

SKRIPSI

**ESTIMASI PRAMETER KECEPATAN DAN ARAH ANGIN UNTUK  
APLIKASI TURBIN ANGIN DENGAN METODE SARIMA**

Disusun dan diajukan oleh

AGUSMAN

D041171316



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Estimasi Prameter Kecepatan dan Arah Angin Untuk Aplikasi Turbin Angin  
Dengan Metode SARIMA**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**AGUSMAN**

**D041171316**

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi, Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 11 Agustus 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing I,

Pembimbing II,



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



Yusril Syam Akil, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19770322 200501 1 001

Ketua Departemen Teknik Elektro,



Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.  
NIP. 19691026 199412 2 001

## LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI

### "ESTIMASI PARAMETER KECEPATAN DAN ARAH ANGIN UNTUK APLIKASI TURBIN ANGIN DENGAN METODE SARIMA"



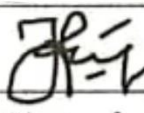
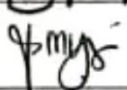
Oleh:

AGUSMAN


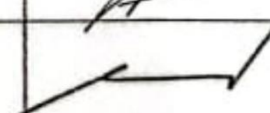
D041171316

Skripsi ini telah dipertahankan pada Ujian Akhir Sarjana tanggal 11 Agustus 2022.  
Telah dilakukan perbaikan penulisan dan isi skripsi berdasarkan usulan dari penguji dan pembimbing skripsi.

Persetujuan perbaikan oleh tim penguji:

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	Prof. Dr. Eng. Syafaruddin, ST., M.Eng.	
Sekretaris	Yusril Syam Akil, ST., MT., Ph.D	
Anggota	Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST., MT.	
	Dr. Fitrianti Mayasari, ST., MT.	

Persetujuan perbaikan oleh pembimbing:

Pembimbing	Nama	Tanda Tangan
I	Prof. Dr. Eng. Syafaruddin, ST., M.Eng.	
II	Yusril Syam Akil, ST., MT., Ph.D	

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Agusman  
NIM : D041171316  
Program Studi : Teknik Elektro  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“ESTIMASI PRAMETER KECEPATAN DAN ARAH ANGIN UNTUK APLIKASI  
TURBIN ANGIN DENGAN METODE SARIMA”

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

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

Makassar, 11 Agustus 2022

Yang Menyatakan Tanda tangan

  
  
AGUSMAN

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Saya panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas berkat pertolongannya saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Adapun judul skripsi yang saya ajukan adalah “Estimasi Prameter Kecepatan Dan Arah Angin Untuk Aplikasi Turbin Angin Dengan Metode SARIMA”. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah skripsi di Fakultas Teknik, Departemen Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin. Tidak dapat disangkal bahwa butuh usaha yang keras, kegigihan, dan kesabaran, dalam penyelesaian pengerjaan skripsi ini.

Namun disadari karya ini tidak akan selesai tanpa orang-orang baik disekeliling saya yang mendukung dan membantu. Penulis tidak akan sampai pada titik ini, jikalau tanpa dukungan dan bantuan dari pihak yang selalu ada, peduli dan menyayangi penulis. Oleh karena itu, penulis haturkan rasa terima kasih yang setulus-tulusnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya untuk orang tua penulis, Ayahanda Sulaiman dan Ibunda Harpiah yang telah memberikan dukungan penuh, pengorbanan, kesabaran hati, cinta dan kasih sayang, serta dengan ikhlas telah mengiri setiap langkah penulis dengan doa dan restunya.

Terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
2. **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
3. **Dr.Eng.Ir. Dewiani, M.T.**, selaku Ketua Departemen Teknik Elektro, segenap Dosen Pengajar dan Staf yang telah membekali ilmu dan kemudahan kepada penulis dalam berbagai hal selama menjadi mahasiswa di Departemen Teknik Elektro.
4. **Prof. Dr. Eng. Syafaruddin, ST., M.Eng.** dan **Yusril Syam Akil, ST., MT., Ph.D.** selaku Dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, nasehat, motivasi dan berbagai pengalaman kepada peneliti dengan penuh keikhlasan dan kesabaran.

5. **Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST., MT.** dan **Dr. Fitrianti Mayasari, ST., MT.** selaku Dosen pembimbing yang telah memberikan saran dan masukan terkait penelitian ini
6. Dan semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga segala kebaikan dan pertolongan semuanya mendapat berkah dari Allah *Subhanahu wa Ta'ala*. Dan akhirnya saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan ilmu yang saya miliki. Untuk itu saya dengan kerendahan hati mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak demi membangun laporan penelitian ini.

Gowa, 12 Agustus 2022

AGUSMAN

## ABSTRAK

**AGUSMAN.** *Estimasi Parameter Kecepatan dan Arah Angin Untuk Aplikasi Turbin Angin Dengan Metode SARIMA* (dibimbing oleh Syafaruddin dan Akil).

Peramalan adalah salah satu metode statistik yang berperan penting dalam pengambilan keputusan. Pada penelitian ini dilakukan peramalan variabel arah dan kecepatan angin untuk aplikasi turbin angin. Metode yang digunakan adalah salah satu metode *time series* yakni SARIMA (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average*) yang merupakan suatu metode yang menggunakan nilai masa lalu dan sekarang dari variabel dependen untuk menghasilkan peramalan jangka pendek yang akurat. Pada Metode ARIMA *non-seasonal* ditemui suatu kendala, dimana hasil ramalan cenderung flat dan mengabaikan komponen musiman dari data *time series*. Dengan metode SARIMA dilakukan peramalan terhadap 5 rentang data histori yang berbeda untuk melihat berapa Panjang data histori yang paling optimal dan ditemukan bahwa metode SARIMA kurang akurat dalam meramalkan kecepatan dan arah angin dengan data histori yang panjang. Dan yang terjadi malah semakin sedikit data histori yang digunakan maka akan semakin akurat hasil peramalan pada metode SARIMA ini. Metode ini hanya dapat mengakomodasi satu pola musiman sedangkan jika terlalu banyak data histori, maka akan terbentuk banyak pola. Hal ini menyebabkan sulitnya menentukan pola yang mana yang paling berpengaruh dan mungkin akan mengabaikan pola lain yang sebenarnya juga berpengaruh terhadap hasil peramalan. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan pengelompokan data sehingga hasil ramalan lebih akurat dengan MAPE yang lebih kecil. Pada penelitian ini juga dilakukan uji coba pengaplikasian metode SARIMA pada PLTB Jeneponto dan PLTB Sidrap. Akurasi Metode SARIMA Sangat Bergantung dengan Panjang Data, variasi data dan ramalannya belum dapat dikatakan yang terbaik.

**Kata Kunci:** *Peramalan, SARIMA, Turbin Angin*

## ABSTRACT

**AGUSMAN.** *Estimation of Wind Speed and Direction Parameters for Wind Turbine Applications Using the SARIMA Method* (supervised by Syafaruddin and Akil).

Forecasting is a statistical method that plays an important role in decision making. In this study, forecasting of wind speed and direction variables was carried out for wind turbine applications. The method used is one of the time series methods, namely SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) which is a method that uses past and present values of the dependent variable to produce accurate short-term forecasts. In the non-seasonal ARIMA method encountered a problem, where the forecast results tend to be flat and ignore the seasonal component of the time series data. With the SARIMA method, 5 different historical data ranges were forecasted to see what the most optimal length of historical data was and it was found that the SARIMA method was less accurate in predicting wind speed and direction with long historical data. And what happens is that the less historical data used, the more accurate the forecasting results in the SARIMA method will be. This method can only accommodate one seasonal pattern, whereas if there is too much historical data, many patterns will be formed. This makes it difficult to determine which pattern is the most influential and may ignore other patterns that actually also affect the forecasting results. To overcome this, the data is grouped so that the forecast results are more accurate with a smaller MAPE. In this study also conducted trials of the application of the SARIMA method to PLTB Jenepono and PLTB Sidrap. The accuracy of the SARIMA method is highly dependent on the length of the data, the variation of the data and the predictions cannot be said to be the best.

