel surya atau *photovoltaic* untuk mengkonversi energi angin dan panas matahari menjadi energi listrik. Dibawah ini pada gambar 2.1 menunjukkan skema dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid*, dimana penelitian ini akan menjelaskan teori secara mendetailnya pada poin – poin berikutnya pada lingkup sistem turbin angin guna mencari energi listrik keluaran paling optimal[10].



Gambar 2.1 Blok diagram sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid*

2.2.2 Proses Terjadinya Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari daerah bertekanan dengan udara tinggi ke daerah dengan tekanan udara bertekanan udara lebih rendah. Pergerakan udara ini disebabkan oleh pergerakan rotasi bumi dan juga dikarenakan perbedaan tekanan udara disekitarnya. Jika udara dipanaskan akan memuai naik karena lebih ringan. Jika udara yang dipanaskan naik dan kemudian turun karena udara berkurang kerapatannya sehingga udara disekitarnya akan mengalir ketempat yang bertekanan lebih lebih rendah. Udara lalu

menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Diatas tanah udara menjadi panas lagi dan kembali naik[7].

2.2.3 Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak. Oleh karena itu angin memiliki energi kinetik, energi angin dapat dikonversikan kedalam bentuk energi lain seperti energi mekanik atau energi listrik dengan menggunakan kincir atau disebut dengan sistem konversi energi angin. Daya berbandung lurus dengan kecepatan angin dan kerapat udara sebagaimana pada persamaan (2.1) [8][9].

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3 C_p (\lambda, \beta) [8] \quad (2.1)$$

Dengan nilai :

P_m = Energi angin

ρ = Kerapatan udara (kg/m^3)

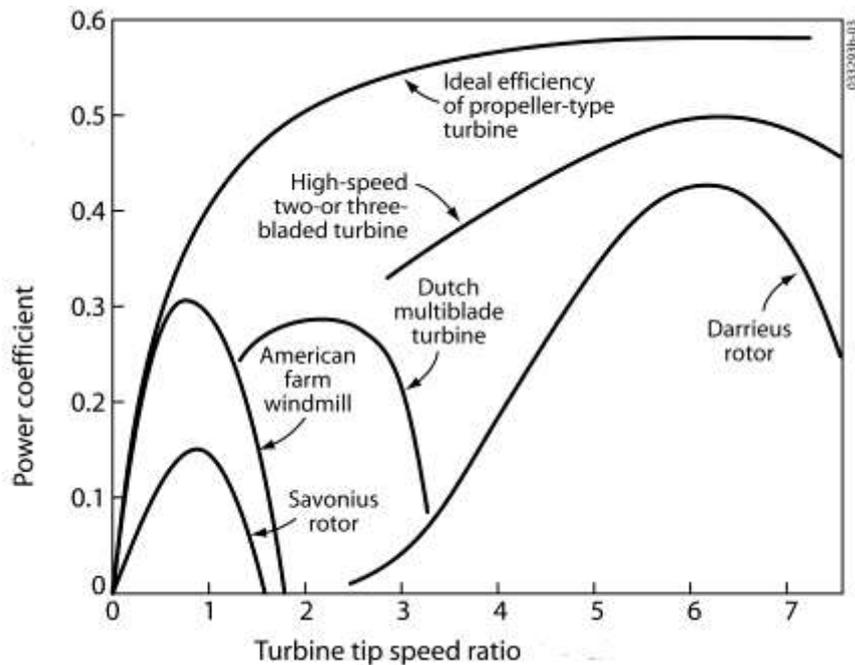
R = Jari – jari (m)

V = Kecepatan Angin (m/s)

C_p = Koefisien Peforma Turbin

2.2.4 Turbin Angin

Turbin angin berfungsi untuk mengkoversikan energi angin menjadi energi mekanik sesuai persamaan (2.2). koefisien performa turbin angin(C_p) merepresentasikan efisiensi ekstraksi daya pada turbin angin. (C_p) merupakan fungsi *non* linier dari *tip speed ratio* (λ) dan *blade pith angle* (β). Secara teoritis (C_p) memiliki nilai maksimum 0,59 sebagaimana digambarkan pada pada Gambar 2.2 akan tetapi dalam praktiknya nilainya berkisar 0,4 dan 0,45[9].



Gambar 2.2 *Tips speed ratio for various turbine*[10]

TSR merupakan variabel yang mengekspresikan perbandingan antara kecepatan linier ujung *blade* terhadap kecepatan putar (λ) dari turbin angin berikut ini adalah persamaanya.

$$\lambda = \frac{\omega_m R}{V_w} \quad [9] \quad (2.2)$$

Dengan nilai:

- ω_m = Kecepatan Anguler
- R = Radius Turbin
- V_w = Kecepatan Angin
- λ = kecepatan putar

Pada penelitian sebelumnya, terdapat beberapa persamaan yang digunakan untuk menyatakan (C_p) pada studi kali ini adalah sebagai berikut :

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left(\frac{C_2 \lambda}{\lambda_1} - C_3 \beta - C_4 \right)_e - \frac{C_5}{\lambda_1} + C_6 \lambda_1 \quad (2.3)$$

$$\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{\lambda + 0,008\beta} - \frac{0,35}{1 + \beta^3} \quad [9]$$

Selanjutnya untuk turbin angin sumbu horizontal atau Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Gambar 2.3 Turbin Berjenis *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)[11] memiliki *blade* yang kaku, dibuat sedemikian rupa dan memiliki poros rotor utama serta generator listrik di bagian menara. Pada turbin angin yang memiliki ukuran yang besar biasanya menggunakan sensor angin yang gabungan pada motor *servo*. Perangkat *gearbox* biasanya juga dipasang agar perputaran kincir yang pelan dapat menjadi lebih cepat.



Gambar 2.3 Turbin Berjenis *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)

2.2.5 Permanent Magnet Synchronous Self Generator (PMSG)

Pada PMSG medan magnet yang diberikan tidak melalui *elektromagnetik* melainkan melalui magnet permanen. Dalam hal ini *fluks* medan tetap konstan dan *supply* untuk mengekstasi kumparan medan tidak diperlukan begitu pula dengan keberadaan *slip ring*. Penggunaan PMSG dalam sistem mesin listrik memiliki beberapa keuntungan sebagai berikut [11].

1. Tidak ada energi listrik yang diserap oleh sistem eksitasi medan, dengan demikian tidak akan ada rugi-rugi eksitasi sehingga efisiensi akan meningkat.
2. Torsi dan daya keluaran yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan eksitasi *elektromagnetik*.
3. Respon dinamis yang lebih baik dibanding dengan menggunakan eksitasi *elektromagnetik*, dikarenakan rapat *fluks* pada *air gap* lebih tinggi.
4. Rugi-rugi tembaga yang lebih kecil.
5. *Acoustic noise* kecil.

2.2.6 Penyerah

Penyerah atau *rectifier* berfungsi untuk merubah listrik AC menjadi listrik DC. Hal ini sangat diperlukan dalam sistem turbin angin mengingat frekuensi listrik AC keluaran dari sistem sangat berpengaruh oleh kecepatan angin. Semakin besar kecepatan angin maka

frekuensi keluaran juga semakin besar. Oleh karena itu penyearah akan merubah listrik ac ke dc untuk kemudian disalurkan ke beban atau diubah kembali menjadi listrik AC dengan frekuensi yang diatur sesuai dengan kebutuhan dengan bantuan *inverter*[12]. Listrik AC keluaran PMSG akan disearahkan oleh penyearah diode gelombang penuh tiga fase menggunakan sistem jembatan dengan enam buah *diode*. Berikut persamaan (2.4) tegangan rata-rata (V_0) atau DC keluaran penyearah tiga fase yang mana berbading lurus dengan AC maksimum V_m .

$$V_0 = \frac{1}{3} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3V_m}{\pi} = 0,955 V_m \quad [9] \quad (2.4)$$

2.2.7 Converter DC-DC

converter DC-DC atau *DC Choper* merupakan suatu rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan DC masukan menjadi tegangan DC keluaran yang dapat divariasikan dengan mengatur *duty cycle* pada rangkaian kontrolnya[12]. Komponen yang biasa digunakan untuk menjalankan fungsi *switching* adalah *transistor*, *metal oxide semiconductor field effect transistor* (MOSFET) dan *insulated gate bipolar transistor* (IGBT).

