

SKRIPSI

PREDIKSI DAYA *OUTPUT* TURBIN ANGIN BERDASARKAN FAKTOR
LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE DEKOMPOSISI

Disusun Oleh:

MUHAMMAD NUR RAHMAT RAHIM
D041171026

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PREDIKSI DAYA *OUTPUT* TURBIN ANGIN BERDASARKAN FAKTOR LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE DEKOMPOSISI

Disusun dan diajukan oleh :

MUHAMMAD NUR RAHMAT RAHIM
D041 17 1 026

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 28 oktober 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

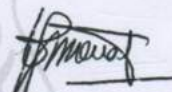
Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Eng. Syafaruddin, S.T., M.Eng.
NIP. 19740530 199903 1 003



Ir. Hj. Zaenab Muslimin, MT
NIP. 19660201 199202 2 002

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Nur Rahmat Rahim

Nim : D041171026

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PREDIKSI DAYA *OUTPUT* TURBIN ANGIN BERDASARKAN FAKTOR LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE DEKOMPOSISI

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 28 Oktober 2021

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Nur Rahmat Rahim

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT. karena rahmat dan karunia-Nya lah sehingga penulisan laporan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan skripsi ini ditulis untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada pendidikan Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah “Prediksi Daya *Output* Turbin Angin Berdasarkan Faktor Lingkungan Dengan Menggunakan Metode Dekomposisi”

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi masih terdapat kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa yang tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu penulis menerima saran dan kritik, segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat. terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar – besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai. Maka, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Prof.Dr.Eng. Syafaruddin, S.T., M.Eng. selaku pembimbing I dan selaku Ibu Ir. Hj. Zaenab Muslimin, M.T. pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, gagasan, serta ide – ide dalam penyelesaian skripsi ini.

2. Bapak Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Yustinus Upa Sombolayuk, M.T. selaku dosen penguji skripsi saya yang telah memberikan saran dan kritik dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Segenap Dosen dan staf Departemen Teknik Elektro, atas segala ilmu yang bermanfaat, wawasan, pengalaman, bantuan, dan kemudahan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh proses perkuliahan.
4. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A selaku Rektor Universitas Hasanuddin dan Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Ayahanda Yahya SE., M.S dan Ibunda Sahriah S.Pd selaku orang tua saya yang tidak henti – hentinya memberikan doa dan dukungan dalam bentuk apapun kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Juga kepada saudara-saudaraku Mega Amaliah Yahya, Annisa Amaliah Yahya, Muthia Amaliah Yahya, dan Muhammad Yasir Al-Khayat.
7. Teman – teman seperjuangan Laboratorium Riset Energi Terbarukan dan Sistem Cerdas dan Relay Proteksi dan Pengukuran (Agusman, Fadli, Yulianti, dan Muh. Kahrul) yang selalu saling membantu dan menyemangati dalam mengerjakan skripsi.
8. Seluruh teman-teman EQUAL17ER, tanpa terkecuali yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas segala bantuan, kebersamaan, kerjasama dan motivasinya selama penulis menapak masa – masa perkuliahan hingga pada penyelesaian studi ini.
9. Teman – teman Asisten Laboratorium Rangkaian Listrik atas kebersamaannya.

10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Makassar, 28 Oktober 2021

Penulis

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah.....	3
I.5 Sistematika Penulisan Tugas Akhir	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Forecasting	5
II.2 Turbin Angin	9
II.3 Komponen Turbin Angin	14

II.4	Sistem Kendali <i>Yaw</i>	16
II.5	Metode Dekomposisi	17
II.5.1	Algoritma Metode Dekomposisi.....	18
II.5.2	Komputasi Metode Dekomposisi.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		23
III.1	Data Penelitian.....	23
III.2	Menentukan Komponen Musiman.....	23
III.3	Menentukan Komponen <i>Trend</i>	32
III.4	Melakukan <i>Forecasting</i>	39
III.5	Evaluasi Hasil.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		52
IV.1	Perencanaan Simulasi	52
IV.2	Simulasi prediksi daya <i>output</i>	53
IV.2.1	Menentukan Komponen Musiman.....	53
IV.2.2	Menentukan Komponen <i>Trend</i>	57
IV.2.3	Menentukan Prediksi Kecepatan Angin	58
IV.2.4	Menentukan Prediksi Daya <i>Output</i> Turbin Angin	66
IV.3	Simulasi Prediksi Arah Angin.....	73
IV.3.1	Menentukan Komponen Musiman.....	74
IV.3.2	Menentukan Komponen <i>Trend</i>	78

IV.3.3	Menentukan Prediksi Arah Angin.....	79
BAB V	PENUTUP	88
V.1	Kesimpulan.....	88
V.2	Saran	89
DAFTAR PUSTAKA.....		90
LAMPIRAN		92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin Angin Jenis Sumbu Vertikal.....	10
Gambar 2.2 Turbin Angin Jenis Sumbu Horizontal	12
Gambar 2.3 Komponen Turbin Angin.....	16
Gambar 3.1 Nilai Komponen Musiman.....	32
Gambar 3.2 Komponen <i>Trend</i> Kecepatan Angin Simulasi A.....	34
Gambar 3.3 Komponen <i>Trend</i> Kecepatan Angin Simulasi B	35
Gambar 3.4 Komponen <i>Trend</i> Kecepatan Angin Simulasi C	36
Gambar 3.5 Komponen <i>Trend</i> Arah Angin Simulasi A	37
Gambar 3.6 Komponen <i>Trend</i> Arah Angin Simulasi B.....	38
Gambar 3.7 Komponen <i>Trend</i> Arah Angin Simulasi C.....	39
Gambar 3.8 Prediksi Kecepatan Angin Simulasi A.....	44
Gambar 3.9 Prediksi Arah Angin Simulasi A	45
Gambar 3.10 Prediksi Kecepatan Angin Simulasi B	46
Gambar 3.11 Prediksi Arah Angin Simulasi B	47
Gambar 3.12 Prediksi Kecepatan Angin Simulasi C	48
Gambar 3.13 Prediksi Arah Angin Simulasi C	49
Gambar 4.1 Data Kecepatan Angin	53
Gambar 4.2 Nilai <i>Moving Average</i> (MA)	54