**Keywords:** *Forecasting, SARIMA, Wind Turbine*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 <i>Forecasting</i> .....	5
2.2 Turbin Angin.....	5
2.3 Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	7
2.4 Komponen Turbin Angin.....	8
2.5 Karakteristik Turbin Angin.....	10
2.6 Mekanisme Turbin Angin.....	12
2.6.1 Mekanisme <i>Pitch Blade Control</i> .....	12
2.6.2 Mekanisme <i>Yaw drive Control</i> .....	13
2.6.3 Skala Beaufort.....	13
2.7 ARIMA ( <i>Autoregressive Integrated Moving average</i> ).....	14
2.7.1 Prinsip Dasar dan Tujuan Analisis.....	14
2.7.2 Format Data Dasar dan Program Komputer yang Digunakan.....	15
2.7.3 Model Matematis dan Algoritma Pokok Analisis.....	15
2.7.4 <i>Stasioneritas</i> dan <i>Nonstasioneritas</i> .....	15
2.7.5 Klasifikasi model ARIMA.....	16

2.7.6 Musiman dan Model SARIMA.....	17
2.7.7 Identifikasi .....	17
2.7.8 Penaksiran Parameter.....	18
2.7.9 Pengujian Parameter Model.....	18
2.7.10 Pemilihan Model Terbaik.....	19
2.7.11 Struktur Informasi Pokok Hasil Analisis (Cara Interpretasi).....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1 Judul Penelitian.....	22
3.2 Lokasi Penelitian.....	22
3.3 Waktu Penelitian.....	22
3.4 Prosedur Penelitian .....	22
3.5 Alur Penelitian .....	22
<b>BAB IV HASIL &amp; PEMBAHASAN.....</b>	<b>24</b>
4.1 Gambaran Umum.....	24
4.2 Data Penelitian.....	25
4.2.1 PLTB Jeneponto.....	25
4.2.2 Data Arah dan Kecepatan Angin .....	26
4.3 Simulasi Forecasting.....	28
4.3.1 Data bulan November 2015 meramalkan 1-2 Desember 2015 (48 periode waktu ke depan).....	28
4.3.1.1 Kecepatan.....	28
4.3.1.1.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	28
4.3.1.1.2 Estimasi.....	31
4.3.1.1.3 Evaluasi Model .....	35
4.3.1.1.4 <i>Forecasting</i> .....	38
4.3.1.2 Arah.....	40
4.3.1.2.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	41
4.3.1.2.2 Estimasi.....	43
4.3.1.2.3 Evaluasi Model .....	46
4.3.1.2.4 <i>Forecasting</i> .....	50
4.3.2 Data bulan September-November 2015 meramalkan 1-2 Desember 2015 (48 periode waktu ke depan) .....	52
4.3.2.1 Kecepatan.....	52
4.3.2.1.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	52

4.3.2.1.2 Estimasi.....	54
4.3.2.1.3 Evaluasi Model .....	57
4.3.2.1.4 <i>Forecasting</i> .....	61
4.3.2.2 Arah.....	63
4.3.2.2.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	63
4.3.2.2.2 Estimasi.....	65
4.3.2.2.3 Evaluasi Model .....	68
4.3.2.2.4 <i>Forecasting</i> .....	72
4.3.3 Data bulan Januari-November 2015 meramalkan 1-2 Desember 2015 (48 periode waktu kedepan) .....	74
4.3.3.1 Kecepatan.....	74
4.3.3.1.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	75
4.3.3.1.2 Estimasi.....	76
4.3.3.1.3 Evaluasi Model .....	79
4.3.3.1.4 <i>Forecasting</i> .....	83
4.3.3.2 Arah.....	85
4.3.3.2.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	85
4.3.3.2.2 Estimasi.....	87
4.3.3.2.3 Evaluasi Model .....	90
4.3.3.2.4 <i>Forecasting</i> .....	94
4.3.4 Data 2 pekan terakhir November 2015 meramalkan 1-2 Desember 2015 (48 periode waktu kedepan) .....	97
4.3.4.1 Kecepatan.....	97
4.3.4.1.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	97
4.3.4.1.2 Estimasi.....	99
4.3.4.1.3 Evaluasi Model .....	102
4.3.4.1.4 <i>Forecasting</i> .....	105
4.3.4.2 Arah.....	107
4.3.4.2.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	107
4.3.4.2.2 Estimasi.....	109
4.3.4.2.3 Evaluasi Model .....	112
4.3.4.2.4 <i>Forecasting</i> .....	115
4.3.5 Data sepekan terakhir November 2015 meramalkan 1-2 Desember 2015 (48 periode waktu kedepan) .....	117

4.3.5.1	Kecepatan.....	117
4.3.5.1.1	Tahap Analisis/identifikasi .....	117
4.3.5.1.2	Estimasi.....	119
4.3.5.1.3	Evaluasi Model .....	122
4.3.5.1.4	<i>Forecasting</i> .....	126
4.3.5.2	Arah.....	128
4.3.5.2.1	Tahap Analisis/identifikasi .....	128
4.3.5.2.2	Estimasi.....	130
4.3.5.2.3	Evaluasi Model .....	133
4.3.5.2.4	<i>Forecasting</i> .....	136
4.4	Pembahasan Uji coba .....	137
4.5	Aplikasi Model SARIMA pada PLTB Jeneponto dan PLTB Sidrap.....	138
4.5.1	PLTB Jeneponto.....	139
4.5.1.1	Kecepatan.....	139
4.5.1.1.1	Tahap Analisis/identifikasi .....	139
4.5.1.1.2	Estimasi.....	141
4.5.1.1.3	Evaluasi Model .....	144
4.5.1.1.4	<i>Forecasting</i> .....	145
4.5.1.2	Arah.....	145
4.5.1.2.1	Tahap Analisis/identifikasi .....	146
4.5.1.2.2	Estimasi.....	147
4.5.1.2.3	Evaluasi Model .....	150
4.5.1.2.4	<i>Forecasting</i> .....	151
4.5.1.3	Perhitungan daya Output.....	151
4.5.2	PLTB Sidrap .....	152
4.5.2.1	Kecepatan.....	152
4.5.2.1.1	Tahap Analisis/identifikasi .....	153
4.5.2.1.2	Estimasi.....	154
4.5.2.1.3	Evaluasi Model .....	157
4.5.2.1.4	<i>Forecasting</i> .....	158
4.5.2.2	Arah.....	158
4.5.2.2.1	Tahap Analisis/identifikasi .....	159
4.5.2.2.2	Estimasi.....	160

4.5.1.1.3 Evaluasi Model .....	163
4.5.1.1.4 <i>Forecasting</i> .....	164
4.5.2.3 Perhitungan daya Output.....	164
4.6 Aplikasi Model SARIMA pada PLTB Jenepono dengan melakukan pengelompokan data .....	165
4.6.1 Kecepatan.....	166
4.6.1.1 AM .....	166
4.6.1.1.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	167
4.6.1.1.2 Estimasi.....	168
4.6.1.1.3 Evaluasi Model .....	170
4.6.1.1.4 <i>Forecasting</i> .....	170
4.6.1.2 PM.....	170
4.6.1.2.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	171
4.6.1.2.2 Estimasi.....	172
4.6.1.2.3 Evaluasi Model .....	175
4.6.1.2.4 <i>Forecasting</i> .....	175
4.6.1.3 Hasil Ramalan Gabungan AM dan PM.....	176
4.6.2 Arah.....	176
4.6.2.1 AM .....	176
4.6.2.1.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	176
4.6.2.1.2 Estimasi.....	178
4.6.2.1.3 Evaluasi Model .....	180
4.6.2.1.4 <i>Forecasting</i> .....	180
4.6.2.2 PM.....	180
4.6.2.2.1 Tahap Analisis/identifikasi .....	180
4.6.2.2.2 Estimasi.....	182
4.6.2.2.3 Evaluasi Model .....	185
4.6.2.2.4 <i>Forecasting</i> .....	185
4.6.2.3 Hasil Ramalan Gabungan AM dan PM.....	186
BAB V PENUTUP .....	187
5.1 Kesimpulan .....	187
5.2 Saran .....	187
DAFTAR PUSTAKA .....	189