2.2.8 Buck Converter

DC *buck converter* dapat mengubah suatu nilai tegangan DC tertentu menjadi tegangan DC yang lebih rendah[12]. Prinsip kerja *DC Choper* tipe *buck* terbagi menjadi dua yaitu ketika *switch* MOSFET *on* dan dioda *off* arus mengalir dari sumber menuju induktor sehingga terjadi proses pengisian induktor, kemudian pemfilteran oleh kapasitor lalu beban dan kembali ke sumber, selanjutnya saat *switch* MOSFET *off* dan dioda *on* arus tersimpan pada induktor akan dikeluarkan dan menuju ke beban lalu ke *dioda freewheeling* dan kembali lagi ke induktor. Dengan mengatur *duty cycle* (D) maka bisa didapatkan tegangan keluaran (V_{out}) dimana nilai tegangan rata-ratanya lebih rendah dibanding tegangan masukan.

$$V_{out} = D \cdot V_{in} \quad [9] \quad (2.5)$$

Dengan nilai:

$$D = \text{Duty Cycle}$$

$$V_{in} = \text{Tegangan masuk}$$

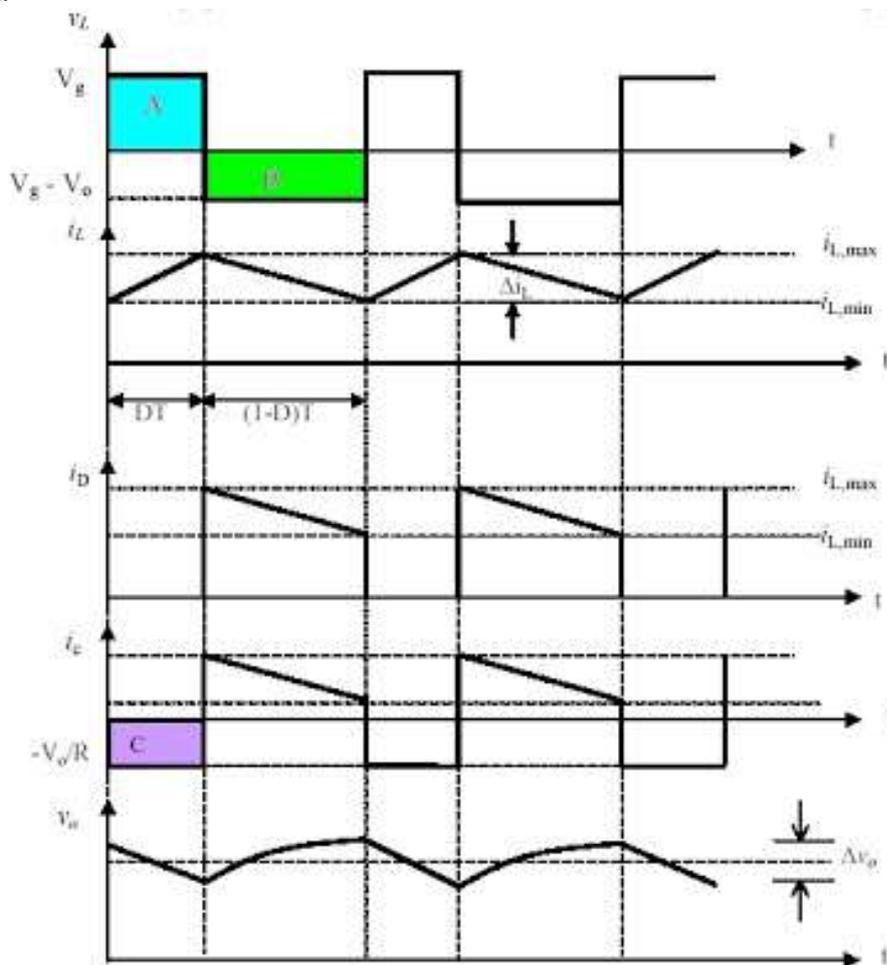
$$V_{out} = \text{Tegangan keluaran}$$

2.2.9 Boost Converter

DC chopper tipe boost dapat mengubah suatu nilai tegangan DC tertentu menjadi tegangan DC yang lebih tinggi[13] Untuk rangkaian DC choper tipe boost maka komponen MOSFET berguna sebagai *switch*-nya. Ketika MOSFET *on* dan dioda *off* maka arus mengalir menuju induktor dan menjadi proses pengisian arus pada induktor. Selanjutnya saat MOSFET *off* dan dioda *on* arus yang ada di induktor akan dikeluarkan. Sehingga arus yang mengalir pada dioda dan beban adalah arus nilai penjumlahan antara arus pada sumber dan induktor. Pada saat yang bersamaan terjadi pula proses pengisian tegangan pada kapasitor sehingga *ripple* akan berkurang. Hubungan antara tegangan masukan dan keluaran DC choper tipe boost dapat digambarkan melalui persamaan berikut:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 - D} \quad [9] \quad (2.6)$$

Sehingga dihasilkan gelombang keluaran dari proses perubahan nilai tegangan seperti dibawah:



Gambar 2.5 Tegangan keluaran boost converter

Dari gambar 2.4 diatas bahwa arus pada beban (IL) akan naik ketika MOSFET dalam kondisi *off* dan turun ketika MOSFET kondisi *on*. Dengan begitu ketika nilai *duty cycle* besar maka semakin besar juga tegangan yang dihasilkan *boost converter*. Sedangkan nilai tegangan keluaran selalu lebih besar atau sama dengan tegangan masukan *boost converter*. Semakin besar nilai *duty cycle* maka area berwarna biru muda diatas juga semakin besar.

2.2.10 Buck Boost Converter

Dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah atau lebih tinggi daripada sumbernya. Rangkain kontrol daya penyaklaran akan meberikan sinyal kepada MOSFET seperti pada gambar. Jika MOSFET *on* maka arus akan mengalir ke induktor, energi di induktor ini akan naik. Saat saklar MOSFET *off* energi di induktor akan turun dan arus mengalir menuju beban sebagaimana terlihat pada gambar, dengan cara seperti ini nilai rata-rata tegangan keluaran akan sesuai dengan rasio antara waktu pembukaan dan waktu penutupan saklar. Hal inilah membuat topologi tersebut dapat membuat nilai rata-rata tegangan keluaran lebih tinggi maupun lebih rendah daripada tegangan sumbernya[14].

$$V_{out} = \frac{D}{1-D} \cdot V_{in} \quad [9] \quad (2.7)$$

$$L_{mn} = \frac{(1-D)^2}{2f} \cdot R \quad [9] \quad (2.8)$$

$$C = V_{out} \cdot \frac{D}{\Delta V_{out} R \cdot f} \quad [9] \quad (2.9)$$

Dimana nilai :

V_{out} = Tegangan Keluaran

L_{mn} = Induktansi Induktor

R = Resistansi resisitor (Ω)

f = Frekuensi

C = Kapasitas kapasitor (F)

ΔV_{out} = *Ripple* tegangan (V)

2.2.11 Maximum Power Point Tracking

MPPT merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran suatu sistem. Pada sistem turbin angin variabel speed, turbin angin dimungkinkan untuk beroperasi pada kecepatan yang optimal sebagai fungsi kecepatan angin. Konverter *power electronic* dapat mengendalikan kecepatan putar turbin untuk mendapatkan daya maksimum

yang dimungkinkan dengan menggunakan algoritma MPPT sehingga daya keluaran dari turbin angin dapat optimal. Terdapat metode MPPT yang dapat digunakan dalam rangka mencapai efisiensi setinggi mungkin sesuai dengan kecepatan angin[15].

2.2.12 MPPT Dengan Algoritme Optimasi

Agar sistem turbin angin dapat beroperasi secara optimal pada kecepatan angin yang bervariasi kita perlu melacak titik operasi optimal dari sistem turbin angin tersebut. Salah satunya yaitu menggunakan konverter yang mana nilai *dut cycle* nya dapat kita kendalikan. Terdapat beberapa macam algoritma yang bisa digunakan yaitu *particle swarm optimization*, *hill climb search*, *perturb and observe* dan *gradient approximation*.