Gambar 4.3 Nilai <i>Cumulative Moving Average</i> (CMA)	55
Gambar 4.4 Nilai <i>Detrend</i>	56
Gambar 4.5 Grafik Prediksi Kecepatan Angin Berdasarkan Temperatur Simulasi A	60
Gambar 4.6 Grafik Prediksi Kecepatan Angin Berdasarkan Arah Angin Simulasi A	61
Gambar 4.7 Grafik Prediksi Kecepatan Angin Berdasarkan Temperatur Simulasi B.....	62
Gambar 4.8 Grafik Prediksi Kecepatan Angin Berdasarkan Arah Angin Simulasi B.....	63
Gambar 4.9 Grafik Prediksi Kecepatan Angin Berdasarkan Temperatur Simulasi C.....	64
Gambar 4.10 Grafik Prediksi Kecepatan Angin Berdasarkan Arah Angin Simulasi C.....	65
Gambar 4.11 Grafik Prediksi Daya <i>Output</i> Dimensi PLTB Sidrap Simulasi A ...	68
Gambar 4.12 Grafik Prediksi Daya <i>Output</i> Dimensi PLTB Sidrap Simulasi B ...	69
Gambar 4.13 Grafik Prediksi Daya <i>Output</i> Dimensi PLTB Sidrap Simulasi C ...	70
Gambar 4.14 Grafik Prediksi Daya <i>Output</i> Dimensi PLTB Tolo Simulasi A.....	71
Gambar 4.15 Grafik Prediksi Daya <i>Output</i> Dimensi PLTB Tolo Simulasi B	72
Gambar 4.16 Grafik Prediksi Daya <i>Output</i> Dimensi PLTB Tolo Simulasi C	73
Gambar 4.17 Data Arah Angin.....	74
Gambar 4.18 Nilai <i>Moving Average</i> (MA)	75

Gambar 4.19 Nilai <i>Cumulative Moving Average</i> (CMA)	76
Gambar 4.20 Nilai <i>Detrend</i>	77
Gambar 4.21 Grafik Prediksi Arah Angin Berdasarkan Temperatur Simulasi A .	81
Gambar 4.22 Grafik Prediksi Arah Angin Berdasarkan Kecepatan Angin Simulasi A	82
Gambar 4.23 Grafik Prediksi Arah Angin Berdasarkan Temperatur Simulasi B .	83
Gambar 4.24 Grafik Prediksi Arah Angin Berdasarkan Kecepatan Angin Simulasi B.....	84
Gambar 4.25 Grafik Prediksi Arah Angin Berdasarkan Temperatur Simulasi C .	85
Gambar 4.26 Grafik Prediksi Arah Angin Berdasarkan Kecepatan Angin Simulasi C.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data BMKG <i>online</i>	23
Tabel 3.2 Sampel Data Percobaan.....	26
Tabel 3.3 Evaluasi Hasil Percobaan	50
Tabel 4.1 Komponen Musiman Kecepatan Angin	57
Tabel 4.2 Komponen <i>Trend</i> Kecepatan Angin.....	57
Tabel 4.3 Prediksi Kecepatan Angin	59
Tabel 4.4 Prediksi daya <i>output</i> turbin angin	67
Tabel 4.5 Komponen Musiman Arah Angin	78
Tabel 4.6 Komponen <i>Trend</i> Arah Angin	78
Tabel 4.7 Prediksi Arah Angin	80
Tabel 4.8 Validasi Hasil Penelitian	87

ABSTRAK

Muhammad Nur Rahmat Rahim, Prediksi Daya *Output* Turbin Angin Berdasarkan Faktor Lingkungan Dengan Menggunakan Metode Dekomposisi (dibimbing oleh Syafaruddin dan Zaenab Muslimin)

Pentingnya untuk meningkatkan efisiensi pembangkit listrik tenaga bayu dalam menghasilkan daya listrik. Terdapat dua sistem turbin angin yang mengatur efisiensi pemanfaatan tenaga angin yaitu sistem kendali *yaw* dan sistem kendali *blade pitch*. Sistem kendali *yaw* merupakan sistem yang mengarahkan rotor ke arah datangnya angin sehingga daya yang dihasilkan maksimal dan sistem *Blade Pitch Control* merupakan sistem yang mengoperasikan sudu pisau agar daya yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Maka, kinerja kendali *yaw* dapat dioptimalkan hanya pada arah angin dengan kecepatan angin tertinggi sehingga daya yang dihasilkan dapat sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu dikarenakan sifat angin yang berubah tiap satuan waktu maka dalam pemanfaatan tenaga angin menjadi cukup sulit. Laporan ini menyajikan simulasi prediksi kecepatan angin untuk menentukan prediksi daya angin pada waktu yang sama dan prediksi arah angin untuk menentukan pengaturan sistem kendali *yaw*. Metode yang diusulkan pada penelitian yaitu metode dekomposisi. Metode dekomposisi merupakan metode prediksi yang membagi data *time series* menjadi dua bagian yaitu komponen musiman dan komponen *trend*. Metode dekomposisi digunakan untuk memprediksikan kecepatan dan arah angin untuk menentukan daya *output* yang dihasilkan dan sudut *yaw* turbin angin pada waktu mendatang. Verifikasi uji hasil pada metode yang diusulkan dengan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) menunjukkan bahwa metode yang diusulkan menampilkan nilai mape yang sangat baik dan baik untuk berbagai skenario simulasi yang dilakukan.

Kata Kunci: Metode dekomposisi, daya *output* angin, kecepatan angin, arah angin, temperatur, PLTB Sidrap, PLTB Tolo, Sistem kendali *yaw*.

ABSTRACT

Muhammad Nur Rahmat Rahim, Prediction of Wind Turbine Output Power Based on Environmental Factors Using the Decomposition Method (supervised by Syafaruddin and Zaenab Muslimin)

The importance to increase the efficiency of wind power plants in generating electrical power. There are two wind turbine systems that regulate the efficiency of wind power utilization, namely the yaw control system and the blade pitch control system. The yaw control system is a system that directs the rotor towards the direction of the wind so that the maximum power is generated and the Blade Pitch Control system is a system that operates the blade blades so that the power generated is as desired. Thus, yaw control performance can be optimized only in the wind direction with the highest wind speed so that the power generated can be as desired. In addition, due to the nature of the wind that changes per unit time, the utilization of wind power becomes quite difficult. This report presents a simulation of wind speed prediction to determine the prediction of wind power at the same time and prediction of wind direction to determine the settings of the yaw control system. The method proposed in this research is the decomposition method. The decomposition method is a prediction method that divides time series data into two parts, namely the seasonal component and the trend component. The decomposition method is used to predict wind speed and direction to determine the output power generated and the yaw angle of the wind turbine in the future. Verification of the test results on the proposed method using Mean Absolute Percentage Error (MAPE) shows that the proposed method displays very good and good mape values for various simulation scenarios carried out.