LAMPIRAN..... 190

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Skala Beaufort	13
Tabel 2. Tabel periode waktu	26
Tabel 3. Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box) yang Dimodifikasi tahap estimasi	35
Tabel 4. Estimasi Akhir Parameter tahap estimasi	35
Tabel 5. Estimasi di Setiap Iterasi tahap estimasi	36
Tabel 6. Jumlah Sisa Kuadrat	36
Tabel 7. Tabel Evaluasi Model	37
Tabel 8. Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box) yang Dimodifikasi model akhir	37
Tabel 9. Estimasi akhir parameter model akhir	37
Tabel 10. Estimasi di Setiap Iterasi model akhir	38
Tabel 11. Jumlah Sisa Kuadrat Model Akhir	38
Tabel 12. Hasil Forecasting	39
Tabel 13. Nilai MSE, RMSE, MAD, dan MAPE	40
Tabel 14. <i>Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap Estimasi	46
Tabel 15. Estimasi Akhir parameter tahap estimasi	47
Tabel 16. Estimasi di Setiap Iterasi tahap estimasi	47
Tabel 17. Uji Coba Model	48
Tabel 18. <i>Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi model akhir	49
Tabel 19. Estimasi Akhir Parameter model akhir	49
Tabel 20. Estimasi di Setiap Iterasi model akhir	49
Tabel 21. Jumlah Sisa Kuadrat model akhir	50
Tabel 22. Hasil Forecasting	50
Tabel 23. Nilai MSE, RMSE, MAD dan MAPE	52
Tabel 24. <i>Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap estimasi	57
Tabel 25. Estimasi Akhir Parameter tahap estimasi	58
Tabel 26. Estimasi di Setiap Iterasi tahap estimasi	58
Tabel 27. Jumlah Sisa Kuadrat tahap estimasi	58
Tabel 28. <i>Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi model akhir	60
Tabel 29. Estimasi Akhir Parameter model akhir	60
Tabel 30. Estimasi di Setiap Iterasi model akhir	60
Tabel 31. Jumlah Sisa Kuadrat model akhir	61
Tabel 32. Hasil Forecasting	61
Tabel 33. Nilai MSE, RMSE, MAD dan MAPE	63
Tabel 34. <i>Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap estimasi	68
Tabel 35. Estimasi Akhir Parameter tahap estimasi	69
Tabel 36. Estimasi di Setiap Iterasi	69
Tabel 37. Jumlah sisa kuadrat tahap estimasi	69
Tabel 38. Uji Coba model	70
Tabel 39. Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box) yang Dimodifikasi model akhir	71

Tabel 40. Estimasi Akhir Parameter model akhir	71
Tabel 41. Estimasi di setiap iterasi model akhir	71
Tabel 42. Jumlah sisa kuadrat model akhir	72
Tabel 43. Hasil Ramalan	72
Tabel 44. Nilai MSE, RMSE, MAD, dan MAPE	74
Tabel 45. Statistik <i>Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap estimasi	79
Tabel 46. Estimasi Akhir Parameter tahap estimasi	80
Tabel 47. Estimasi di Setiap Iterasi tahap estimasi	80
Tabel 48. Jumlah sisa kuadrat tahap estimasi	80
Tabel 49. Evaluasi Model	81
Tabel 50. Statistik <i>Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap akhir	82
Tabel 51. Estimasi Akhir Parameter tahap akhir	82
Tabel 52. Estimasi di Setiap Iterasi tahap akhir	82
Tabel 53. Hasil Ramalan	83
Tabel 54. Nilai MSE, RMSE, MAD, dan MAPE	85
Tabel 55. Statistik <i>Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap estimasi	90
Tabel 56. Estimasi Parameter Akhir tahap estimasi	91
Tabel 57. Estimasi di Setiap Iterasi tahap estimasi	91
Tabel 58. Jumlah Sisa Kuadrat tahap estimasi	91
Tabel 59. Evaluasi Model	92
Tabel 60. Statistik <i>Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap akhir	93
Tabel 61. Estimasi Akhir Parameter tahap akhir	93
Tabel 62. Estimasi di Setiap Iterasi tahap akhir	93
Tabel 63. Jumlah sisa kuadrat tahap akhir	94
Tabel 64. Hasil Ramalan	95
Tabel 65. Nilai MSE, RMSE, MAD dan MAPE	96
Tabel 66. Statistik <i>Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap estimasi	102
Tabel 67. Estimasi Akhir Parameter tahap estimasi	103
Tabel 68. Estimasi di Setiap Iterasi tahap estimasi	103
Tabel 69. Jumlah sisa kuadrat tahap estimasi	104
Tabel 70. Hasil Ramalan	105
Tabel 71. Nilai MSE, RMSE, MAD dan MAPE	107
Tabel 72. Statistik <i>Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap estimasi	112
Tabel 73. Estimasi Akhir Parameter tahap estimasi	113
Tabel 74. Estimasi di Setiap Iterasi tahap estimasi	113
Tabel 75. Jumlah Sisa Kuadrat tahap estimasi	113
Tabel 76. Evaluasi model	114
Tabel 77. Hasil Ramalan	115
Tabel 78. Nilai MSE, RMSE, MAD, dan MAPE	116



Tabel 79. <i>Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap estimasi	122
Tabel 80. Estimasi Akhir Parameter tahap estimasi	123
Tabel 81. Estimasi di Setiap Iterasi tahap estimasi	123
Tabel 82. Jumlah Sisa Kuadrat tahap estimasi	123
Tabel 83. Evaluasi Model	124
Tabel 84. <i>Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap akhir	124
Tabel 85. Estimasi Akhir Parameter tahap Akhir	125
Tabel 86. Estimasi di Setiap Iterasi tahap akhir	125
Tabel 87. Jumlah Sisa Kuadrat tahap akhir	126
Tabel 88. Hasil Ramalan	126
Tabel 89. <i>Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap estimasi	134
Tabel 90. Estimasi Akhir Parameter tahap estimasi	134
Tabel 91. Estimasi di Setiap Iterasi tahap estimasi	134
Tabel 92. Jumlah Sisa Kuadrat tahap estimasi	134
Tabel 93. Evaluasi Model	135
Tabel 94. <i>Statistik Chi-Square Box-Pierce (Ljung-Box)</i> yang Dimodifikasi tahap akhir	135
Tabel 95. Estimasi Akhir Parameter tahap akhir	135
Tabel 96. Hasil Ramalan	136
Tabel 97. Data Arah Angin 2015	137
Tabel 98. Evaluasi model Kecepatan PLTB Tolo	144
Tabel 99. Evaluasi Model Arah PLTB Tolo	150
Tabel 100. Hasil Ramalan Arah Angin PLTB Tolo	151
Tabel 101. Perhitungan daya output ramalan PLTB Tolo	152
Tabel 102. Evaluasi model Kecepatan Angin PLTB Sidrap	157
Tabel 103. Hasil Ramalan Kecepatan Angin PLTB Sidrap	158
Tabel 104. Evaluasi Model Arah Angin PLTB Sidrap	163
Tabel 105. Hasil Ramalan Arah Angin PLTB Sidrap	164
Tabel 106. Perhitungan Daya Output PLTB Sidrap	164
Tabel 107. Pengelompokan Data Kecepatan dan Arah Angin berdasarkan Format waktu AM-PM	166
Tabel 108. Evaluasi Model	170
Tabel 109. Hasil Forecasting	170
Tabel 110. Evaluasi Model	175
Tabel 111. Hasil Forecasting	175
Tabel 112. Hasil Ramalan Gabungan Kecepatan	176
Tabel 113. Evaluasi Model	180
Tabel 114. Hasil Forecasting	180
Tabel 115. Evaluasi Model	185
Tabel 116. Hasil Forecasting	185
Tabel 117. Hasil Ramalan Gabungan	186

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Turbin angin sumbu horizontal	8
Gambar 2. Komponen Turbin Angin	8
Gambar 3. Hubungan daya output terhadap kecepatan angin	10
Gambar 4. Hubungan kecepatan rotor terhadap kecepatan angin	11
Gambar 5. Hubungan efisiensi terhadap output	11
Gambar 6. Langkah dasar Model ARIMA	23
Gambar 7. Lokasi PLTB Jeneponto	25
Gambar 8. Potensi Angin Jeneponto	26
Gambar 9. Grafik kecepatan angin 2015 (bulan 1-11)	27
Gambar 10. Grafik arah angin 2015 (bulan 1-11)	27
Gambar 11. Grafik Kecepatan angin bulan November 2015	28
Gambar 12. Time series Plot kecepatan angin november 2015	29
Gambar 13. Trend Analysis kecepatan angin november 2015	30
Gambar 14. Augmented Dickey Fuller Test	31
Gambar 15. ACF non-seasonal data kecepatan angin november 2015	32
Gambar 16. PACF non-seasonal data kecepatan angin November 2015	33
Gambar 17. ACF seasonal data kecepatan angin november 2015	34
Gambar 18. PACF seasonal data kecepatan angin November 2015	34
Gambar 19. Grafik Arah angin bulan November 2015	41
Gambar 20. Time series Plot arah angin November 2015	41
Gambar 21. Trend Analysis arah angin november 2015	42
Gambar 22. Augmented Dickey Fuller Test	43
Gambar 23. ACF non-seasonal data arah angin november 2015	44
Gambar 24. PACF non-seasonal data arah angin november 2015	44
Gambar 25. ACF seasonal data arah angin november 2015	45
Gambar 26. PACF seasonal data arah angin november 2015	46
Gambar 27. Grafik Kecepatan angin bulan September- November 2015	52
Gambar 28. Time series Plot arah angin September-November 2015	53
Gambar 29. Trend Analysis Plot arah angin September-November 2015	53
Gambar 30. Augmented Dickey Fuller Test	54
Gambar 31. ACF non-seasonal data kecepatan angin September-November 2015	55
Gambar 32. PACF non-seasonal data kecepatan angin September-November 2015	55
Gambar 33. ACF seasonal data kecepatan angin September-November 2015	56
Gambar 34. PACF Seasonal data kecepatan angin September-November 2015	57
Gambar 35. Grafik Arah angin bulan September-November 2015	63
Gambar 36. Time series Plot arah angin September-November 2015	64
Gambar 37. Trend Analysis arah angin September-November 2015	64
Gambar 38. Augmented Dickey Fuller	65
Gambar 39. ACF non-seasonal data arah angin September-November 2015	66
Gambar 40. PACF non-seasonal data arah angin September-November 2015	66
Gambar 41. ACF seasonal data arah angin September-November 2015	67
Gambar 42. PACF seasonal data arah angin September-November 2015	68
Gambar 43. Grafik Kecepatan angin bulan Januari-November 2015	74