2.2.13 Particle Swarm Optimization

Algoritme PSO pertama kali diperkenalkan pada tahun 1995 oleh Dr. Eberhart dan rekannya Dr. Kennedy, *Particle Swarm Optimization* (PSO) didasarkan pada bentuk imitasi proses populasi hewan yang mencari sumber makanan seperti pada populasi ikan dan burung. Teknik optimasi ini adalah sebuah komputasi evolusioner yaitu pemecahan algoritmenya diawali pada sebuah populasi yang random atau disebut partikel[16].

Secara umum teknik optimasi yang berbasis pada populasi untuk mencari sebuah titik optimal atau solusi adalah menggunakan populasi dari partikelnya sendiri. Pencarian solusi yang optimal pada PSO mencakup ruang solusi yang berisi variabel-variabel optimasi yang disebut nilai obyektif atau nilai *fitness*. Nilai *fitness* ini adalah sebuah fungsi objektif masalah optimasi, dapat dianalogikan pada populasi burung sebagai kumpulan partikel yang mencari makanan. Dan fungsi tersebut adalah kualitas serta kuantitas makanan pada setiap tempat yang mereka cari. Sehingga kumpulan burung ini akan mencari tempat makanan dengan kuantitas paling banyak dan kualitas paling baik.

Selanjutnya partikel-partikel tersebut mempertahankan posisinya, nilai *fitness* yang terevaluasi, serta kecepatannya. Setiap partikel tersebut memiliki ingatan untuk menyimpan kedalam memori, dengan kata lain menunjukkan nilai *fitness* terbaik (P_{best}). Nilai *fitness* paling baik pada *swarm* atau kumpulan partikel ini disebut posisi global terbaik (G_{best})[16].
Dibawah ini merupakan rumus kecepatan partikel j pada iterasi ke i :

$$V_{j(i)} = V_{j(i-1)} + c_1 r_1 [P_{bestj} - x_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{bestj} - x_j(i-1)] \quad [16] \quad (2.10)$$

Pada persamaan di atas parameter kecepatan akan bertahap berubah untuk lebih mendekati nilai P_{best} dan G_{best} . Sedangkan untuk *update* posisi dengan menggunakan dibawah:

$$x_{j(i)} = x_{j(i-1)} + v_{j(i)} \quad [16] \quad (2.11)$$

Dengan nilai :

V = kecepatan partikel

x = posisi partikel

j = indeks partikel

I = iterasi ke- i

c_1, c_2 = konstanta

r_1, r_2 = bilangan *random*

P_{best} = posisi terbaik lokal

G_{best} = posisi terbaik global

BAB 3

METODOLOGI

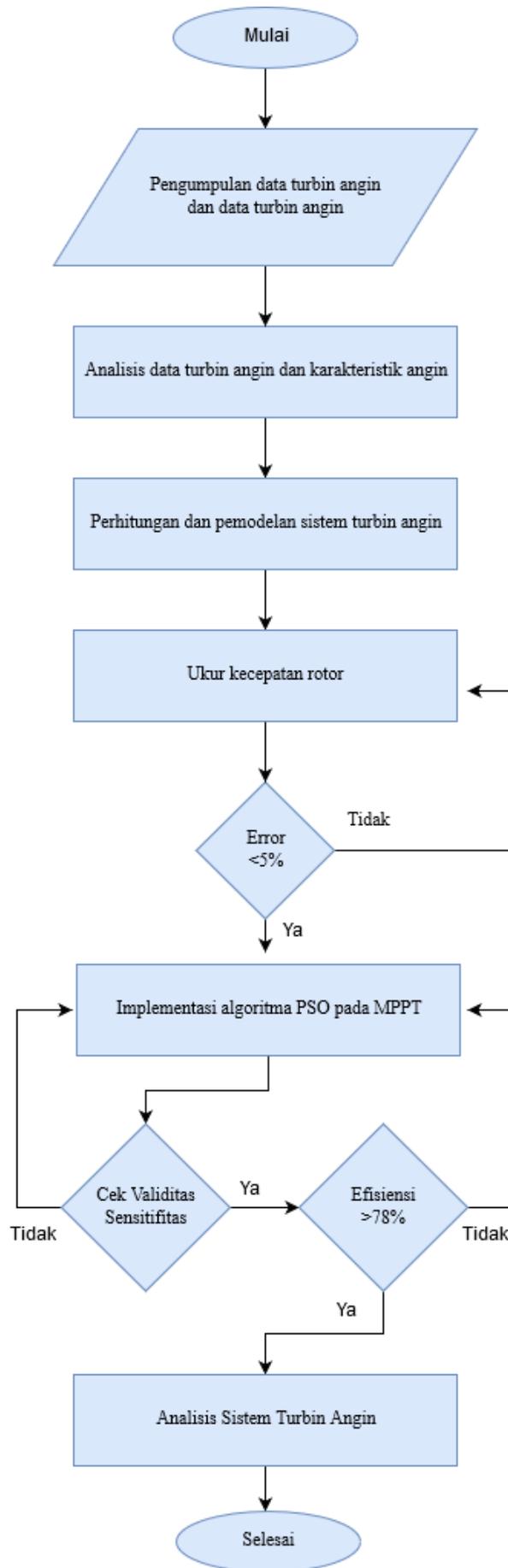
3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yaitu berupa laptop, sedangkan perangkat lunaknya untuk simulasi adalah :

1. *Microsoft Word 2007*
2. *MATLAB R2016a*

3.2 Metode Analisis

Urutan langkah yang dilakukan pada penelitian ini tertuang dalam *flowchart* dibawah. Penelitian dimulai dengan pengumpulan data karakteristik turbin angin yang selajutkan menjadi dasar perancangan MPPT dengan algoritme PSO dengan mendapatkan daya keluaran sistem yang optimal. Hasil rancangan dianalisis untuk mendapatkan efisiensi dan performa sistem turbin angin pada kecepatan angin yang berubah-ubah. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa prosedur mulai dari analisis data turbin angin karakteristik turbin angin kemudian dilanjutkan dengan pemodelan sistem turbin angin sesuai dengan data karakteristik. Selanjutnya dilakukan pengimplementasian algoritme PSO pada MPPT untuk mendapatkan daya keluaran yang optimal pada kecepatan yang berubah-ubah. Terakhir dilakukan analisis terhadap daya keluraran turbin angin sehingga efisiensi sistem turbin angin dilengkapi dengan algoritme PSO pada MPPT dapat diketahui.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Cara Analisis

3.3.1 Data Karakteristik Turbin angin dan Karakteristik Angin

Data turbin angin yang digunakan adalah data pada PLTH dengan daya keluaran 1KW, data pada lampiran Tabel 5.1 dan Tabel 5.2.

3.3.2 Pemodelan Sistem Turbin angin

Setelah didapatkan karakteristik turbin angin akan dilakukan analisis selanjutnya dilakukan pemodelan sistem turbin angin pada simulink, sistem turbin angin dimodelkan dengan konfigurasi turbin angin yang dikopel dengan PMSG kemudian listrik keluaran PMSG dalam pemodelan sistem turbin angin mengacu pada penelitian[9].

Selanjutnya dilakukan verifikasi model sistem turbin angin terhadap karakteristik turbin angin milik. Proses verifikasi dilakukan dengan membandingkan kecepatan rotor sistem turbin angin hasil pemodelan *reference rotor speed*. Jika nilai *error* yang dihasilkan tidak lebih atau sama dengan 5% maka model sistem turbin angin dianggap telah sesuai. Namun jika nilainya lebih dari atau sama dengan 5% maka perlu dilakukan pengaturan ulang nilai parameter yang digunakan pada model sistem turbin angin.

3.3.3 Implementasi Algoritme PSO

Agar didapatkan daya keluaran yang optimal pada sistem turbin angin maka dilakukan pencarian titik operasi maksimal melalui *boost converter* yang dilengkapi MPPT dengan algoritme PSO. Pengimplementasian algoritme ini mengacu pada penelitian[9]. Tegangan dan arus keluaran menjadi masukan untuk algoritma PSO yang akan digunakan sebagai dasar evaluasi nilai *duty cycle* atau proporsi waktu dimana *boost converter* dioperasikan. Dimana nilai siklus tugas tersebut dapat dinyatakan sebagai rasio atau persentase. Sehingga mendapatkan daya keluaran lebih optimal.