Keywords: Decomposition method, wind output power, wind speed, wind direction, temperature, PLTB Sidrap, PLTB Tolo, Yaw control.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Tenaga angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai penggerak turbin untuk menghasilkan listrik yang dikenal dengan istilah pembangkit listrik tenaga angin/bayu. Angin memiliki karakteristik yang unik seperti memiliki kerapatan yang rendah sehingga kasat mata serta kecepatan angin yang sangat beragam tergantung perbedaan tekanan udara dari tempat asal dan tujuan angin beserta resistansi medan yang dilaluinya oleh karena itu untuk memanfaatkan tenaga angin secara optimal diperlukan adanya sistem kendali *yaw* beserta prediksi dari arah dan kecepatan angin tersebut untuk menggerakkan turbin [1].

Angin merupakan aliran udara dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Sesuai dengan karakteristik angin yang terbentuk karena adanya perputaran dan rotasi bumi maka angin dapat menjadi sumber tenaga untuk menggerakkan turbin berdasarkan sistem kendali yang mengatur penangkapan energi angin sebagai tenaga gerak pada turbin angin salah satunya yaitu *yaw control* [1].

Sistem kontrol penangkapan angin dalam turbin angin terbagi menjadi dua sistem kontrol yaitu *yaw control* dan *blade pitch control*. Dalam efisiensi penangkapan angin sistem *yaw control* sangat berperan aktif dikarenakan arah angin yang berubah-ubah tiap waktu adalah hal yang umum hingga pengoperasian turbin angin *yaw* adalah hal yang umum [1].

Pitch blade control merupakan sistem yang berfungsi untuk mengoperasikan dan mengontrol sudut pisau pada turbin angin sehingga dioperasikan ketika kecepatan angin diluar nilai rata-rata untuk menghasilkan daya yang diinginkan, sedangkan *Yaw control* merupakan sistem yang berfungsi untuk menjaga rotor saat arah angin berubah sehingga daya yang dihasilkan selalu maksimal. Maka untuk mengoptimalkan kinerja dari sistem *yaw control* maka

dapat dilakukan prediksi daya *output* turbin angin berdasarkan *input* sistem *yaw control* yaitu kecepatan dan arah angin pada area tersebut [1].

Penelitian lain yang melakukan prediksi kecepatan angin untuk memprediksikan daya *output* yaitu dengan menggunakan model *Neural Network* dalam tugas akhir yang berjudul “Prediksi Kecepatan Angin Menggunakan Model *Neural Network* Untuk Mengetahui Besar Daya Listrik Yang Dihasilkan”. Studi kasus dilakukan di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta di stasiun Gunung Kidul dengan hasil akhir prediksi yang ditunjukkan dengan tingkat akurasi kesalahan $0,378 \pm 0,200$ [2].

Pengoperasian sistem tenaga listrik perencanaan yang baik dapat menghasilkan hal yang efisien dan sesuai dengan yang diinginkan, maka dalam pengaturan kendali *yaw* perlu adanya inovasi maupun pembaruan yang dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi dari sistem kendali *yaw* maka digunakan metode dekomposisi dengan memetakan sebuah perilaku data deret waktu yang memiliki pola tertentu sehingga dapat memprediksi faktor lingkungan disekitar turbin salah satunya kecepatan angin agar kecepatan angin yang digunakan untuk memutar turbin sesuai dengan yang diinginkan agar dapat membangkitkan daya yang optimal dan efisien. Hal inilah yang menjadi topik penelitian yaitu mengenai prediksi kecepatan angin agar turbin angin dapat bekerja optimal, maka perlu adanya inovasi untuk dapat memanfaatkan energi angin dengan optimal dan efisien sehingga disusun proposal dengan judul **“Prediksi Daya *Output* Turbin Angin Berdasarkan Faktor Lingkungan dengan Menggunakan Metode Dekomposisi”** [3].

Metode dekomposisi dalam melakukan prediksi mempunyai kelebihan yaitu data percobaan dapat dapat disusun menjadi beberapa komponen dan penyusunan tersebut membantu meningkatkan ketepatan prediksi dan membantu permasalahan atas perilaku deret data secara lebih baik sehingga metode dekomposisi untuk melakukan prediksi daya beban listrik yang tersambung pada gardu induk yang dipaparkan dalam penelitian Anshar Affandy didapat hasil

prediksi pertumbuhan beban pada masing-masing trafo sehingga perlu adanya pergantian [4].

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana efektivitas penerapan metode Dekomposisi dalam memprediksikan daya turbin angin
2. Bagaimana efektivitas penerapan metode Dekomposisi dalam memprediksikan arah angin guna pengaturan sudut *yaw* pada turbin angin berdasarkan faktor lingkungan.

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan efektivitas penerapan metode dekomposisi dalam memprediksikan daya *output* turbin angin agar dapat mengoptimalkan kinerja turbin angin
2. Menentukan efektivitas penerapan metode dekomposisi dalam memprediksikan arah angin dalam simulasi forecasting pengaturan sudut *yaw*

I.4 Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi masalah guna mengoptimalkan hasil penelitian. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

Pengamatan sistem kontrol turbin angin, tanpa dilakukan pengamatan pada sistem blade pitch control

I.5 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Pembahasan tugas akhir ini memiliki susunan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penguraian secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, dan batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan tentang teori penunjang yang relevan untuk bahan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi untuk menyusun kerangka teori dan konseptual.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, metode pengambilan data, analisa data, dan langkah-langkah penelitian.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini akan berisi tentang hasil dan pembahasan yang telah didapatkan dari hasil penelitian.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan berisi tentang kesimpulan dan saran dari keseluruhan proses penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi-referensi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir.