Gambar 44. Time series Plot arah angin Januari-November 2015	75
Gambar 45. Trend Analysis Plot arah angin Januari-November 2015	76
Gambar 46. ACF non-seasonal data kecepatan angin Januari-November 2015	77
Gambar 47. PACF non-seasonal data kecepatan angin Januari-November 2015	77
Gambar 48. ACF seasonal data kecepatan angin Januari-November 2015	78
Gambar 49. PACF seasonal data kecepatan angin Januari-November 2015	79
Gambar 50. Grafik Data Arah Angin Januari-November 2015	85
Gambar 51. Time series plot data arah angin Januari-November 2015	86
Gambar 52. Trend Analysis Plot data arah angin Januari-November 2015	87
Gambar 53. ACF non-seasonal Arah angin Januari-November 2015	88
Gambar 54. PACF non-seasonal Arah angin Januari-November 2015	88
Gambar 55. ACF seasonal Arah angin Januari-November 2015	89
Gambar 56. PACF Seasonal Arah angin Januari-November 2015	90
Gambar 57. Data Kecepatan Angin 2 Pekan Terakhir November 2015	97
Gambar 58. Plot Time Series Data Kecepatan Angin	98
Gambar 59. Trend Analysis Plot Data Kecepatan Angin	99
Gambar 60. ACF Non-Seasonal Data Kecepatan Angin	100
Gambar 61. PACF Non-Seasonal Data Kecepatan Angin	100
Gambar 62. ACF Seasonal Data Kecepatan Angin	101
Gambar 63. PACF Seasonal Data kecepatan Angin	102
Gambar 64. Grafik Arah Angin Bulan Dua Pekan Terakhir November 2015	107
Gambar 65. Time series Plot data arah 2 pekan terakhir	108
Gambar 66. Trend Analysis Plot arah dua pekan terakhir	109
Gambar 67. ACF Non-seasonal	110
Gambar 68. PACF Non-seasonal	110
Gambar 69. ACF seasonal	111
Gambar 70. PACF seasonal	112
Gambar 71. Data Arah Angin per jam sepekan November 2015	117
Gambar 72. Plot Time Series Data Kecepatan Angin	118
Gambar 73. Trend Analysis Plot arah dua pekan terakhir	119
Gambar 74. ACF Non-seasonal	120
Gambar 75. PACF Non-seasonal	120
Gambar 76. ACF Seasonal	121
Gambar 77. PACF Seasonal	122
Gambar 78. Grafik Arah Angin Bulan Sepekan Terakhir November 2015	128
Gambar 79. Timeseries Plot arah	129
Gambar 80. Trend Analysis Plot Arah	130
Gambar 81. ACF Seasonal	131
Gambar 82. PACF Non-seasonal	131
Gambar 83. ACF Seasonal	132
Gambar 84. PACF Seasonal	133
Gambar 85. Data kecepatan Angin PLTB Tolo	139
Gambar 86. Plot Time Series Kecepatan angin PLTB Tolo	140
Gambar 87. Trend Analysis Plot for kecepatan PLTB Tolo	141

Gambar 88. ACF dan PACF Kecepatan PLTB Tolo Non-seasonal	142
Gambar 89. ACF dan PACF Kecepatan PLTB Tolo	144
Gambar 90. Data Arah Angin PLTB Tolo	146
Gambar 91. Plot Time Series Arah PLTB Tolo	146
Gambar 92. Trend Analysis Plot Arah PLTB Tolo	147
Gambar 93. ACF dan PACF Arah PLTB Tolo Non-seasonal	148
Gambar 94. ACF dan PACF Arah PLTB Tolo Seasonal	150
Gambar 95. Data Kecepatan Angin PLTB Sidrap	153
Gambar 96. Plot Time Series Kecepatan Angin PLTB Sidrap	153
Gambar 97. Plot Time series analysis Kecepatan Angin PLTB Sidrap	154
Gambar 98. ACF dan PACF Non-seasonal Kecepatan Angin PLTB Sidrap	155
Gambar 99. ACF dan PACF Seasonal Kecepatan Angin PLTB Sidrap	157
Gambar 100. Data Arah Angin PLTB Sidrap	159
Gambar 101. Plot Time series Arah Angin PLTB Sidrap	159
Gambar 102. Trend Analysis Data Arah Angin PLTB Sidrap	160
Gambar 103. ACF dan PACF Seasonal Arah Angin PLTB Sidrap	161
Gambar 104. ACF dan PACF Seasonal Data Arah Angin PLTB Sidrap	163
Gambar 105. Plot Time Series	167
Gambar 106. Trend Analysis Plot	168
Gambar 107. Grafik ACF dan PACF non-seasonal	169
Gambar 108. Time Series Plot	171
Gambar 109. Trend Analysis Plot	172
Gambar 110. Grafik ACF dan PACF non-seasonal	173
Gambar 111. Grafik ACF dan PACF Seasonal	175
Gambar 112. Plot Time Series	177
Gambar 113. Trend Analysis Plot	178
Gambar 114. ACF dan PACF non-seasonal	179
Gambar 115. Time series analysis plot	181
Gambar 116. Trend Analysis Plot	182
Gambar 117. ACF dan PACF non-seasonal	183
Gambar 118. Grafik ACF dan PACF Seasonal	185

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 1. Persamaan energi yang mengenai sudu turbin angin	6
Persamaan 2. Daya adalah turunan dari energi terhadap waktu	6
Persamaan 3. Bentuk sederhana Persamaan 2	6
Persamaan 4. Tip Speed Ratio	7
Persamaan 5. Bentuk umum model autoregressive dengan ordo $p$ (AR( $p$ ))	17
Persamaan 6. Bentuk umum model moving average ordo $q$ (MA( $q$ ))	17
Persamaan 7. Bentuk Umum ARMA	18
Persamaan 8. Bentuk Umum ARIMA	18
Persamaan 9. Notasi Umum SARIMA	18
Persamaan 10. Uji Q Box dan Pierce	19
Persamaan 11. Uji Ljung-Box	20
Persamaan 12. Standard error estimate	20
Persamaan 13. Nilai rata-rata persentase kesalahan peramalan	21

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Gambar Uji Metode SARIMA	190
Lampiran 2. Perbandingan ARIMA dan SARIMA	192
Lampiran 3. Hasil Ramalan tanpa dan dengan pengelompokan	195

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi listrik merupakan salah satu sumber daya penting dalam kehidupan manusia. Semakin maju peradaban manusia maka ketergantungan terhadap kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Di Indonesia, permasalahan peningkatan kebutuhan energi berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil.

Produksi dan konsumsi energi minyak di Indonesia semakin tidak seimbang dimana semakin banyak konsumsi daripada produksi. Konsumsi minyak di Indonesia terus mengalami kenaikan antara tahun 2000 sampai tahun 2018. Sementara itu, produksi minyak terus mengalami penurunan antara tahun 2000 sampai 2018. Ketidakseimbangan produksi dan konsumsi minyak dimana minyak sebagai sumber utama energi Indonesia dapat mengancam ketersediaan energi di Indonesia.

Energi angin merupakan salah satu potensi energi terbarukan yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi listrik domestik, khususnya wilayah terpencil. Pemanfaatan energi angin merupakan hal populer pada beberapa negara tertentu seperti Jerman; Cina; Amerika Serikat; Spanyol; dan India. Alasan mengapa negara tersebut memanfaatkan energi angin karena letak geografis yang mendukung serta garis pantai yang luas. Salah satu pemanfaatannya, untuk menghasilkan energi listrik dengan bantuan turbin angin. Pembangkit energi angin yang biasa disebut Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) ini bebas polusi dan sumber energinya yaitu angin tersedia di mana pun, maka pembangkit ini dapat menjawab masalah lingkungan hidup dan ketersediaan sumber energi. Prospek pengembangan teknologi ini masih sangat tinggi.