Pada kecepatan angin yang berbeda maka daya yang diekstrak turbin angin juga berbeda. Maka perlu dilakukan pemeriksaan dengan mengacu pada persamaan 3.1 dan 3.2 dimana nilai perubahan daya (ΔP) dan nilai perubahan maksimal perubahan kecepatan ($\Delta \Phi_{\max}$) berturut-turut adalah 0,25 dan 0,05. jika kondisi kedua persamaan tersebut terpenuhi maka perlu dilakukan inisiasi ulang *duty cycle*. Sedangkan jika kondisi tersebut tidak terpenuhi maka dilakukan pencarian nilai lokal maksimum dan nilai global maksimum untuk dilakukan pembaruan nilai *duty cycle*. Proses ini mengacu pada persamaan 3.3. dan

3.4 sedangkan untuk nilai komponen yang digunakan pada *boost converter* didapatkan melalui perhitungan dengan mengacu pada persamaan 2.6.

$$\left| \frac{p_i^k - p_i^{k-1}}{p_i^k} \right| > \Delta P \quad (3.1)$$

$$|Max(\Phi)| < \Delta\Phi_{max} \quad (3.2)$$

$$\Phi_i^{k+1} = W \Phi_i^k + c_1 r_1 \{d_{Pbest}^k - d_i^k\} + c_2 r_2 \{d_{Gbest}^k - d_i^k\} \quad (3.3)$$

$$d_i^{k+1} = d_i^k + \Phi_i^{k+1} \quad (3.4)$$

Dimana nilai:

i = iterasi ke-x

k = nilai sesudah

$k - 1$ = nilai sebelum

$k + 1$ = nilai termodifikasi

p_i^k = daya sesudah (watt)

p_i^{k-1} = daya sebelum (watt)

Φ_i^k = kecepatan saat ini

Φ_i^{k+1} = kecepatan termodifikasi

W = faktor momentum

d_{Pbest}^k = *personal best duty cycle*

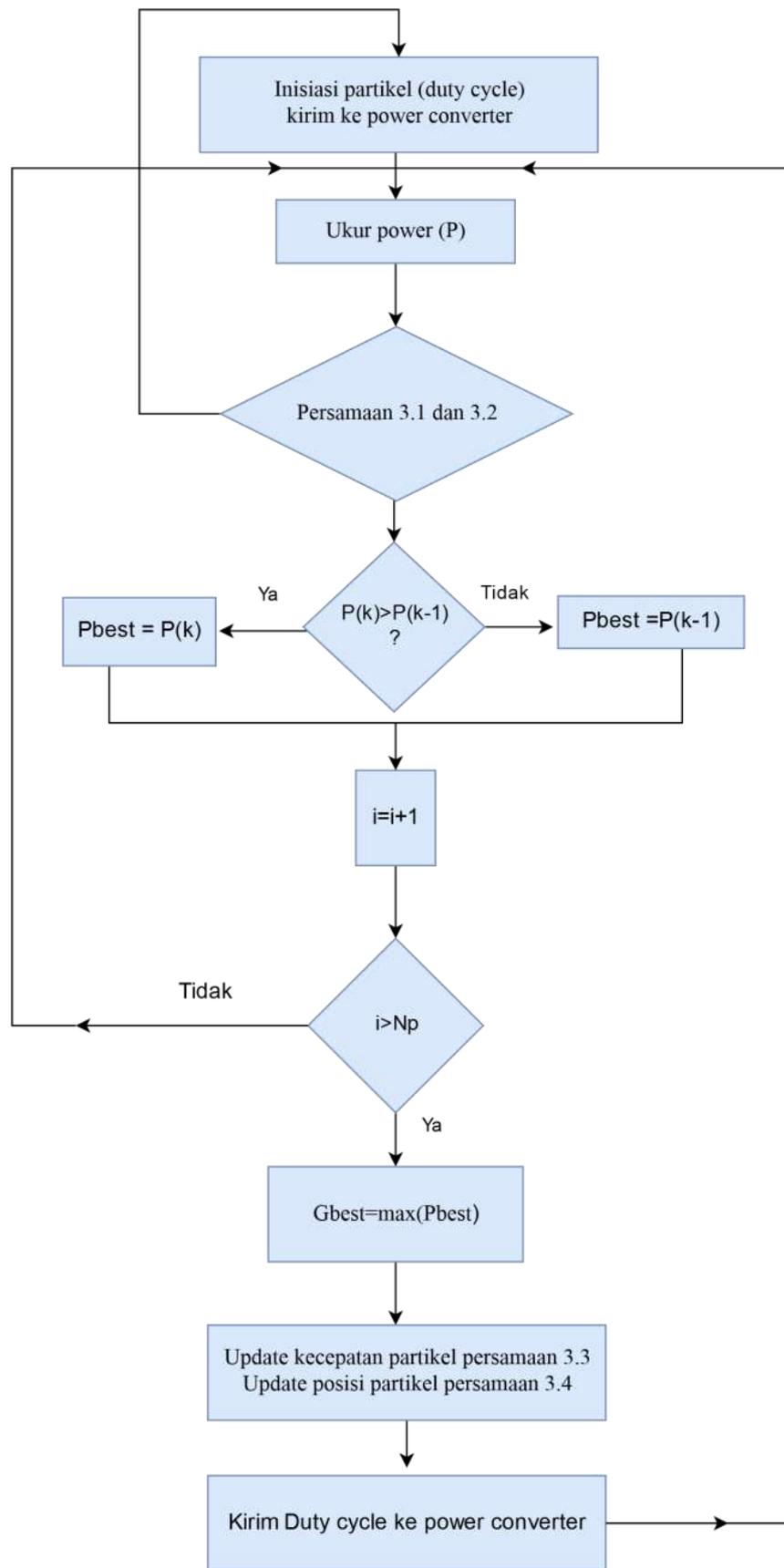
d_{Gbest}^k = *global best duty cycle*

d_i^k = *duty cycle* saat ini

d_i^{k+1} = *duty cycle* yang telah dimodifikasi

$c_1 c_2$ = konstanta akselerasi

$r_1 r_2$ = nilai *random* antara 0 dan 1



Gambar 3.2 Flowchart algoritme MPPT
PSO

3.3.4 Analisa Turbin Angin

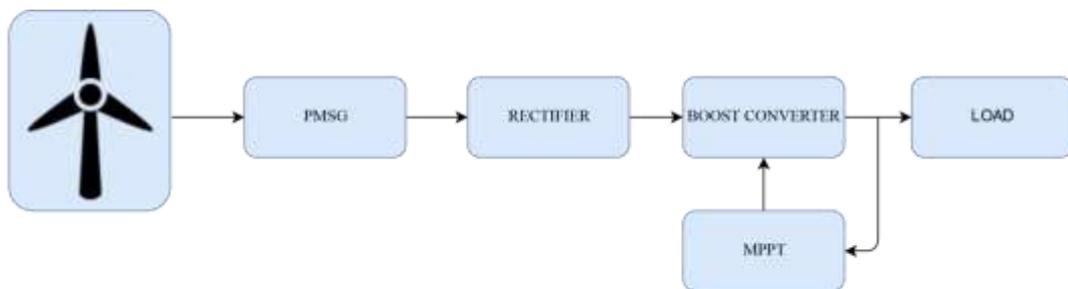
Setelah dilakukan perhitungan dan pengimplementasian algoritme PSO, model sistem disimulasikan dan dilakukan pengujian sensitivitas dan validitas untuk algoritme PSO. Pada penelitian ini algoritme PSO valid apabila dalam 10 kali percobaan nilai standar deviasinya kurang dari 1%. Sedangkan untuk pengujian sensitivitasnya algoritme PSO dikatakan sensitif bila daya keluran sistem turbin angin proporsional atas kecepatan angin yang berbeda-beda. Selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi turbin angin dan perbandingan untuk sistem turbin angin tanpa menggunakan MPPT dan dengan menggunakan MPPT, serta dilakukan analisis bagaimana nilai performansi sistem untuk kecepatan angin yang berubah-ubah.