LAMPIRAN

Berisi tentang lampiran-lampiran yang berhubungan dengan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas mengenai teori-teori dasar yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, sebagai penunjang dalam melakukan penelitian. Teori dasar yang digunakan merupakan teori yang relevan untuk bahan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi yang digunakan untuk menunjang konseptual penelitian.

II.1 Forecasting

Prediksi adalah suatu kondisi yang diperkirakan akan terjadi pada masa yang akan datang. Sedangkan prakiraan adalah kegiatan memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa yang akan datang. Energi angin merupakan salah satu energi terbarukan yang mempunyai potensi yang cukup besar di Indonesia maka untuk memanfaatkan energi angin dengan optimal dapat dilakukan prediksi dengan metode yang akurat. Metode prediksi adalah cara memperkirakan secara kuantitatif apa yang akan terjadi di masa depan, berdasarkan data yang relevan pada masa lalu, sehingga dapat dikatakan metode prediksi ini digunakan dalam prakiraan yang objektif [1].

Prediksi adalah salah satu teknik yang paling penting dalam mengetahui kecepatan angin yang dihasilkan. Keputusan memprediksi sangatlah penting, karena dengan prediksi dapat menghitung jumlah energi listrik yang dihasilkan dengan jumlah kebutuhan listrik dan prediksi yang baik adalah prediksi secara akurat [2].

Prediksi adalah memperkirakan besarnya atau jumlah sesuatu pada waktu yang akan datang berdasarkan data pada masa lampau yang dianalisis secara alamiah khususnya menggunakan metode statistika. Prediksi digunakan untuk menetapkan kapan suatu peristiwa akan terjadi atau timbul, sehingga tindakan yang tepat dapat dilakukan. Hal ini berlaku jika waktu tenggang merupakan alasan utama bagi perencanaan dan prediksi dilakukan. Prediksi merupakan alat bantu yang penting dalam perencanaan yang efektif dan efisien [3].

Metode prediksi secara umum dapat dibagi menjadi empat kelompok yaitu sebagai berikut:

1) Metode Analisis

Metode ini dibangun berdasarkan data dari analisis sistem kendali *yaw* pada turbin angin terhadap data kecepatan dan arah angin. Perolehan data merupakan hasil survei ke lapangan. Metode analisis merupakan metode yang mengumpulkan data lalu diproses untuk menghasilkan suatu kesimpulan dalam pengambilan keputusan.

Metode analisis secara umum terbagi menjadi dua yaitu kualitatif dan kuantitatif [4].

2) Metode Ekonometri

Suatu metode yang dibangun dengan mengikuti indikator-indikator ekonomi. Prakiraan ini didasarkan adanya hubungan antara permintaan dan ketersediaan data dengan beberapa variabel ekonomi. Ekonometrika merupakan ilmu yang mempelajari bagaimana sebuah model ekonomi dibentuk, dan bagaimana perilaku model tersebut [4].

Berdasarkan hubungan-hubungan yang ada dalam teori ekonomi, dalam melakukan metode ekonometri perlu melalui beberapa tahapan atau prosedur yaitu pertama merumuskan persamaan matematis yang menggambarkan hubungan di antara berbagai variabel ekonomi seperti yang diterangkan oleh teori ekonomi (Spesifikasi). Kedua merancang metode dan prosedur berdasarkan teori statistik, untuk mendapatkan sampel yang mewakili dunia nyata. Ketiga menyusun metode penaksiran (estimasi) parameter hubungan-hubungan yang dilukiskan pada langkah pertama (Penaksiran). Keempat menyusun metode (statistik) untuk keperluan pengujian validitas teori dengan menggunakan parameter-parameter yang telah didapatkan pada langkah ketiga (Verifikasi). Dan terakhir mengembangkan metode peramalan ekonomi ataupun implikasi kebijakan berdasarkan parameter-parameter yang telah ditaksir apabila teori tersebut telah lolos dari pengujian pada langkah keempat [5].

Dengan metode ekonometri dapat Memprediksikan nilai besaran-besaran ekonomi di masa yang akan datang dengan derajat probabilitas tertentu. Dalam kondisi ketidakpastian, prediksi dapat memberikan petunjuk bagi pengambil keputusan dengan tujuan untuk memperoleh keuntungan di bidang finansial [5].

3) Metode Kecenderungan (*Black Box*)

Metode ini disebut juga metode *trend* yaitu metode yang dibuat berdasarkan kecenderungan hubungan data masa lalu tanpa memperhatikan penyebab atau hal-hal yang mempengaruhinya (pengaruh ekonomi, iklim, teknologi, dan lain-lain). Metode kecenderungan merupakan metode yang menggunakan cara-cara perhitungan statistika dan matematika tertentu untuk mengetahui fungsi garis lurus sebagai ganti dari garis patah-patah yang dibentuk oleh data historis. Kinerja metode kecenderungan yaitu menganalisis suatu data yang membentuk grafik dengan gerakan naik atau turun (kecenderungan) dalam jangka waktu tertentu, yang diperoleh dari rata-rata perubahan dari waktu ke waktu. Rata-rata perubahan tersebut dapat bertambah maupun berkurang jika rata-rata perubahan bertambah disebut *trend* positif atau *trend* mempunyai kecenderungan naik. Sebaliknya jika rata-rata perubahan berkurang maka disebut *trend* negatif atau *trend* yang mempunyai kecenderungan turun [4].

4) Metode Gabungan

Metode yang merupakan gabungan dari beberapa metode (analisis, ekonometri dan kecenderungan). Metode gabungan dilakukan pada penelitian yang kompleks yang meninjau segala aspek pada objek penelitiannya baik itu manfaat, keuntungan, pengaruh teknologi, pengaruh iklim, dan historis penelitian. Metode gabungan merupakan metode yang paling jarang untuk digunakan [4].

Prediksi daya dibidang tenaga listrik merupakan komponen penting untuk sistem manajemen energi listrik. Prediksi yang tepat membantu meningkatkan keandalan sistem tenaga, mengurangi biaya pembangkitan, dan penjadwalan rencana pemeliharaan [6].