Salah satu kendala dari pengoperasian PLTB adalah perubahan kecepatan dan arah angin yang tidak menentu. Sehingga menjadi permasalahan tersendiri

dalam pengoprasiaanya. Dengan Peramalan yang merupakan salah satu metode statistik, berperan penting dalam pengambilan keputusan. Peramalan berfungsi untuk memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa depan berdasarkan data masa lalu. Salah satu metode yang digunakan dalam peramalan adalah metode *time series*. Pendugaan masa depan dilakukan berdasarkan informasi masa lalu dari suatu variabel atau kesalahan masa lalu ini dinamakan deret berkala atau *time series* [10].

Hal inilah yang menjadi topik penelitian yaitu mengenai estimasi variabel yang menjadi dasar pengontrolan turbin angin berupa kecepatan dan arah 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 **“Estimasi Parameter Kecepatan dan Arah Angin Untuk Aplikasi Turbin Angin Dengan Metode SARIMA”**.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Setelah mengetahui latar belakang di atas, adapun rumusan masalah dalam penyusunan tugas akhir ini adalah bagaimana Pengaplikasian metode SARIMA dalam mengestimasi Kecepatan dan Arah Angin?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui efektivitas penerapan metode SARIMA dalam mengestimasi variabel input turbin angin.
2. Bagaimana Aplikasi metode SARIMA pada turbin angin?

## **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini membatasi masalah guna mengoptimalkan hasil penelitian. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah hanya sampai pada pengujian efektivitas metode dalam meramalkan Kecepatan dan arah angin. Adapun data kecepatan angin yang digunakan hanya sekedar data yang digunakan untuk mensimulasikan peramalan angin.



## **1.5 Metode Penelitian**

Metode yang akan dilakukan untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini yaitu:

### **1. Studi Literatur**

Studi literatur adalah kajian penulis atas referensi-referensi yang ada baik berupa jurnal, buku, karya-karya ilmiah, internet, maupun melalui media massa yang berhubungan dengan penulisan laporan penelitian ini.

### **2. Pengumpulan Data**

Berupa pengumpulan data yang penting dan untuk diolah dalam penelitian ini seperti data kecepatan dan arah angin pada *EMD Indonesia*.

### **3. Perancangan Metode**

Perancangan metode *Time series* dengan membuat tabel pada program statistika yang sesuai dengan perumusan metode *Time series*.

### **4. Pengujian Metode**

Kontrol *on/off spindle* sehingga dapat diamati prediksi kecepatan dan arah angin sesuai dengan data masukan atau data *time series*.

## **1.6 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.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Forecasting**

Peramalan (*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 subjektif, atau dengan menggunakan kombinasi model matematis yang di sesuaikan dengan pertimbangan yang baik [2].

Peramalan daya dibidang tenaga listrik merupakan komponen penting untuk sistem manajemen energi listrik. Peramalan yang tepat membantu meningkatkan keandalan sistem tenaga, mengurangi biaya pembangkitan, dan penjadwalan rencana pemeliharaan [3].

#### **2.2 Turbin Angin**

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk menggerakkan generator sebagai pembangkit tenaga listrik. Turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan adanya prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat dipengaruhi oleh angin [4].

Prinsip dasar bahwa sebuah turbin angin dapat berputar pada porosnya adalah karena adanya vektor dari gaya *lift* dan gaya *drag* yang dihasilkan akibat bentuk aerodinamis dari penampang *blade* tersebut. Ketika sebuah *airfoil* terkena angin dari arah depan, maka akan menghasilkan vektor gaya *lift* (L) dan *drag* (D). Gaya *lift* dan gaya *drag* ini perubahannya dipengaruhi langsung oleh bentuk geometri *blade*, kecepatan dan arah angin terhadap garis utama *blade*. Akibat dari perubahan gaya *lift* dan *drag* [5].

Kecepatan sudut dan torsi poros akan berubah pula. *Blade Pitch Angle Control System* adalah salah satu mekanisme kontrol pada turbin angin yang bekerja dengan mengontrol aerodinamis dari *blade* melalui kontrol kemiringan sudut *blade* terhadap arah tiupan angin (*angle of attack*). Perubahan sudut *blade* ini akan mempengaruhi kecepatan sudut (RPM) dari poros karena adanya perubahan jumlah daya tiup angin yang diterima oleh *blade* yang dikonversi menjadi kecepatan putar poros [5].

Daya dari angin yang dapat ditangkap oleh sebuah *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dapat diturunkan dari persamaan energi kinetik angin yang bergerak dengan kecepatan tertentu ke arah x. adapun persamaan energi yang mengenai sudu turbin angin dituliskan sesuai dengan persamaan (1) adalah sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{2}mv_w^2 = \frac{1}{2}(\rho_{air}A_r x)u_w^2 \quad (1)$$

Diketahui bahwa daya adalah turunan dari energi terhadap waktu, maka dituliskan dengan persamaan (2) adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{dU}{dt} = \frac{1}{2}\rho_{air}A_r v_w^2 \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2}\rho_{air}A_r v_w^3 \quad (2)$$

Selain pada kecepatan angin, power juga tergantung pada  $C_p$  (*Coeffisien Power*). Semakin besar nilai  $C_p$  maka akan semakin besar tenaga yang dapat ditangkap oleh turbin angin.  $C_p$  sendiri adalah merupakan fungsi dari  $\lambda$  (*tip speed ratio*) dan  $\theta$  (*pitch angle*). Jadi persamaan (2) dapat ditulis kembali kedalam bentuk yang lebih sederhana seperti ditunjukkan pada persamaaan (3):

$$P = \frac{1}{2}\rho_{air}C_p(\lambda, \theta)A_r v_w^3 \quad (3)$$

Sedangkan  $\lambda$  sendiri dirumuskan sbagai berikut :

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (4)$$

Di mana :

$\lambda = Tip\ speed\ ratio$

$\omega =$  Kecepatan sudut (rps)

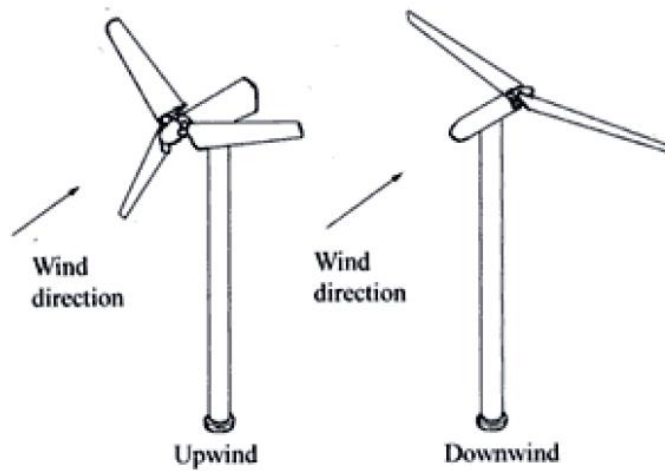
$v =$  kecepatan angin (m/s)

$R =$  Jari-jari *rotor blade* (m)

Jika diasumsikan  $\omega$  adalah konstan sesuai *set point* yang diinginkan dan  $R$  *blade* adalah konstan, maka  $C_p$  hanya akan bergantung pada  $v$  (kecepatan angin) dan  $\theta$  (pitch sinilah kemudian  $\theta$  dijadikan variabel yang dikontrol sebagai kompensasi perubahan kecepatan angin ( $v$ ) untuk mendapatkan tenaga yang diinginkan. Sedangkan untuk mendapatkan  $\theta$  sesuai dengan yang dibutuhkan dilakukan pengambilan data dengan menggunakan kecepatan angin ( $v$ ) yang ditentukan [5].

### 2.3 Turbin Angin Sumbu Horizontal

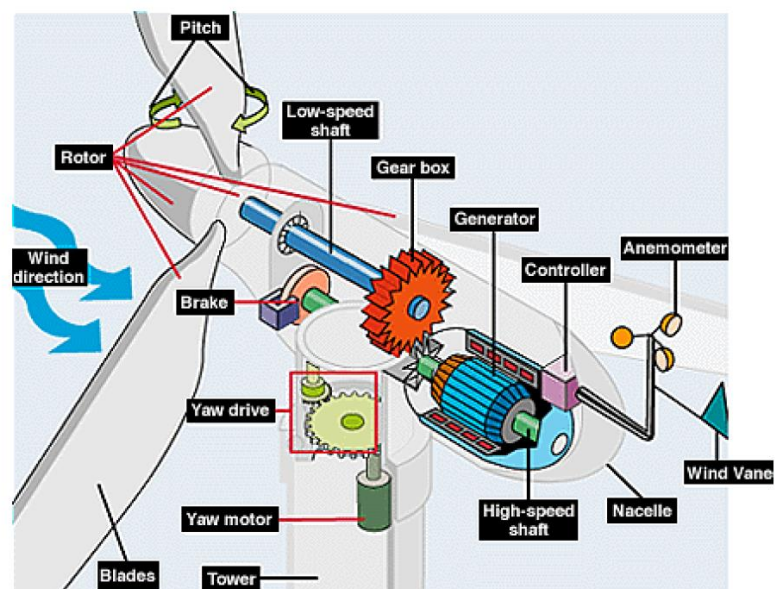
Turbin angin sumbu *Horizontal* (TASH) memiliki poros *rotor* utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah ekor (*tail*) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah *servo* motor. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Turbin angin sumbu *Horizontal* dibedakan juga terhadap datangnya arah angin terhadap *rotor* turbin, yaitu :



**Gambar 1.** Turbin angin sumbu horizontal

1. *Upwind*, apabila turbin angin diletakan menghadap arah angin (*upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin).
2. *Downwind*, apabila turbin angin diposisikan membelakangi arah angin.