BAB 4

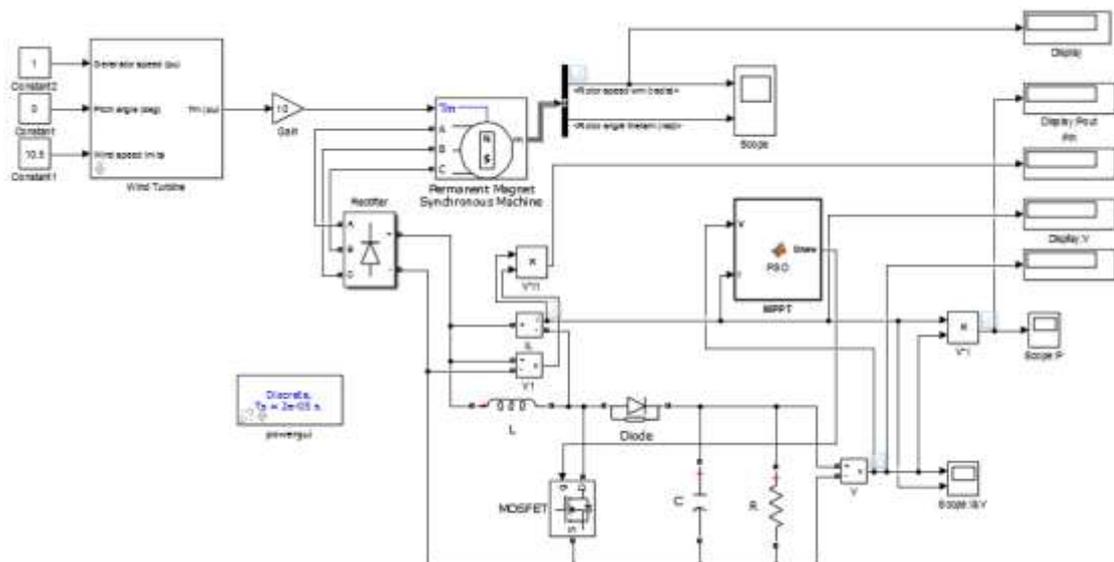
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemodelan Sistem Turbin Angin

Berdasarkan data yang terdapat pada bab 3.3.1, dibuat model sebuah sistem turbin angin yang mencerminkan karakteristik dan performansi dari turbin angin 1 W di PLTH. Sistem turbin angin yang tersusun atas turbin angin yang berfungsi mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanis. PMSG berfungsi mengkonversikan energi mekanis menjadi energi listrik. Penyearah berfungsi sebagai menyearahkan listrik AC 3 fase keluaran PMSG menjadi listrik DC, *boost converter* dan MPPT yang berperan untuk memaksimalkan daya keluaran dari sistem turbin angin.



Gambar 4.1 Diagram blok sistem turbin angin



Gambar 4.2 Blok Simulink Sistem Turbin Angin

Setelah parameter-parameter diatas diimplementasikan pada blok simulink, dilakukan simulasi untuk melakukan sebuah verifikasi kesesuaian model sistem turbin angin dengan karakteristik dan performansi turbin angin 1 kW yang menjadi objek penelitian. Dalam proses verifikasi model ini dihitung nilai beda yaitu *error* antara model objek sesungguhnya dengan persamaan berikut:

$$Error\% = \left(\frac{\text{Nilai Hasil simulasi} - \text{Nilai hasil sesungguhnya}}{\text{Nilai hasil sesungguhnya}} \right) \cdot 100\% \quad (4.1)$$

Tabel 4.1 Verifikasi Model Sistem Turbin Angin

Kecepatan Angin(m/s)	Kecepatan Turbin Sesungguhnya (Rpm)	Kecepatan Turbin Simulasi (Rpm)	<i>Error</i> (%)
4.5	108	112,10	3,81
6,5	146	150,01	2,75
7	201	206,83	2,90
8	239	244,74	2,40
9	268	271,29	1,23
10	318	324,38	2,01
11	330	334,04	1,22
rata-rara <i>error</i>			2,33

Berdasarkan tabel 4.1 dilampiran dapat dilihat bahwa rata-rara *error* dari model sistem turbin bernilai 2,33% sehingga bisa dikatakan bahwa model ini cukup baik dikarenakan nilai errornya berada dibawah 5%.

4.2 Implementasi Algoritme PSO

Untuk mendapatkan daya keluaran maksimal dari sistem turbin angin, digunakan MPPT dengan algoritme PSO dimana nilai tegangan dan arus keluaran menjadi masukan bagi

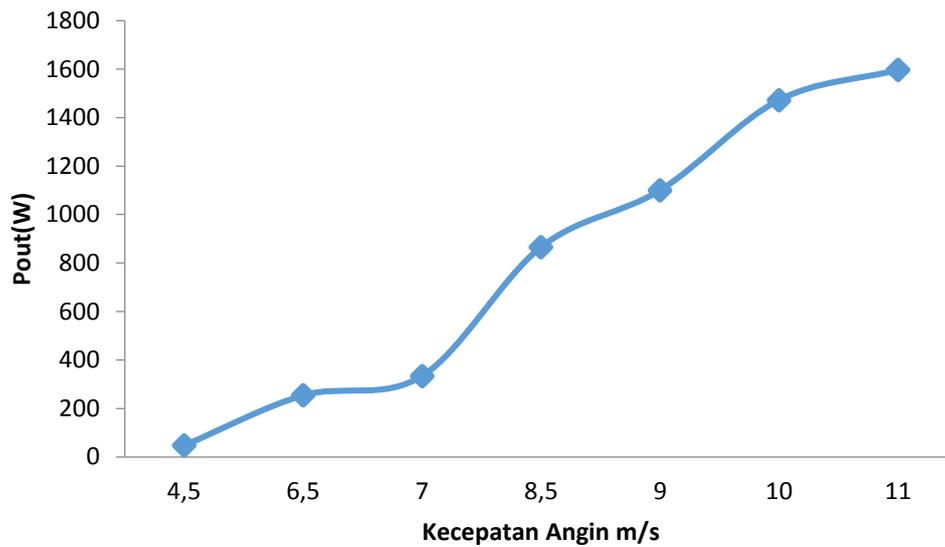
algoritma PSO untuk mengevaluasi *duty cycle* atau siklus kerja dari *boost converter* sebagai pengendali tegangan. Pada algoritme ini digunakan *swarm* dari tiga partikel sebagai nilai mula-mula yang akan dievaluasi oleh algoritme PSO, yang mana selanjutnya nilai tersebut kemudian dimasukkan pada *boost converter*, maka akan didapatkan nilai daya keluaran hasil perkalian tegangan dan arus keluaran *boost converter*, kemudian berdasarkan daya keluaran tersebut dilakukan penentuan nilai lokal maksimum untuk mengevaluasi *duty cycle*. Nilai lokal maksimum dan global maksimum ini akan menentukan kecepatan partikel yang baru dengan demikian posisi *particle* akan terus diperbarui sehingga didapatkan daya keluaran yang paling optimal. Persamaan untuk mengevaluasi nilai *duty cycle* yang mana meliputi penentuan posisi dan kecepatan ini mengacu pada persamaan 3.3 dan 3.4 dimana (w) merupakan faktor momentum yang bernilai 0,15, r_1 dan r_2 merupakan nilai acak yang bernilai antara 0 dan 1 serta C_1 dan C_2 merupakan konstanta akselerasi dimana nilainya yaitu 0,5 dan 1,6.

4.2.1 Analisis Sensitivitas

Untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai parameter yang sifatnya fluktuatif terhadap hasil optimasi akan dilakukan analisis sensitifitas. Parameter yang sifatnya tetap pada optmasi daya keluaran turbin angin adalah kecepatan angin dan kapasitas daya turbin angin. Pengaruh perubahan parameter kecepatan turbin angin terhadap hasil optimasi diuji dengan memvariasikan kecepatan angin yaitu antara 4 m/s hingga 11 m/s dengan kapasitas turbin angin tetap yaitu 1000w. Hasil yang diperoleh dari beberapa pengujian ini ditunjukkan pada tabel 4.2 dan gambar 4.3.