Prediksi (*forecasting*) adalah kegiatan memperkirakan apa yang terjadi pada masa yang akan datang berdasarkan data yang relevan pada masa lalu dan menempatkan ke masa yang akan datang dengan suatu bentuk model matematis. Bisa juga merupakan prediksi intuisi yang bersifat subyektif, atau dengan menggunakan kombinasi model matematis yang di sesuaikan dengan pertimbangan yang baik [6].

Metode peramalan yang baik adalah yang memberikan hasil peramalan yang tidak berbeda dengan kenyataan yang terjadi. Dalam teknik peramalan terdapat beberapa jenis model. Antara lain:

1. Model Kuantitatif

Model kuantitatif merupakan model ilmiah yang tersusun sistematis terhadap bagian-bagian dan mencoba untuk menemukan kausalitas untuk mengetahui keterikatan dengan menggunakan cara matematis atau model yang berupaya memasukkan faktor-faktor matematis data dalam model prediksi. Model semacam ini diharapkan akan sangat bermanfaat apabila data kuantitatif yang akurat sulit di peroleh. Model kuantitatif berkaitan erat dengan penelitian berdasarkan pengalaman empiris yang mengumpulkan data-data berbentuk angka yang dapat dihitung dan berbentuk numerik [7].

Tujuan model kuantitatif yaitu membantu menemukan hubungan antar variabel dalam sebuah populasi dalam melihat hubungan yang fundamental antara pengamatan empiris dengan hasil data. Desain penelitian model kuantitatif memiliki dua bentuk yaitu studi dekriptif atau studi yang melakukan uji relasi antar variabel sekali saja dan studi ekperimental atau studi yang melakukan pengukuran sebelum dan sesudah penelitian untuk mengetahui sebab akibat. Desain penelitian kuantitatif menggunakan pengukuran sebagai pusat penelitian [7].

2. Model runtun waktu (*time series*)

Model ini berusaha untuk memprediksi masa depan dengan menggunakan data historis. *Time series* atau runtun waktu adalah himpunan observasi data

terurut dalam waktu. Model runtun waktu merupakan model prediksi dengan menggunakan analisa pola hubungan antara variabel yang akan diperkirakan dengan variabel waktu. Model runtun waktu dalam melakukan prediksi perlu memperhatikan pola data, dan secara umum pola data terbagi menjadi empat yaitu pola horizontal, pola *trend*, pola musiman, dan pola siklis [7].

3. Model kausal

Model ini memasukkan dan menguji variabel-variabel yang diduga mempengaruhi variabel dependent. Model kausal biasanya menggunakan analisis regresi untuk menentukan mana variabel yang signifikan mempengaruhi variabel dependent. Model ini juga dapat menggunakan metode ARIMA untuk mencari metode terbaik yang dapat digunakan dalam melakukan tindakan memprediksi [7].

Prediksi digunakan untuk menetapkan kapan suatu peristiwa akan terjadi atau timbul, sehingga tindakan yang tepat dapat dilakukan. Hal ini berlaku jika waktu tenggang merupakan alasan utama bagi perencanaan dan peramalan. Prediksi merupakan alat bantu yang penting dalam perencanaan yang efektif dan efisien [7].

Prediksi merupakan suatu komponen penting dalam pengambilan keputusan. Prediksi bertujuan agar objek yang diprediksikan dapat bekerja dengan optimal sehingga hasil yang didapatkan sesuai dengan yang diinginkan. Maka pada bagian II.2 akan membahas mengenai objek prediksi secara umum yaitu turbin angin.

II.2 Turbin Angin

Turbin angin merupakan teknologi energi alternatif yang mampu mengkonversi energi angin menjadi energi mekanik dan dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Pembangkit listrik tenaga angin memiliki 2 tipe turbin angin yaitu turbin angin tipe *horizontal axis* (HAWT) dan turbin angin *vertical axis* (VAWT). Prinsip kerja turbin angin sumbu horizontal berdasarkan

gaya angkat (*lift force*) energi angin dan turbin angin sumbu vertikal berdasarkan gaya tarik (*drag force*) yang terjadi akibat pergerakan angin [8].

Turbin angin tipe *vertical axis wind turbine* (VAWT) memiliki kapabilitas untuk dapat menahan aliran turbulen angin serta dapat berotasi mudah dengan kecepatan angin yang rendah. Turbin angin *vertical axis* memiliki dua tipe yaitu tipe Darrieus dan Tipe Savonis lihat Gambar 2.1. Tipe Darrieus memiliki koefisien daya (C_p) yang lebih besar dibandingkan tipe savonis yaitu 0,2-0,4 sedangkan koefisien daya (C_p) tipe savonis sebesar 0,1-0,2 selain itu kecepatan angin minimal yang dibutuhkan untuk memutar sudut turbin angin tipe darrieus sebesar 3-7,5 m/s sedangkan kecepatan angin minimal yang dibutuhkan untuk memutar turbin angin tipe savonis yaitu 1,4 m/s. Turbin angin darrieus mengaplikasikan blade dengan bentuk dasar aerofoil Naca sedangkan Turbin angin savonis memiliki rotor dengan bentuk dasar setengah silinder namun seiring perkembangan dan penelitian yang dilakukan rotor savonis tidak lagi berbentuk setengah silinder namun mengalami modifikasi untuk dapat meningkatkan efisiensi dan performa [9].



Gambar 2.1 Jenis turbin angin sumbu vertikal (*Sumber : Taufan;2015*)

Turbin angin tipe *horizontal axis wind turbine* (HAWT) mempunyai sumbu putar yang terletak sejajar dengan permukaan tanah serta sumbu putar rotor yang searah dengan arah angin. Berdasarkan letak rotor terhadap arah angin,

turbin angin *horizontal axis* dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu *Upwind* dan *Downwind* dapat dilihat di Gambar 2.2 Turbin angin tipe *Upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin sedangkan turbin angin tipe *Downwind* memiliki rotor yang berlawanan dengan datangnya arah angin. Kelebihan dari turbin angin tipe *horizontal axis* terletak pada dasar menara yang tinggi beserta bilah yang panjang sehingga turbin angin *horizontal axis* ini dapat mengakses angin yang lebih kuat di tempat tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju angin dan arah angin) antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi [9].