## 2.4 Komponen Turbin Angin



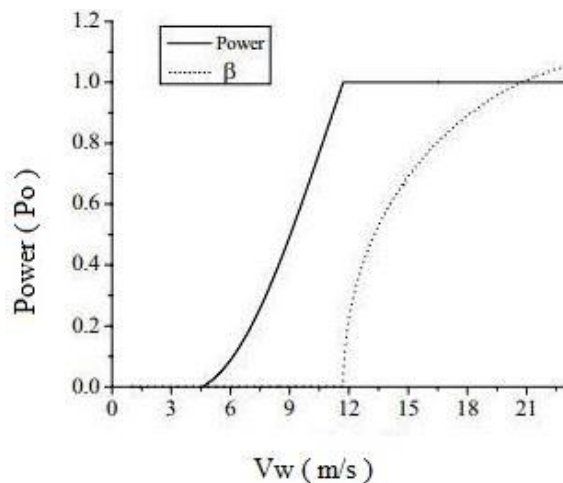
**Gambar 2.** Komponen Turbin Angin

1. *Anemometer*: Mengukur kecepatan angin dan mengirim data angin ke Alat Pengontrol.
2. *Blades* (Bilah Kipas): Kebanyakan turbin angin mempunyai 3 bilah kipas. Angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar.
3. *Brake* (Rem): Suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis dengan bantuan tenaga listrik atau hidrolik untuk menghentikan *rotor* atau saat keadaan darurat.
4. *Gearbox* (Roda Gigi): Roda gigi menaikkan putaran dari 100 rpm menjadi sekitar 700 rpm. Ini merupakan tingkat putaran standar yang disyaratkan untuk memutar generator listrik.
5. *Generator*: Generator pembangkit listrik, biasanya sekarang disebut alternator arus bolak-balik.
6. *High-speed shaft* (Poros Putaran Tinggi): Berfungsi untuk menggerakkan generator.
7. *Low-speed shaft* (Poros Putaran Rendah): Poros turbin yang berputar kira-kira 30-100 rpm.
8. *Nacelle* (Rumah Mesin): Rumah mesin ini terletak di atas menara . Di dalamnya berisi *gearbox*, poros putaran tinggi / rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.
9. *Pitch* (Sudut Bilah Kipas): Bilah kipas dapat diatur sudutnya sesuai dengan kecepatan *rotor* yang dikehendaki. Tergantung kondisi angin yang terlalu rendah atau terlalu kencang.
10. *Rotor* : Bilah kipas bersama porosnya dinamakan *rotor*.
11. *Tower* (Menara): Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, ataupun rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah dengan seiring dengan bertambahnya ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga angin yang didapat.
12. *Wind direction* (Arah Angin): Adalah turbin yang menghadap angin. Desain turbin lain ada yang mendapat hembusan angin dari belakang.
13. *Wind vane* (Tebeng Angin): Mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.

14. *Yaw drive* (Penggerak Arah): Penggerak arah memutar turbin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin. Untuk desain turbin yang mendapat hembusan angin dari belakang tak memerlukan alat ini.
15. *Yaw motor* (Motor Penggerak Arah): Motor listrik yang menggerakkan *yaw drive* [6].

## 2.5 Karakteristik Turbin Angin

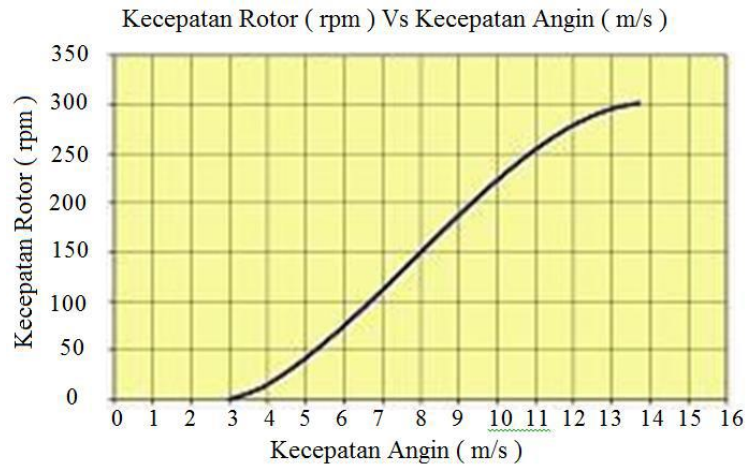
Turbin angin sebagai salah satu alat penghasil energi memiliki beberapa karakteristik yang perlu kita ketahui diantaranya sebagai berikut.



**Gambar 3.** Hubungan daya output terhadap kecepatan angin

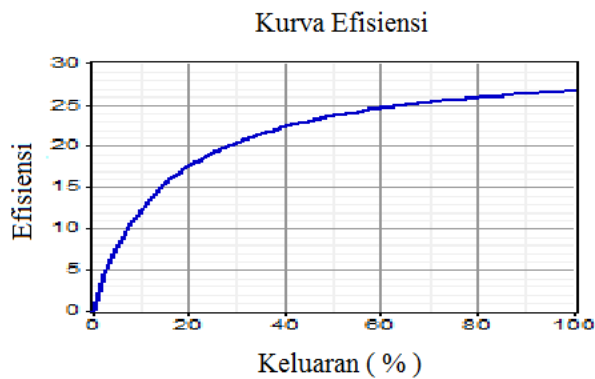
Dari persamaan  $P_0 = \frac{1}{2} \rho v^3 A$  dan kurva di atas kita bisa mengetahui bahwa semakin cepat kecepatan angin maka akan semakin besar daya yang dihasilkan, akan tetapi terjadi kejenuhan pada kecepatan angin tertentu sehingga daya tidak bertambah melainkan konstan.





**Gambar 4.** Hubungan kecepatan rotor terhadap kecepatan angin

Semakin cepat kecepatan angin maka akan semakin besar putaran rotor yang dihasilkan, dan hal tersebut dapat terlihat dari gambar yang menunjukkan hubungan antara kecepatan putaran rotor terhadap kecepatan angin. Jadi dapat kita ketahui apabila menginginkan kecepatan rotor yang lebih tinggi caranya adalah dengan meningkatkan kecepatan angin yang digunakan untuk memutar turbin angin.



**Gambar 5.** Hubungan efisiensi terhadap output

Untuk perbandingan antara efisiensi terhadap *output* pada saat *output* sekitar 0% hingga 40% dari kemampuan turbin atau generator peningkatan efisiensi sangat tinggi, namun pada saat 50% hingga 100% ada peningkatan efisiensi namun tidak signifikan namun tidak terlalu signifikan.

## 2.6 Mekanisme Turbin Angin

Pembahasan mekanisme pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu:

### 2.6.1 Mekanisme *Pitch Blade Control*

*Pitch Blade Control* adalah teknologi yang digunakan untuk mengoperasikan dan mengontrol sudut pisau dalam turbin angin. Pengontrol utama turbin menghitung sudut kemiringan yang dibutuhkan dari satu set kondisi, seperti kecepatan angin, kecepatan generator dan produksi daya. Sudut kemiringan yang dibutuhkan ditransfer ke sistem *Pitch Blade Control* sebagai set point untuk membuat aktuator menggerakkan *blade* ke sudut yang diperlukan.

*Pitch Blade Control* merupakan metode yang dioperasikan ketika kecepatan angin diluar dari nilai rata-rata, dalam situasi ini torsi elektromagnetik tidak cukup untuk mengontrol kecepatan rotor dengan demikian generator akan *overload*. Untuk menghindari hal ini, konversi daya turbin angin harus dibatasidani ini dapat dilakukan dengan mengurangi koefisien daya ( $C_p$ ) dari *wind turbine*. Koefisien daya dapat dimanipulasi dengan memvariasikan blade pitch angel.