Tabel 4.2 Uji Sensitivitas Algoritme PSO

Kecepatan angin (m/s)	Daya out (W)	Daya in (W)	efisiensi (%)
4.5	47,6	49.6	95,97
6.5	254	295	86,10
7	334,2	364	91,81
8.5	866	889	97,41
9	1100	1212	90,76
10	1472	1676	87,83
11	1596	1599	99,81
Rata-rata efisiensi			92,81



Gambar 4.3 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Keluaran

Pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap daya keluaran hasil optimasi dengan algoritme PSO memiliki tren eksponensial, hal bisa terjadi dikarenakan kecepatan angin yang semakin besar maka berakibat meningkatnya kecepatan rotor, yang mana kecepatan rotor ini pula yang berpengaruh terhadap besarnya nilai EMF yang dihasilkan. Semakin besar kecepatan putar rotor semakin besar pula nilai EMF. Sehingga daya keluaran juga semakin besar.

4.2.2 Analisis Validitas

PSO merupakan algoritme yang digunakan untuk proses pemecahan permasalahan optimasi melalui pendekatan dengan memperbaiki kandidat penyelesaian secara iteratif sesuai dengan fungsi objektifnya. Oleh karenanya, perlu dilakukan uji validasi untuk mengetahui tingkat kebenaran dari hasil optimasi ini. Uji validitas dilakukan dengan melakukan eksperimen berulang untuk parameter yang tetap dengan masukan tertentu. Kemudian dilakukan pengamatan mean dan standar deviasidari data eksperimen tersebut. Pada pengujian validasi ini, digunakan kecepatan angin 11 m/s sebagai masukan sistem turbin angin yang tetap.

Tabel 4.3 Uji Validitas Algoritme PSO

Eksperimen ke	Kecepatan angin (m/s)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya out (W)	Turbin (RPM)
1	11	4,074	391,74	1596	334
2	11	4,074	391,74	1596	334
3	11	4,074	391,74	1596	334
4	11	4,074	391,74	1596	334
5	11	4,074	391,74	1596	334
6	11	4,074	391,74	1596	334
7	11	4,074	391,74	1596	334
8	11	4,074	391,74	1596	334
9	11	4,074	391,74	1596	334
10	11	4,074	391,74	1596	334
Mean	11	4,074	391,74	1596	334
Standar Deviasi	0	9.32E-16	5.68E-14	0	0

Berdasar tabel 4.3 diatas, diperoleh nilai hasil dari optimasi memiliki *standar deviasi* yang cukup rendah bahkan mendekati nol, hal ini berarti prosedur optimasi menghasilkan nilai yang hampir sama disetiap eksperimen. Dengan demikian maka prosedur optimisasi menggunakan algoritme PSO untuk Memaksimalkan daya keluaran sistem turbin angin dikatakan valid.

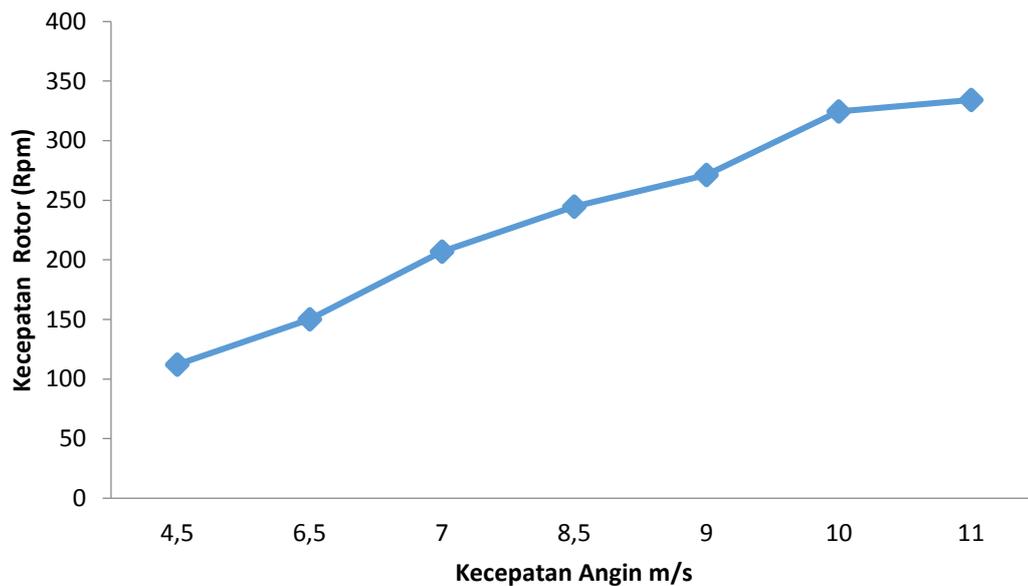
4.3 Analisis Pengaruh Karakteristik Daya Keluaran Sistem Turbin Angin

Energi angin merupakan energi baru terbarukan, yang mana angin memiliki karakteristik kecepatan yang berubah-ubah terhadap waktu sehingga menyebabkan daya listrik yang dihasilkan oleh sistem turbin angin juga selalu berubah-ubah menurut setiap karakteristik angin. Pada kebanyakan karakteristik angin terjadi karena perbedaan tekanan udara dan temperatur udara pada suatu lokasi.

4.3.1 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Keluaran Sistem Turbin Angin

Kecepatatan angin yang berubah-ubah terhadap waktu menyebabkan daya listrik yang dihasilkan sistem turbin angin juga mengalami perubahan seperti ditunjukkan pada gambar

4.3 hal ini dikarenakan daya mekanis turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin sebagaimana dinyatakan dalam persamaan 2.1, dari persamaan tersebut daya mekanis turbin angin semakin besar maka daya mekanis turbin angin akan semakin besar pula. Dan semakin besar daya mekanis turbin angin akan berakibat semakin besarnya kecepatan putar rotor. Dikarenakan turbin angin terkopel dengan PMSG maka kecepatan putar rotor semakin besar akan berakibat pada semakin besarnya pula daya listrik keluaran turbin angin. Maka grafik hubungan kecepatan angin dengan daya sistem turbin angin memiliki tren grafik eksponensial positif.



Gambar 4.4 Grafik kecepatan angin dengan kecepatan rotor turbin angin

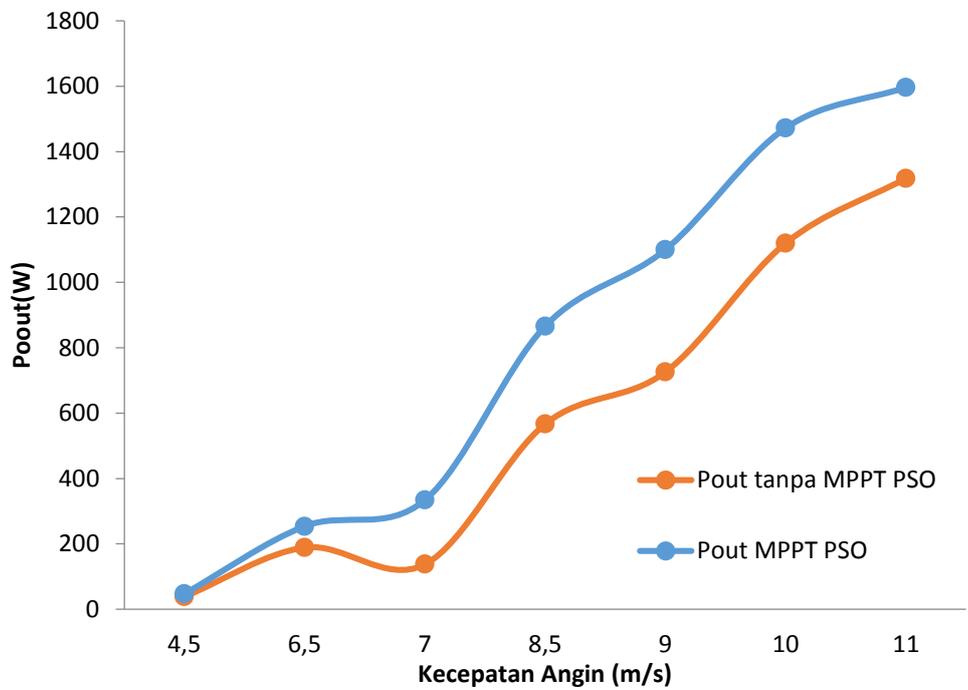
Keterkaitan antara kecepatan angin dengan daya listrik keluaran sistem turbin angin adalah ketika kecepatan angin besar maka kecepatan rotor juga meningkat. Meningkatnya kecepatan rotor mengakibatkan nilai EMF yang dihasilkan oleh PMSG juga meningkat. Sehingga menyebabkan daya keluaran atau energi listrik yang dihasilkan PMSG semakin besar.

Tabel 4.4 Pengaruh kecepatan angin
Terhadap kecepatan rotor dan daya keluaran

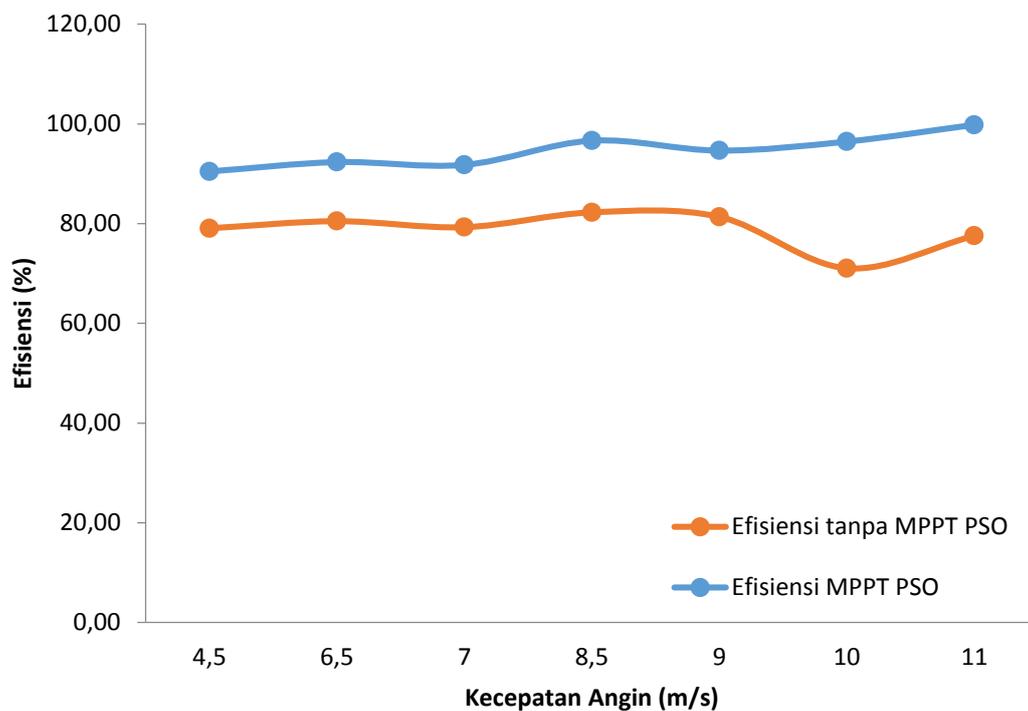
Kecepatan Angin(m/s)	Kecepatan Rotor (Rpm)	Pout(W)
4	112,12	47,6
6,5	150,01	254
7	206,83	334,2
8	244,74	866
9	271,29	1100
10	324,38	1472
11	334,04	1596

4.3.2 Perbandingan Sistem Turbin Angin Dengan Dan Tanpa MPPT

Sebagaimana telah diterangkan sebelumnya bahwa kecepatan angin yang berubah-ubah akan menghasilkan daya listrik yang berbeda pula. Pada penelitian[9], diterangkan bahwa ketika kecepatan angin yang berbeda-beda maka akan terdapat titik optimal yang berbeda pula dimana daya listrik keluaran sistem turbin angin berada pada titik maksimal, oleh karena itu pada penelitian ini digunakan MPPT dengan menggunakan algoritme PSO untuk menjaga agar sistem pada turbin angin selalu dapat menghasilkan daya keluaran yang maksimal pada kecepatan angin yang berbeda-beda sehingga dengan demikian efisiensi dari sistem turbin angin dapat meningkat, dan juga memiliki daya keluaran yang konstan jika dibandingkan dengan sistem turbin angin yang tidak menggunakan MPPT sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik perbandingan daya listrik sistem turbin angin dengan dan tanpa MPPT



Gambar 4.6. Grafik perbandingan Efisiensi sistem turbin angin dengan dan tanpa MPPT

Berdasarkan gambar 4.5 diatas bahwa dengan diimplementasikan MPPT dengan PSO daya listrik yang terdapat dihasilkan oleh sistem turbin angin lebih besar dibanding dengan daya listrik tanpa di implementasikan MPPT dengan PSO. Pada nilai efisiensi sistem turbin angin juga meningkat seperti ditunjukkan pada gambar 4.6 dapat dilihat pada sistem turbin angin yang tidak menggunakan MPPT maka nilai efisiensinya bervariasi antara 71-83 % sedang turbin angin yang menggunakan MPPT diatas 90% dan cenderung konstan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang “Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Pada Sektor Sistem Turbin Angin Menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Dengan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) Di Pantai Baru, Bantul, D.I. Yogyakarta” memiliki beberapa poin yang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada bagian sektor sistem turbin angin yang disimulasikan ulang dan dilengkapi MPPT dengan menggunakan metode algoritme PSO mampu bekerja dan beradaptasi ketika kecepatan angin berubah-ubah. Saat kecepatan angin 4,5 m/s daya listrik keluaran yang dihasilkan sebesar 47,6 W, sedangkan saat kecepatan angin bernilai 11 m/s daya listrik keluaran yang dihasilkan sebesar 1596 W.
2. Penggunaan MPPT dengan metode algoritme PSO yang diimplementasikan pada sistem turbin angin daya listrik yang dihasilkan lebih besar dibanding tidak menggunakan MPPT dengan metode algoritme PSO. Hasil implementasi MPPT dengan algoritme PSO pada sistem turbin angin menunjukkan kualitas yang baik. Terjadi peningkatan daya keluaran sebesar 27,73% saat kecepatan angin yang berubah-ubah.
3. Nilai efisiensinya naik 17% setelah melakukan optimasi menggunakan algoritme PSO pada MPPT sistem Turbin Angin.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini ada beberapa saran yang dapat dilakukan untuk melakukan beberapa pengembangan dalam sektor energi baru terbarukan, diantaranya yaitu:

1. Penelitian tentang sistem turbin angin yang disimulasikan ulang dan dilengkapi MPPT dengan menggunakan metode algoritme PSO dan bisa dihubungkan dengan *grid*.
2. Kedepanya dapat melakukan penelitian dalam hal pengaruh dari parameter-parameter lainya seperti: tekanan udara, tingkat kelembapan, temperatur dan kecepatan angin.
3. Pada penelitian selanjutnya, dapat diteliti mengenai baterai yang dipasang pada sistem turbin dengan menggunakan MPPT dengan PSO.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM, “Blueprint Pengelolaan Energi 2006 -2025,” 2006.
- [2] M. Hutapea, “Solusi Listrik Off Grid Berbasis Energi Terbarukan di Indonesia: Kerangka Regulasi dan Program,” pp. 1–32, 2016.
- [3] Dita Anggraini, “Analisis Potensi Angin Di Pantai Baru Pandansimo Kabupaten Bantul,” no. September, 2016.
- [4] A. N. dkk Hidayatullah, “Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker,” *J. Electr. Electron. Control Automot. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 7–12, 2016.
- [5] D. R. Mushthafa and V. Lystianingrum, “Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracker (MPPT) dengan Metode Gradient Approximation,” no. 1, pp. 1–6.
- [6] M. Narayana, G. A. Putrus, M. Jovanovic, P. S. Leung, and S. McDonald, “Generic maximum power point tracking controller for small-scale wind turbines,” *Renew. Energy*, vol. 44, pp. 72–79, 2012.
- [7] S. Hadi *et al.*, “Model Distribusi Kecepatan Angin untuk Peramalan Gelombang dengan Menggunakan Metode Darbyshire dan Smb di Perairan Semarang,” *Bul. Oseanografi Mar. April*, vol. 1, no. April, pp. 25–32, 2012.
- [8] Y. Megantara, “Optimasi Manajemen Daya Pada Sistem Hibrida Antara Turbin Angin, Fotovoltaik, Dan Fuel cell Pada Studi Kasus kwasan Watu Ulo.,” 2015.
- [9] K. D. Pribadi, “Optimasi Sistem Hybrid Pembangkit listrik Tenaga Angin Dan Pembangkit Listrik Tenaga Ombak,” Universitas Gadjah Mada, 2017.
- [10] “No Title.” [Online]. Available: <http://synergyfiles.com/2017/02/frequently-asked-questions-wind-turbine/>. [Accessed: 01-Dec-2018].
- [11] N. Madani, “Design of a Permanent Magnet Synchronous Generator for a Vertical Axis Wind Turbine Design of a Permanent Magnet Synchronous Generator for a Vertical Axis Wind Turbine,” pp. 5–46, 2011.
- [12] E. Rogers, “Understanding Buck Power Stages in Switchmode Power Supplies Application Report,” no. March, p. 36, 1999.
- [13] E. Rogers, “Understanding Buck-Boost Power Stages in Switch Mode Power Supplies,” *Power*, vol. 18, no. November, pp. 1–32, 2002.
- [14] K. Ishaque, Z. Salam, M. Amjad, and S. Mekhilef, “An improved particle swarm optimization (PSO)-based MPPT for PV with reduced steady-state oscillation,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 8, pp. 3627–3638, 2012.
- [15] Z. Chen, J. M. Guerrero, and F. Blaabjerg, “A review of the state of the art of power electronics for wind turbines,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 8, pp. 1859–1875, 2009.
- [16] B. Santosa, “Tutorial Particle Swarm Optimization,” pp. 1–15.
- [17] Y. S. Kim, I. Y. Chung, and S. Il Moon, “Tuning of the PI controller parameters of a PMSG wind turbine to improve control performance under various wind speeds,” *Energies*, vol. 8, no. 2, pp. 1406–1425, 2015.
- [18] M. Otong and R. M. Bajuri, “Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter,” vol. 5, no. 2, 2016.

LAMPIRAN

Tabel 5.1 Data Karakteristik Turbin Angin

Model Turbin	AF I-24-0125 (406 PMG)
Blade Turbin	3 (28 deg blade pitch)
Laju Angin awal	2 m/s
<i>Charging initiation wind</i>	3 m/s
<i>Charging initiation RPM</i>	258
Daya Output	24v & 48v 1000w (600W/12)
Rated Wind Speed	12.5
Diameter Rotor	1,8m
Kecepatan (RPM)	200-800
Jenis Generator	3 phase Permanent Magnet
Jenis Keluaran	Rectified DC
Berat	15 kg
<i>Noise</i>	Laeq 35dB @5m/s behind rotor
<i>Noise</i>	Laeq 54dB @7m/s behind rotor

Tabel 5.2 Rating data performa turbin angin 1 KW

Kecepatan angin (m/s)	Arus keluaran (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
4.5	0,62	62,6	39,23
6.5	1,37	137,6	189,2
7	1,6	160	138
8.5	2,35	238	567
9	2,69	269	726
10	3,35	335	1120
11	3,462	380,74	1318

Parameters

Nominal mechanical output power (W):

Base power of the electrical generator (VA):

Base wind speed (m/s):

Maximum power at base wind speed (pu of nominal mechanical power):

Base rotational speed (p.u. of base generator speed):

Pitch angle beta to display wind-turbine power characteristics (beta >=0) (deg):

Gambar 5.1 Parameter turbin angin

Configuration Parameters Advanced

Number of phases:

Back EMF waveform:

Rotor type:

Mechanical input:

Preset model:

Measurement output:
 Use signal names to identify bus labels

Gambar 5.2 Parameter jenis rotor generator

Configuration	Parameters	Advanced
Stator phase resistance R_s (ohm):		
8.67e-3		
Inductances [L_d (H) L_q (H)]:		
[2.86e-3,3.44e-3]		
Machine constant:		
Specify: Flux linkage established by magnets (V.s) <input type="text"/>		
Flux linkage: 0.175		
Inertia, viscous damping, pole pairs, static friction [J (kg.m ²) F (N.m.s) $p()$ T_f (N.m)]:		
[0.0008 0.001 4]		
Initial conditions [ω_m (rad/s) θ_{em} (deg) i_a, i_b (A)]:		
[0,0, 0,0]		

Gambar 5.3 Parameter Rotor Generator

Parameters
Number of bridge arms: 3 <input type="text"/>
Snubber resistance R_s (Ohms)
100
Snubber capacitance C_s (F)
0.1e-6
Power Electronic device Diodes <input type="text"/>
R_{on} (Ohms)
1e-3
L_{on} (H)
0
Forward voltage V_f (V)
.8

Gambar 5.4 Parameter penyearah

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%CodingMPPTPSO%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function Dnew = PSO(V,I)

%% Problem Definition

persistent particle_Position particle_Cost particle_Velocity
GlobalBest_Position ...
    particle_Best_Position particle_Best_Cost GlobalBest_Cost

% persistent
nVar=1;          % Number of Decision Variables

VarSize=[1 nVar]; % Size of Decision Variables Matrix

VarMin=0.02;    % Lower Bound of Variables
VarMax=0.95;    % Upper Bound of Variables

%% PSO Parameters

MaxIt=10;      % Maximum Number of Iterations

nPop=3;        % Population Size (Swarm Size)

phi1=2.05;
phi2=2.05;
phi=phi1+phi2;
chi=2/(phi-2+sqrt(phi^2-4*phi));
w=chi;         % Inertia Weight
wdamp=1;      % Inertia Weight Damping Ratio
c1=chi*phi1;  % Personal Learning Coefficient
c2=chi*phi2;  % Global Learning Coefficient

% Velocity Limits
VelMax=0.1*(VarMax-VarMin);
VelMin=-VelMax;

%% Initialization

if isempty(particle_Position)
    particle_Position=zeros(nPop,1);
end

if isempty(particle_Cost)
    particle_Cost=zeros(nPop,1);
end

if isempty(particle_Velocity)
    particle_Velocity=zeros(nPop,1);
end

if isempty(particle_Best_Position)
    particle_Best_Position=zeros(nPop,1);
end

if isempty(particle_Best_Cost)
    particle_Best_Cost=zeros(nPop,1);
end

if isempty(GlobalBest_Cost)

```

```

    GlobalBest_Cost=0;
end

if isempty(GlobalBest_Position)
    GlobalBest_Position=unifrnd(VarMin,VarMax,VarSize);
end

BestCost=zeros(MaxIt,1);

nfe=zeros(MaxIt,1);

% PSO Main Loop

for it=1:MaxIt

    for i=1:nPop

        Dnew= particle_Position(i);

        particle_Cost(i)=V*I;

        if particle_Cost(i)>particle_Best_Cost(i)

            particle_Best_Position(i)=particle_Position(i);
            particle_Best_Cost(i)=particle_Cost(i);
        end
        % Update Global Best
        if particle_Best_Cost(i)>GlobalBest_Cost

            GlobalBest_Position=particle_Best_Position(i)
            GlobalBest_Cost=particle_Best_Cost(i);

        end

        for i=1:nPop
            % Update Velocity
            particle_Velocity(i) = w*particle_Velocity(i) ...
                +c1*rand(VarSize)*(particle_Best_Position(i)-
particle_Position(i)) ...
                +c2*rand(VarSize)*( GlobalBest_Position-
particle_Position(i));

            % Apply Velocity Limits
            particle_Velocity(i) = max(particle_Velocity(i),VelMin);
            particle_Velocity(i) = min(particle_Velocity(i),VelMax);

            % Update Position
            particle_Position(i) = particle_Position(i) +
particle_Velocity(i);

            % Apply Position Limits
            particle_Position(i) = max(particle_Position(i),VarMin);
            particle_Position(i) = min(particle_Position(i),VarMax);

            % Evaluation

        end

    end

end

```

```
        w=w*wdamp;
end

        Dnew=GlobalBest_Position
end
```