Kekurangan turbin angin *horizontal axis* :

- a. Menara yang tinggi dan blade yang panjang memerlukan biaya yang besar untuk pemasangan dan transportasi alat, bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin
- b. Turbin *horizontal axis* yang tinggi sulit dipasang sehingga membutuhkan derek yang tinggi dan mahal serta operator yang terampil
- c. Kontruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga sudut-sudut yang berat, gearbox, dan generator
- d. Turbin angin *horizontal axis* yang tinggi dapat mempengaruhi radar bandara
- e. Ukurannya yang tinggi merintangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan *landscape*
- f. Berbagai varian *downwind* menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi [9].



Gambar 2.2 Jenis turbin angin sumbu horizontal (*Sumber :*
<https://docplayer.info/51860099-Plagiat-merupakan-tindakan-tidak-terpuji.html>)

Daya adalah energi per satuan waktu. Daya turbin didefinisikan sebagai perkalian *mass flow rate* dengan energi kinetik per unit massa angin. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, luas baling-baling, dan kubik kecepatan angin.

Daya *output* turbin angin merupakan daya yang dihasilkan oleh energi angin di daerah tersebut, dimana daya ini diperoleh dari energi kinetik angin atau pergerakan aliran udara pada daerah tersebut yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Ek = \frac{1}{2} mV^2 \quad (1)$$

Keterangan :

Ek = Energi kinetik angin (Joule)

V = Kecepatan angin (m/s)

M = Massa udara (kg/m^3)

Massa udara yang mengalir tiap satuan waktu dapat diperhitungkan melalui nilai massa jenis udara, luas penampang melintang arus angin yang ditangkap kincir, dan kecepatan angin dalam hal ini menyatakan daya *output* turbin angin yang dapat dirumuskan sebagai berikut [9]

$$P_{in} = \frac{1}{2} (\rho AV)V^2$$

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (2)$$

Keterangan :

P_{in} = Daya *output* turbin angin (watt)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

V = Kecepatan angin (m/s)

A = Luas area rotor (m^2)

Berdasarkan perhitungan daya *output* angin nilai luasan area rotor (*sweap area*) disimbolkan dengan A , maka luas area rotor dapat dihitung dengan :

$$A = \frac{\Pi}{4} d^2 \quad (3)$$

$$A = \frac{\Pi}{4} (2r)^2$$

$$A = \Pi r^2 \quad (4)$$

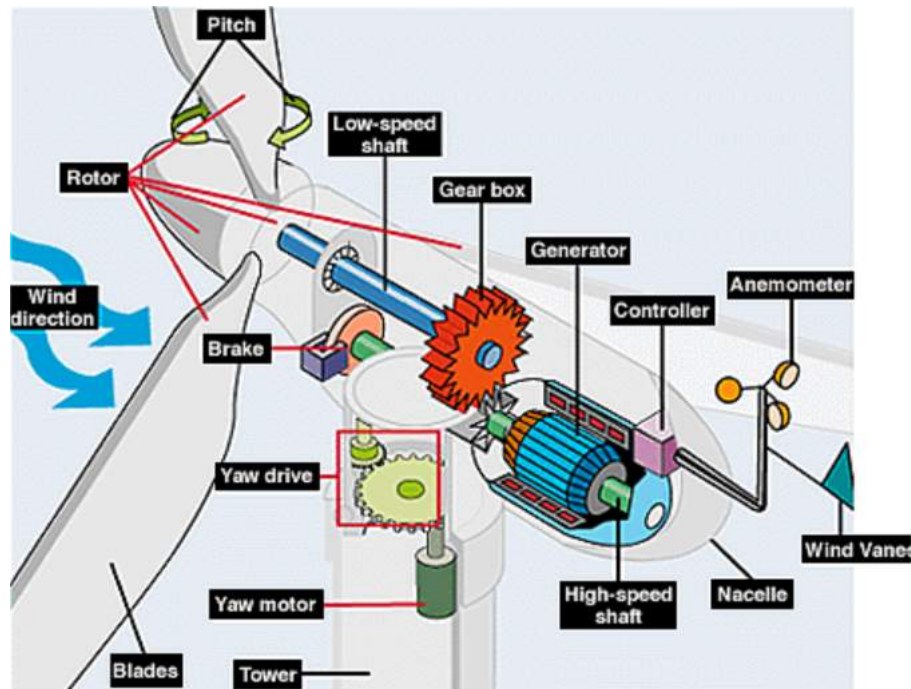
Turbin angin merupakan pembangkit listrik yang mengubah energi mekanik angin menjadi energi listrik. Turbin angin merupakan pembangkit yang sangat kompleks selain memiliki kinerja tergantung sumbunya turbin angin memiliki komponen-komponen penyusun yang saling berkoordinasi untuk menghasilkan energi listrik.

II.3 Komponen turbin angin

Turbin angin terdiri dari beberapa struktur atau komponen yang saling mengkoordinasi dan membentuk suatu sistem sehingga dapat mengkonversi energi angin menjadi energi mekanik dan menghasilkan energi listrik, komponen turbin angin dapat dilihat di Gambar 2.3 yaitu :

- a. *Blade* : Berfungsi untuk menerima tekanan angin sehingga memutar rotor turbin angin. Kebanyakan turbin angin mempunyai 3 bilah kipas.
- b. *Pitch* : Merupakan bilah kipas yang dapat diatur sudutnya sesuai dengan kecepatan *rotor* yang dikehendaki melalui *blade pitch control*. Tergantung kondisi angin yang melewati *blade* terlalu rendah atau terlalu kencang.
- c. *Brake* : Suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis dengan bantuan tenaga listrik atau hidrolis untuk menghentikan *rotor* atau saat keadaan darurat.
- d. *Low-Speed Shaft* : Merupakan komponen poros turbin yang berputar kira-kira 30-100 rpm. Berfungsi untuk meneruskan putaran rendah ke poros rangkaian roda gigi.
- e. *Gear Box* : Merupakan roda gigi yang menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi sekitar 1000-1800 rpm. Hal tersebut merupakan tingkat putaran standar yang disyaratkan untuk memutar generator listrik. Merupakan komponen yang menghubungkan *low-speed shaft* dan *High-Speed shaft*.
- f. *Generator* : Merupakan komponen yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari putaran turbin angin. Prinsip kerja generator adalah menjadikan medan magnet yang ada disekitar konduktor mengalami fluktuasi atau perubahan, sehingga timbul tegangan listrik. Magnet yang berputar disebut rotor dan konduktor yang diam disebut stator.
- g. *Controller* : Alat Pengontrol ini men-start turbin pada kecepatan angin kira-kira 12-25 km/jam, dan kemudian mematikannya pada kecepatan 90 km/jam. Turbin tidak beroperasi di atas 90 km/jam. Hal ini dikarenakan tiupan angin yang terlalu kencang dapat merusakkannya.

- h. *Wind Vane* : Merupakan komponen yang mengukur arah angin. Komponen yang berkaitan erat dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.
- i. *Nacelle* : Rumah mesin ini terletak di atas menara. Di dalamnya berisi *gearbox*, poros putaran tinggi / rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.
- j. *High-Speed Shaft* : Merupakan poros turbin angin yang berputar sangat tinggi. Berfungsi sebagai drive generator atau menggerakkan generator.
- k. *Menara* : Menara merupakan tiang penyangga yang fungsi utamanya adalah untuk menopang semua komponen turbin angin yang berada di atasnya. Menara dapat berupa tipe *lattice* atau pipa (*tubular*) , baik yang dibantu dengan penopang tali pancang maupun yang *self supporting*. Dikarenakan kecepatan angin semakin besar bila tempat semakin tinggi, maka makin tinggi menara yang dibangun makin besar tenaga angin yang didapat.
- l. *Anemometer* : Merupakan komponen yang berfungsi untuk mengukur kecepatan angin dan mengirim data angin ke alat pengontrol. Data yang didapatkan dapat menjadi tinjauan dalam pengoperasian turbin angin.
- m. *Yaw drive* : merupakan tempat menempelnya generator dan ekor dengan kedudukan seperti engsel untuk mengarahkan turbin angin frontal terhadap arah datangnya angin. Mekanisme *yaw drive* mengatur kebebasan bergerak menggeleng (*yawing*) turbin angin untuk memastikan arah rotor selalu menghadap arah datangnya angin, sehingga perlu mekanisme yang mendukung kebebasan bergerak turbin angin. Mekanisme tersebut disebut *yaw control* [1].



Gambar 2.3 Komponen Turbin Angin (Sumber : Arif;2018)

Turbin angin terdiri dari beberapa komponen yang saling interaksi atau mendukung dalam menghasilkan daya listrik. Komponen turbin angin mempunyai peran dan tugas masing-masing dalam menghasilkan daya listrik. Maka pada bagian II.4 akan lebih membahas mengenai sistem kendali yaw yang menjadi inti objek penelitian.

II.4 Sistem Kendali *Yaw*

Sistem kendali *yaw* merupakan sistem yang bertanggung jawab dalam mengatur efisiensi penangkapan energi angin sehingga menghasilkan energi mekanik. Pada turbin angin *horizontal axis* dilengkapi dengan mekanisme *yaw* yang memiliki kemampuan untuk menyesuaikan sumbu rotor dengan arah angin (kontrol aktif *yaw*). Mekanisme *yaw* hanya akan berjalan jika sudut *yaw* lebih besar dari nilai kritis yang telah ditentukan dikarenakan banyaknya gerakan kendali *yaw* dapat meningkatkan beban listrik sehingga membutuhkan energi yang mempengaruhi *output* generator serta dapat meningkatkan amplitudo getaran yang dapat menimbulkan kerusakan pada sistem [9].

Sistem kendali *yaw* dapat terbagi menjadi 2 tipe yaitu *yaw* aktif dan *yaw* pasif. Pada turbin dengan *yaw* pasif bergantung pada aerodinamika rotor untuk menyelaraskan turbin sehingga mesin mengikuti arah angin sedangkan turbin dengan *yaw* aktif menggunakan mesin untuk menyelaraskan turbin dengan arah angin dan biasanya digunakan pada turbin angin *horizontal axis* [10].

Prinsip kerja dari sistem kendali *yaw* merupakan kontrol mekanik yang mengatur sudut kemiringan turbin angin, sehingga semakin tinggi kecepatan angin pada suatu arah angin maka sistem kendali *yaw* akan memperbesar sudut kemiringan turbin terhadap sudut datang angin sehingga akan menjaga kecepatan angin tetap terjaga pada setpointnya [10].

Sistem kendali *yaw* merupakan sistem yang sangat memperhatikan besaran kecepatan dan arah angin pada area turbin angin. Sistem kendali *yaw* akan memastikan agar rotor menghadap angin saat arah angin berubah. Maka sistem kendali *yaw* dapat dioptimalkan bila kecepatan dan arah angin pada area turbin dapat diprediksi dengan metode dekomposisi sehingga dapat memprediksikan daya yang optimal.

II.5 Metode Dekomposisi

Decomposition method atau Metode dekomposisi adalah teknik yang dapat digunakan untuk menentukan perilaku data deret waktu. Rangkaian data dapat didekomposisi menjadi komponen yang terpisah, musiman, tren, siklus, dan residual. Komponen musiman menunjukkan perubahan data yang bergantung pada cuaca. Komponen tren dan siklus digabungkan bersama untuk membuat siklus tren [11].

Prinsip dasar dari metode dekomposisi deret waktu adalah mendekomposisi (memecah) data deret waktu menjadi beberapa pola dan mengidentifikasi masing-masing komponen dari deret waktu tersebut secara terpisah. Pemisahan ini dilakukan untuk membantu meningkatkan ketepatan peramalan dan membantu pemahaman atas perilaku deret data secara lebih baik [11].

Perubahan sesuatu hal itu biasanya mempunyai pola yang agak kompleks, misalnya ada unsur kenaikan, penurunan, berfluktuasi dan tidak teratur, sehingga untuk diprediksi dan dianalisis sekaligus sangatlah sulit maka dilakukan pendekomposisian data kedalam beberapa komponen. Masing-masing komponen akan dipelajari dan dicari satu persatu, setelah ditemukan digabung lagi menjadi nilai taksir atau prediksi [11].

II.5.1 Algoritma Metode Dekomposisi

Metode dekomposisi digunakan untuk meramalkan data deret berkala yang menunjukkan adanya pola tren dan pengaruh musiman. Metode dekomposisi merupakan suatu metode peramalan yang menggunakan empat komponen utama dalam meramalkan nilai masa depan. Keempat komponen tersebut antara lain *Trend*, Musiman (*seasonal*), Siklis (*cyclical*) dan *error* [6].

Pendekatan dekomposisi ini berusaha menguraikan deret berkala ke dalam sub komponen utamanya. Dengan demikian, bukan hanya pola tunggal suatu komponen yang diprediksi melainkan berbagai pola yakni pola *trend*, pola musiman, pola siklus serta *error* [12].

Metode dekomposisi dilandasi oleh asumsi bahwa data yang ada merupakan gabungan dari beberapa komponen, secara sederhana digambarkan sebagai berikut [6]:

$$\begin{aligned} \text{Data} &= \text{Pola} + \text{error} \\ &= F(T, S, M) \end{aligned} \tag{5}$$

dengan:

T = *Trend*

S = Siklis

M = Musiman

Sesuai dengan asumsi di atas yang mengartikan bahwa dalam suatu data *time series* terdapat empat komponen yang mempengaruhi suatu deret waktu, yaitu tiga komponen yang dapat diidentifikasi karena memiliki pola tertentu, yaitu: *trend*, siklis dan musiman. Persamaan matematis umum dari pendekatan dekomposisi adalah [6]:

$$Y_t = f(T_t, S_t, C_t, I_t) \quad (6)$$

dengan:

Y_t = nilai deret berkala (data aktual) pada periode t

T_t = komponen *trend* (*trend*) pada periode t

S_t = komponen musiman (*seasonal*) pada periode t

C_t = komponen siklus (*cyclic*) pada periode t

I_t = komponen kesalahan tidak beraturan (*irregular*) pada periode t

II.5.2 Komputasi Metode Dekomposisi

Dalam melakukan prediksi dengan metode dekomposisi terdapat beberapa langkah atau tahapan yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan Komponen Musiman

Komponen musiman dapat diperoleh dari rata-rata kolom data *time series* dengan mengalikan rata-ratanya dengan faktor penyesuaian yaitu perbandingan antara pola musiman dengan total rata-rata kolom. Indeks musim dihitung berdasarkan rata-rata tiap periode musim setelah bebas dari pengaruh *trend*. Langkah-langkah yang harus ditempuh sebagai berikut:

- 1) Menyusun data tiap periode pada tiap bulan sesuai kebutuhan untuk masing-masing tahun, kuartal ke bawah dan tahun ke kanan.
- 2) Mencari rata-rata tiap periode pada data yang digunakan.

3) Apabila rata-rata tersebut masih mengandung kenaikan (*trend*) maka pengaruh *trend* tersebut dapat dihilangkan dengan cara membagi dengan hasil kumulatif (CMA).

4) Menghitung nilai *detrend* untuk menghilangkan sifat kecenderungan data.

5) Tentukan komponen musiman sesuai dengan jumlah periode yang ditentukan sejak awal [12].

$$MA = \frac{(Z1 + Z2 + \dots + Zn)}{n} \quad (7)$$

$$CMA = \frac{(MA1 + MA2)}{2} \quad (8)$$

$$Dt = \frac{Zn}{CMA n} \quad (9)$$

$$St = \frac{(Dt . 3 + Dt2 . 3 + \dots + Dtn)}{n} \quad (10)$$

Keterangan :

MA = Rata-rata data tiap kuartal

CMA = Rata-rata data *Moving Average*

Dt = *Detrend*

S_t = Komponen Musiman

Z = Data kecepatan angin

n = Jumlah data

2. Menentukan Komponen *Trend*

Komponen *trend* adalah suatu persamaan garis regresi atau garis kecenderungan. *Trend* dapat dikatakan sebagai hal yang menentukan suatu

gerakan kecenderungan naik atau turun dalam jangka panjang yang diperoleh dari rata-rata perubahan dari waktu ke waktu dan nilainya cukup rata. Setelah bentuk garis regresi ditentukan, langkah selanjutnya menentukan koefisien-koefisien regresi itu sendiri [13].

Bentuk umum:

$$Y = a + bX + \epsilon \quad (11)$$

Dimana:

Y : data deret berkala atau nilai *trend* untuk periode tertentu

X : periode waktu (hari, minggu, bulan, tahun)

a, b : konstanta

ϵ : Kesalahan (error)

Nilai a dan b diperoleh dari:

$$a = \frac{\sum Y \cdot \sum X^2 - \sum X \cdot \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (12)$$

Dimana:

Y = Nilai data deret variabel terikat

X = Nilai data deret variabel bebas

a = Slope trend

b = Kemiringan trend

n = Jumlah data

3. Menghitung Komponen Siklus

Komponen siklus dapat diperoleh dengan cara membagi rata-rata bergerak atau komponen musiman dengan komponen *trend* yang sesuai, dengan cara sebagai berikut [7]:

$$\frac{St}{Tt} = \frac{Tt \times Ct}{Tt} = Ct \quad (13)$$

$$rata - rata \ Ct = \frac{\sum Ct}{n} \quad (14)$$

Keterangan :

T_t = Komponen *Trend*

S_t = Komponen Musiman

C_t = Komponen Siklus

4. Menentukan hasil Prediksi

Tahap terakhir dalam prediksi *output* daya turbin angin berdasarkan faktor lingkungan yaitu menentukan nilai prediksi tersebut dengan rumus sebagai berikut [13]:

$$F_t = Y \times S_t \quad (15)$$

Keterangan :

F_t = Nilai Prediksi

Y = Komponen *Trend*

S_t = Komponen Musiman

Teori dasar yang dibahas pada bab ini merupakan teori dasar yang menunjang penelitian yang dilakukan. Teori mengenai *forecasting* yang menjadi topik penelitian untuk dapat mengoptimalkan kinerja turbin angin sehingga dapat memprediksikan *output* daya turbin angin dengan menggunakan metode dekomposisi.

Metode dekomposisi merupakan metode prediksi model kuantitatif yang memecah data kecepatan dan arah angin menjadi komponen musiman dan *trend* yang dapat meningkatkan akurasi prediksi. Data kecepatan dan arah angin digunakan karena sistem kendali *yaw* pada turbin angin yang merupakan inti objek penelitian yang dilakukan mempunyai sensitivitas yang tinggi terhadap kecepatan dan arah angin pada area yang ditinjau.