Baling-baling pada turbin angin yang memiliki pitch control dapat berubah posisi menjauhi atau mendekati arah datangnya angin saat daya keluaran sangat tinggi ataupun sangat rendah, berurutan. *Pitch control* bekerja relatif cepat dan dapat digunakan untuk membatasi kecepatan rotor dengan mengatur aerodinamika aliran daya. Pada saat kecepatan angin rendah atau sedang, sudut baling-baling diatur agar turbin angin bekerja pada kondisi optimumnya.

Sedangkan saat kecepatan angin sedang tinggi, sudut baling-baling akan dinaikkan agar daya aerodinamika berkurang dan kecepatan rotor bertahan pada kecepatan rating. Manfaat yang dapat diambil dengan menggunakan kontrol sudut baling-baling ini adalah peningkatan daya tangkapan turbin angin. Dengan demikian, maka efisiensi kerja turbin angin dapat ditingkatkan dan menghasilkan energi listrik yang lebih besar. Penambahan kontrol sudut ini juga dapat menghindari daya masukan dari angin yang melebihi kemampuan kerja dari turbin angin dimana hal tersebut dapat menyebabkan perangkat mekanik dan elektronik pada turbin mengalami beban berlebih yang menyebabkan kerusakan.

Aplikasi kontrol ini memungkinkan energi yang ditangkap turbin menjadi maksimal saat kecepatan angin rendah dengan memanfaatkan efek tip speed ratio yang konstan akibat penambahan kontrol tersebut. Pada saat kecepatan angin rendah, maka pitch angle akan diatur pada besaran yang konstan yaitu pada pitch angle yang menghasilkan daya terbesar. Sedangkan pada saat kecepatan angin tinggi, maka torsi dan daya akan dibatasi pada bagian yang memiliki besaran konstan [7].

### 2.6.2 Mekanisme *Yaw drive Control*

Penggerak *yaw* merupakan komponen penting dari sistem *yaw* turbin angin sumbu *horizontal*. Untuk memastikan turbin angin menghasilkan jumlah energi listrik maksimal setiap saat, penggerak *yaw* digunakan untuk menjaga *rotor* menghadap angin saat arah angin berubah. Ini hanya berlaku untuk turbin angin dengan *rotor* sumbu *horizontal*. Turbin angin dikatakan memiliki kesalahan *yaw* jika *rotor* tidak sejajar dengan angin.

### 2.6.3 Skala Beaufort

Skala Beaufort adalah ukuran empiris yang berkaitan dengan kecepatan angin untuk pengamatan kondisi di darat atau di laut. Skala ini ditemukan oleh Francis Beaufort pada tahun 1805. *Beaufort* mengukur kecepatan angin dengan menggambarkan pengaruhnya pada kecepatan kapal dan gelombang air laut. Skala Beaufort menggunakan angka dan simbol. Semakin besar angka skala *Beaufort*, maka semakin kencang angin berhembus dan bahkan bisa semakin merusak. Skala Beaufort dimulai dari angka 1 untuk hembusan angin yang paling tenang sampai angka 12 untuk hembusan angin yang dapat menyebabkan kehancuran. Skala Beaufort tetap berguna dan dipakai sampai sekarang [8].

**Tabel 1.** Skala Beaufort

Nomor Beaufort	Kekuatan angin	Kecepatan rata-rata (km/jam)
0	Tenang	<1
1	Sedikit tenang	1-5

2	Sedikit hembusan angin	6-11
3	Hembusan angin pelan	12-19
4	Hembusan angin sedang	20-29
5	Hembusan angin sejuk	30-39
6	Hembusan angin kuat	40-50
7	Mendekati kencang	51-61
8	Kencang	62-74
9	Kencang sekali	75-87
10	Badai	88-101
11	Badai dahsyat	102-117
12	Badai topan	>118

Sumber: Wikipedia

Angin dengan kecepatan 4 m/s dianggap sebagai kecepatan minimal angin agar dapat memutar turbin dengan kapasitas pembangkitan listrik yang kecil, sedangkan 25 m/s merupakan kecepatan maksimum angin yang tidak mengganggu kekuatan struktur turbin angin.

## **2.7 ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving average*)**

### **2.7.1 Prinsip Dasar dan Tujuan Analisis**

ARIMA sering juga disebut metode runtun waktu *Box-Jenkins*. ARIMA sangat baik ketepatannya untuk peramalan jangka pendek, sedangkan untuk peramalan jangka panjang ketepatan peramalannya kurang baik. Biasanya akan cenderung flat (mendatar/konstan) untuk periode yang cukup panjang. Model *Autoregressive Integrated Moving average* (ARIMA) adalah model yang secara penuh mengabaikan independen variabel dalam membuat peramalan. ARIMA menggunakan nilai masa lalu dan sekarang dari variabel dependen untuk menghasilkan peramalan jangka pendek yang akurat. ARIMA cocok jika observasi dari deret waktu (*time series*) secara statistik berhubungan satu sama lain (*dependent*).

Tujuan model ini adalah untuk menentukan hubungan statistik yang baik antar variabel yang diramal dengan nilai historis variabel tersebut sehingga peramalan dapat dilakukan dengan model tersebut [9].

#### 2.7.2 Format Data Dasar dan Program Komputer yang Digunakan

ARIMA hanya menggunakan suatu variabel (*univariate*) deret waktu. Misalnya: variabel IHSG. Program komputer yang dapat digunakan adalah EViews, Minitab, SPSS, dll.

#### 2.7.3 Model Matematis dan Algoritma Pokok Analisis

Model ARIMA terdiri dari tiga langkah dasar, yaitu tahap identifikasi, tahap penaksiran dan pengujian, dan pemeriksaan diagnostik. Selanjutnya model ARIMA dapat digunakan untuk melakukan peramalan jika model yang diperoleh memadai.

#### 2.7.4 *Stasioneritas* dan *Nonstasioneritas*

Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa kebanyakan deret berkala bersifat *nonstasioner* dan bahwa aspek-aspek AR dan MA dari model ARIMA hanya berkenaan dengan deret berkala yang *stasioner*.

*Stasioneritas* berarti tidak terdapat pertumbuhan atau penurunan pada data. Data secara kasarnya harus horizontal sepanjang sumbu waktu. Dengan kata lain, fluktuasi data berada di sekitar suatu nilai rata-rata yang konstan, tidak tergantung pada waktu dan varians dari fluktuasi tersebut pada pokoknya tetap konstan setiap waktu.

Suatu deret waktu yang tidak *stasioner* harus diubah menjadi data *stasioner* dengan melakukan *differencing*. Yang dimaksud dengan *differencing* adalah menghitung perubahan atau selisih nilai observasi. Nilai selisih yang diperoleh dicek lagi apakah *stasioner* atau tidak. Jika belum *stasioner* maka dilakukan *differencing* lagi. Jika varians tidak *stasioner*, maka dilakukan transformasi logaritma.

### 2.7.5 Klasifikasi model ARIMA

Model *Box-Jenkins* (ARIMA) dibagi kedalam 3 kelompok, yaitu: model *autoregressive* (AR), *moving average* (MA), dan model campuran ARIMA (*autoregressive moving average*) yang mempunyai karakteristik dari dua model pertama.

#### 1) *Autoregressive Model* (AR)

Bentuk umum model *autoregressive* dengan ordo  $p$  (AR( $p$ )) atau model ARIMA ( $p,0,0$ ) dinyatakan sebagai berikut:

$$X_t = \mu' + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + e_t \quad (5)$$

Dimana :

$\mu'$  = suatu konstanta

$\phi_p$  = parameter autoregresif ke  $-p$

$e_t$  = nilai kesalahan pada saat  $t$

#### 2) *Moving average Model* (MA)

Bentuk umum model *moving average* ordo  $q$  (MA( $q$ )) atau ARIMA ( $0,0,q$ ) dinyatakan sebagai berikut:

$$X_t = \mu' + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-k} \quad (6)$$

dimana :

$\mu'$  = suatu konstanta

$\theta_1$  sampai  $\theta_q$  adalah parameter  $-$  parameter *moving average*

$e_{t-k}$  = nilai kesalahan pada saat  $t - k$

#### 3) Model campuran

##### a. Proses ARMA

Proses ARMA Model umum untuk campuran proses AR(1) murni dan MA(1) murni, misal ARIMA (1,0,1) dinyatakan sebagai berikut:

$$X_t = \mu' + \phi_1 X_{t-1} + e_t - \theta_1 e_{t-1} \quad (7)$$

atau

$$(1 - \phi_1 B)X_t = \mu' + (1 - \theta_1 B)e_t$$

AR(1)                  MA(1)

b. Proses ARIMA

Apabila *nonstasioneritas* ditambahkan pada campuran proses ARMA, maka model umum ARIMA (p,d,q) terpenuhi. Persamaan untuk kasus sederhana ARIMA (1,1,1) adalah sebagai berikut:

$$(1 - B)(1 - \theta_1 B)X_t = \mu' + (1 - \theta_1 B)e_t \quad (8)$$

### 2.7.6 Musiman dan Model SARIMA

Musiman didefinisikan sebagai suatu pola yang berulang-ulang dalam selang waktu yang tetap. Untuk data yang *stasioner*, faktor musiman dapat ditentukan dengan mengidentifikasi koefisien autokorelasi pada dua atau tiga *time-lag* yang berbeda nyata dari nol. Autokorelasi yang secara signifikan berbeda dari nol menyatakan adanya suatu pola dalam data. Untuk mengenali adanya faktor musiman, seseorang harus melihat pada autokorelasi yang tinggi.

Untuk menangani musiman, notasi umum yang singkat adalah:

$$ARIMA (p, d, q)(P, D, Q)^S \quad (9)$$

dimana

$(p, d, q)$  = bagian yang tidak musiman dari model

$(P, D, Q)$  = bagian musiman dari model

S = jumlah periode per musim

### 2.7.7 Identifikasi

Proses identifikasi dari model musiman tergantung pada alat-alat statistik berupa autokorelasi dan parsial autokorelasi, serta pengetahuan terhadap sistem (atau proses) yang dipelajari.

Tingkat signifikansi (*significance level*), juga dikenal sebagai alfa atau  $\alpha$ , adalah ukuran kekuatan bukti yang harus ada dalam sampel Anda sebelum Anda

menolak hipotesis nol dan menyimpulkan bahwa efeknya signifikan secara statistik. Peneliti menentukan tingkat signifikansi sebelum melakukan eksperimen.

*Lag* artinya selisih antara sampel ke- $i$  dengan sampel ke- $i-1$ , seperti yang sudah dijelaskan di atas sebelumnya.

#### 2.7.8 Penaksiran Parameter

Ada dua cara yang mendasar untuk mendapatkan parameter-parameter tersebut:

- a. Dengan cara mencoba-coba (*trial and error*), menguji beberapa nilai yang berbeda dan memilih satu nilai tersebut (atau sekumpulan nilai, apabila terdapat lebih dari satu parameter yang akan ditaksir) yang meminimumkan jumlah kuadrat nilai sisa (*sum of squared residual*).
- b. Perbaikan secara iteratif, memilih taksiran awal dan kemudian membiarkan program komputer memperhalus penaksiran tersebut secara iteratif.

#### 2.7.9 Pengujian Parameter Model

1. Pengujian masing-masing parameter model secara parsial (*t-test*)
2. Pengujian model secara keseluruhan (*Overall F test*)

Model dikatakan baik jika nilai *error* bersifat random, artinya sudah tidak mempunyai pola tertentu lagi. Dengan kata lain model yang diperoleh dapat menangkap dengan baik pola data yang ada. Untuk melihat kerandoman nilai *error* dilakukan pengujian terhadap nilai koefisien autokorelasi dari *error*, dengan menggunakan salah satu dari dua statistik berikut:

- 1) Uji *Q Box* dan *Pierce*

$$Q = n' \sum_{k=1}^m r_k^2 \quad (10)$$

- 2) Uji *Ljung-Box*:



$$Q = n'(n' + 2) \sum_{k=1}^m \frac{r_k^2}{(n'-k)} \quad (11)$$

Menyebar secara Khi Kuadrat ( $X^2$ ) dengan derajat bebas (db)=(k-p-q-P-Q) dimana:

- $n'$  =  $n-(d+SD)$
- $d$  = ordo pembedaan bukan faktor musiman
- $D$  = ordo pembedaan faktor musiman
- $S$  = jumlah periode per musim
- $m$  = lag waktu maksimum
- $r_k$  = autokorelasi untuk *time lag* 1, 2, 3, 4,..., k

Kriteria Pengujian:

Jika  $Q \leq X^2(\alpha, db)$ , berarti: nilai *error* bersifat random (model dapat diterima).

Jika  $Q > X^2(\alpha, db)$ , berarti: nilai *error* tidak bersifat random (model tidak dapat diterima).

#### 2.7.10 Pemilihan Model Terbaik

Untuk menentukan model yang terbaik dapat digunakan *standard error estimate* berikut:

$$S = \left[ \frac{SSE}{n-n_p} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n-n_p} \right] \quad (12)$$

dimana:

- $Y_t$  = nilai sebenarnya pada waktu ke-t
- $\hat{Y}_t$  = nilai dugaan pada waktu ke-t

Model terbaik adalah model yang memiliki nilai *standard error estimate* (S) yang paling kecil.

Selain nilai *standard error estimate*, nilai rata-rata persentase kesalahan peramalan (MAPE) dapat juga digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan model yang terbaik yaitu:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t}}{T} \times 100\% \quad (13)$$

dimana: T = banyaknya periode peramalan/dugaan.

### 2.6.11 Peramalan Dengan Model ARIMA

Notasi yang digunakan dalam ARIMA adalah notasi yang mudah dan umum. Misalkan model ARIMA (0,1,1)(0,1,1)<sup>12</sup> dijabarkan sebagai berikut:

$$(1 - B)(1 - B^{12})X_t = (1 - \theta_1 B)(1 - \Theta_1 B^{12})e_t$$

Tetapi untuk menggunakannya dalam peramalan mengharuskan dilakukan suatu penjabaran dari persamaan tersebut dan menjadikannya sebuah persamaan regresi yang lebih umum. Untuk model di atas bentuknya adalah:

$$X_t = X_{t-1} + X_{t-12} - X_{t-13} - \theta_1 e_{t-1} - \Theta_1 e_{t-12} + \theta_1 \Theta_1 e_{t-13}$$

Untuk meramalkan satu periode ke depan, yaitu  $X_{t+1}$  maka seperti pada persamaan berikut:

$$X_{t+1} = X_t + X_{t-11} - X_{t-12} + e_{t+1} - \theta_1 e_t - \Theta_1 e_{t-11} + \theta_1 \Theta_1 e_{t-12}$$

Nilai  $e_{t+1}$  tidak akan diketahui, karena nilai yang diharapkan untuk kesalahan random pada masa yang akan datang harus ditetapkan sama dengan nol. Akan tetapi dari model yang disesuaikan (*fitted model*) kita boleh mengganti nilai  $e_t$ ,  $e_{t-11}$  dan  $e_{t-12}$  dengan nilai nilai mereka yang ditetapkan secara empiris (seperti yang diperoleh setelah iterasi terakhir algoritma Marquardt). Tentu saja bila kita meramalkan jauh ke depan, tidak akan kita peroleh nilai empiris untuk “e” sesudah beberapa waktu, dan oleh sebab itu nilai harapan mereka akan seluruhnya nol.

### 2.7.11 Struktur Informasi Pokok Hasil Analisis (Cara Interpretasi)

1. Identifikasi.

- a. Berdasarkan *plot* data aktual dapat diketahui apakah data sudah *stasioner*. Jika belum *stasioner* maka data harus *distasionerkan* terlebih dahulu.
  - b. Tentukan kombinasi model ARIMA yang mungkin. Dari *plot* autokorelasi tentukan ordo MA (q), dari *plot* autokorelasi parsial tentukan orde AR (p).
2. Estimasi dan pengujian model ARIMA yang mungkin serta pemilihan model terbaik.
  3. Tentukan persamaan dan nilai ramalan model ARIMA terbaik[9].

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Judul Penelitian**

Judul yang diangkat pada penelitian ini adalah Estimasi Parameter Kecepatan Dan Arah Angin Untuk Aplikasi Turbin Angin Dengan Metode SARIMA

#### **3.2 Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Sistem Cerdas dan Energi Terbarukan (Laboratorium Listrik Dasar), Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

#### **3.3 Waktu Penelitian**

Pelaksanaan penelitian dari tugas akhir ini akan dilaksanakan Februari 2021 sampai bulan November 2021. Adapun penulisan tugas akhir ini dimulai dari bulan Januari 2021 sampai bulan Desember 2021.

#### **3.4 Prosedur Penelitian**

Penelitian yang dilakukan untuk penulisan tugas akhir ini berfokus pada Prediksi daya output turbin angin berdasarkan hasil ramalan dengan menggunakan metode SARIMA sebagai pengoperasian data. Adapun data yang dikumpulkan adalah data kecepatan dan arah angin PLTB Jenepontong dari EMD Indonesia.

#### **3.5 Alur Penelitian**

Adapun langkah-langkah penelitian ini digambarkan dalam diagram alur *flowchart* dibawah ini: