

ABSTRAK

Brandon Sebastian Jasman:

Skripsi

Pemodelan dan Prediksi Potensi Energi Listrik *Wind Turbine* Menggunakan Regresi Linear Berganda, SARIMA dan Holt-Winters *Exponential Smoothing* untuk Mendukung Pariwisata Berkelanjutan

Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber daya pemasok energi mengakibatkan kerugian yang besar pada masa mendatang di berbagai sektor, salah satunya adalah sektor pariwisata. Sehingga, sumber energi alternatif sangat layak dipertimbangkan untuk digunakan. Salah satu sumber energi alternatif yang memiliki potensi besar adalah angin melalui media *wind turbine*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh *wind turbine* di masa kini dan mendatang serta metode terbaik untuk memprediksi kecepatan angin.

Metode yang digunakan adalah regresi linear berganda, SARIMA, dan Holt-Winters *Exponential Smoothing* pada 3 lokasi, yakni Kecamatan Tepus (Kabupaten Gunung Kidul), Pantai Losari (Kota Makassar), dan Nusa Penida. Beberapa model *wind turbine* dipilih untuk dilakukan perbandingan potensi kontribusi pemenuhan daya listrik hotel pada data aktual dan prediksi. Metode Holt-Winters adalah metode terbaik secara keseluruhan dengan RMSE terendah 0,309 dan dipilih untuk memprediksi kecepatan angin.

Kata kunci:

angin, wind turbine, pariwisata berkelanjutan, regresi linear berganda, sarima, holt-winters exponential smoothing.

ABSTRACT

Brandon Sebastian Jasman:

Undergraduate Thesis

Modeling and Predicting the Potential of Wind Turbine Electrical Energy Using Multiple Linear Regression, SARIMA, and Holt-Winters Exponential Smoothing to Support Sustainable Tourism

The utilization of fossil fuels as an energy source will result in future detrimental impacts across various sectors, including tourism. Hence, it is beneficial to consider utilizing alternative energy sources. Wind turbines are an alternative energy source with significant potential. The objective of this research is to assess the possible amount of electrical power which could be produced by wind turbines, both in the present and the future, and to identify the most accurate technique for forecasting wind speed.

Multiple linear regression, SARIMA, and Holt-Winters Exponential Smoothing techniques are applied at three sites, Kecamatan Tepus (Kabupaten Gunung Kidul), Pantai Losari (Makassar City), and Nusa Penida. Various wind turbine models were chosen to compare their potential power supply contributions to hotels based on real and forecasted data. It was determined that the Holt-Winters method is the most effective method for predicting wind speed, with its lowest RMSE of 0,309.

Keywords :

wind, wind turbine, sustainable tourism, multiple linear regression, SARIMA, Holt-Winters exponential smoothing

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR RUMUS	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SEGMENT PROGRAM	xvi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Metodologi Penelitian.....	6
1.7 Sistematika Penulisan.....	7
2. LANDASAN TEORI	9
2.1 Tinjauan Pustaka	9
2.1.1 Angin	9
2.1.2 <i>Wind Turbine</i>	9
2.1.3 Pariwisata Berkelanjutan	10
2.1.4 Regresi Linear Berganda.....	10
2.1.5 <i>Seasonal Autoregressive Moving Average (SARIMA)</i>	12
2.1.6 <i>Holt-Winters Exponential Smoothing</i>	13
2.1.7 <i>Root Mean Squared Error (RMSE)</i>	14
2.1.8 Lokasi Pengambilan Data	14

2.1.9	Regresi Polinomial	15
2.2	Tinjauan Studi.....	15
2.2.1	Penerapan Data Mining Untuk Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Provinsi Lampung (Setiadi, 2022).....	16
2.2.2	Implementasi Model SARIMA dan Algoritma Genetika pada Prediksi Produksi Minyak Bumi (Zaelani, 2020).....	16
2.2.3	<i>Covid-19 forecast using Holt-winters exponential smoothing</i> (Djakaria & Saleh, 2021)	17
2.2.4	In Wind and Solar Forecasting for Renewable Energy System using SARIMA-based Model (Haddad et al., 2020).....	18
3.	ANALISIS DAN DESAIN SISTEM	22
3.1	Analisis Masalah	22
3.2	Analisis Kebutuhan.....	22
3.3	Analisis <i>Dataset</i>	23
3.4	Desain Sistem	25
3.4.1	<i>Flowchart</i> Penelitian.....	25
3.4.2	Konfigurasi <i>Library</i> dan <i>Module</i>	29
4.	IMPLEMENTASI SISTEM.....	31
4.1	Pengolahan Data	31
4.1.1	Pengumpulan Data	31
4.1.2	Penggabungan Data	32
4.1.3	<i>Preprocessing</i> Data	33
4.1.4	Agregasi Data	33
4.2	Segmen Program	34
4.2.1	Regresi Linear Berganda.....	36
4.2.2	<i>Seasonal Autoregressive Moving Average</i> (SARIMA).....	40
4.2.3	<i>Holt-Winters Exponential Smoothing</i>	50
4.2.4	Prediksi dan Konversi Kecepatan Angin menjadi Daya Listrik.....	52
5.	EVALUASI HASIL PENGUJIAN SISTEM	66
5.1	Analisis Dataset	66
5.1.1	Karakteristik Dataset	66
5.1.2	<i>Plotting</i> Dataset.....	69
5.2	Metode Regresi Linear Berganda	71

5.2.1	Hasil Aplikasi untuk Interval Jam (<i>Hourly</i>).....	71
5.2.2	Hasil Aplikasi untuk Interval Hari (<i>Daily</i>).....	81
5.2.3	Hasil Aplikasi untuk Interval Minggu (<i>Weekly</i>).....	91
5.2.4	Hasil Aplikasi untuk Interval Bulan (<i>Monthly</i>).....	100
5.2.5	Perbandingan Hasil Model Terbaik	110
5.2.6	Kesimpulan Hasil Metode Regresi Linear Berganda	115
5.3	Metode <i>Seasonal Autoregressive Moving Average</i> (SARIMA).....	116
5.3.1	Hasil <i>Augmented Dickey-Fuller</i> (ADF) <i>Test</i>	116
5.3.2	<i>Differencing Data</i>	117
5.3.3	Hasil Pencarian Parameter	118
5.3.4	Kesimpulan Metode <i>Seasonal Autoregressive Moving Average</i> (SARIMA)	128
5.4	Metode Holt-Winters <i>Exponential Smoothing</i>	128
5.4.1	Hasil <i>Plotting</i> Metode Holt-Winters <i>Exponential Smoothing</i>	129
5.4.2	Kesimpulan Metode Holt-Winters <i>Exponential Smoothing</i>	133
5.5	Perbandingan Performa Metode Regresi Linear Berganda, <i>Seasonal Autoregressive Moving Average</i> (SARIMA) dan Holt-Winters <i>Exponential Smoothing</i>	134
5.6	Prediksi dan Konversi Kecepatan Angin menjadi Daya Listrik.....	136
5.6.1	Hasil Prediksi Kecepatan Angin	136
5.6.2	Pemilihan Model Turbin Angin.....	141
5.6.3	Hasil Konversi Kecepatan Angin Menjadi Daya Listrik	144
5.7	Analisis Potensi Pemenuhan Daya Listrik Hotel	147
5.7.1	Analisis Kontribusi Daya	152
6.	KESIMPULAN DAN SARAN	157
6.1	Kesimpulan.....	157
6.2	Saran.....	158
	DAFTAR REFERENSI	159
	LAMPIRAN	163

DAFTAR TABEL

2.1 Tabel Perbandingan Penelitian Terdahulu	18
3.1 Atribut Dataset	24
4.1 Jumlah Baris Data Sebelum dan Sesudah Agregasi	34
4.2 Segmen Program	35
5.1 Karakteristik Dataset Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul	66
5.2 Karakteristik Dataset Lokasi Pantai Losari, Makassar	67
5.3 Karakteristik Dataset Lokasi Nusa Penida	68
5.4 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Jam / <i>Hourly</i>)	71
5.5 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Pantai Losari, Makassar (Interval Jam / <i>Hourly</i>)	74
5.6 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Nusa Penida (Interval Jam / <i>Hourly</i>)	77
5.7 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Hari / <i>Daily</i>)	81
5.8 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Pantai Losari, Makassar (Interval Hari / <i>Daily</i>)	84
5.9 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Nusa Penida (Interval Hari / <i>Daily</i>)	87
5.10 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Minggu / <i>Weekly</i>)	91
5.11 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Pantai Losari, Makassar (Interval Minggu / <i>Weekly</i>)	94
5.12 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Nusa Penida (Interval Minggu / <i>Weekly</i>)	97
5.13 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Bulan / <i>Monthly</i>)	100
5.14 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Pantai Losari, Makassar (Interval Bulan / <i>Monthly</i>)	104
5.15 Hasil <i>Fitting</i> Metode Regresi Linear Berganda untuk Lokasi Nusa Penida (Interval Bulan / <i>Monthly</i>)	107

5.16 Perbandingan RMSE Terbaik	111
5.17 Perbandingan <i>R-squared</i> Terbaik	112
5.18 Perbandingan <i>Adjusted R-squared</i> Terbaik	114
5.19 Hasil Tes ADF	116
5.20 Hasil Differencing Data Interval Bulan	117
5.21 Hasil Pencarian Parameter Terbaik Metode <i>auto_arma</i>	119
5.22 Kemungkinan Parameter SARIMA	125
5.23 Hasil Pencarian Parameter Terbaik Metode <i>Grid Search</i>	126
5.24 Perbandingan Hasil Parameter <i>auto_arma</i> dan <i>Grid Search</i>	127
5.25 Hasil Metode Holt-Winters <i>Exponential Smoothing</i>	128
5.26 Perbandingan RMSE Metode Regresi Linear Berganda, <i>Seasonal Autoregressive Moving Average</i> (SARIMA) dan Holt-Winters <i>Exponential Smoothing</i>	134
5.27 Metode Terbaik Berdasarkan RMSE	135
5.28 Calculated Power Curve Pitchwind Systems AB 30 kW	142
5.29 Calculated Power Curve Fuhrländer FL 100 100 kW	143
5.30 Calculated Power Curve Eoltec WindRunner 25 kW	144
5.31 Hasil Fitting Regresi Linear dan Polinomial	145
5.32 Electricity Use Index - CHENACT Benchmarks	147
5.33 Konsumsi Daya Listrik per Malam dan per Jam	147
5.34 Analisis Hasil Konversi Daya Listrik Model Pitchwind Systems AB 30 kW	148
5.35 Analisis Hasil Konversi Daya Listrik Model Fuhrländer FL 100 100 kW	149
5.36 Analisis Hasil Konversi Daya Listrik Model Eoltec WindRunner 25 kW	150
5.37 Analisis Persentase Kontribusi Daya Listrik Berdasarkan Okupansi (Model Pitchwind Systems AB 30 kW)	152
5.38 Analisis Hasil Konversi Daya Listrik Model Fuhrländer FL 100 100 kW	153
5.39 Analisis Hasil Konversi Daya Listrik Model Eoltec WindRunner 25 kW	155

DAFTAR GAMBAR

3.1 Raw Data Lokasi Gunungkidul Tahun 2011 dalam Format CSV	24
3.2 Flowchart Keseluruhan Sistem pada Penelitian	25
3.3 Flowchart Pengolahan Data	25
3.4 Flowchart Proses Prediksi Metode Regresi Linear Berganda.....	26
3.5 Flowchart Proses Prediksi Metode <i>Seasonal Autoregressive Moving Average</i>	27
3.6 Flowchart Proses Prediksi Metode Holt-Winters <i>Exponential Smoothing</i>	28
3.7 Flowchart Proses Prediksi Metode Holt-Winters <i>Exponential Smoothing</i>	28
4.1 Pengambilan Data Lokasi Kecamatan Tepus, Gunung Kidul Melalui <i>Website</i> National Solar Radiation Database (NSRDB).....	31
4.2 Contoh Konfigurasi Data yang Dipilih untuk Data Tahun 2011-2015	32
4.3 File CSV Berjumlah 10 untuk Lokasi Kecamatan Tepus, Gunung Kidul	32
4.4 File 'data and analysis.xlsx' yang Menunjukkan Data Lokasi Gunungkidul.....	33
4.5 Hasil Agregasi Data Harian untuk Lokasi Kecamatan Tepus, Gunung Kidul.....	33
4.6 Hasil Agregasi Data Mingguan untuk Lokasi Kecamatan Tepus, Gunung Kidul	34
4.7 Hasil Agregasi Data Bulanan untuk Lokasi Kecamatan Tepus, Gunung Kidul	34
5.1 Grafik Data Interval Jam (<i>Hourly</i>)	69
5.2 Grafik Data Interval Hari (<i>Daily</i>)	70
5.3 Grafik Data Interval Minggu (<i>Weekly</i>).....	70
5.4 Grafik Data Interval Bulan (<i>Monthly</i>)	71
5.5 ACF <i>Plot</i> Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Minggu).....	120
5.6 PACF <i>Plot</i> Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Minggu).....	120
5.7 ACF <i>Plot</i> Pantai Losari, Makassar (Interval Minggu)	121
5.8 PACF <i>Plot</i> Pantai Losari, Makassar (Interval Minggu)	121
5.9 ACF <i>Plot</i> Nusa Penida (Interval Minggu)	122
5.10 PACF <i>Plot</i> Nusa Penida (Interval Minggu)	122
5.11 ACF <i>Plot</i> Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Bulan, D=1)	123
5.12 PACF <i>Plot</i> Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Bulan, D=1)	123
5.13 ACF <i>Plot</i> Pantai Losari, Makassar (Interval Bulan, D=1)	124
5.14 PACF <i>Plot</i> Pantai Losari, Makassar (Interval Bulan, D=1)	124
5.15 ACF <i>Plot</i> Nusa Penida (Interval Bulan, D=1)	125
5.16 PACF <i>Plot</i> Nusa Penida (Interval Bulan)	125

5.17 Hasil <i>Plotting Holt-Winters Exponential Smoothing</i> Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (<i>Daily</i>).....	130
5.18 Hasil <i>Plotting Holt-Winters Exponential Smoothing</i> Lokasi Pantai Losari, Makassar (<i>Daily</i>)	130
5.19 Hasil <i>Plotting Holt-Winters Exponential Smoothing</i> Lokasi Nusa Penida (<i>Daily</i>)	130
5.20 Hasil <i>Plotting Holt-Winters Exponential Smoothing</i> Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (<i>Weekly</i>).....	131
5.21 Hasil <i>Plotting Holt-Winters Exponential Smoothing</i> Lokasi Pantai Losari, Makassar (<i>Weekly</i>)	131
5.22 Hasil <i>Plotting Holt-Winters Exponential Smoothing</i> Lokasi Nusa Penida (<i>Weekly</i>)	132
5.23 Hasil <i>Plotting Holt-Winters Exponential Smoothing</i> Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (<i>Monthly</i>)	132
5.24 Hasil <i>Plotting Holt-Winters Exponential Smoothing</i> Lokasi Pantai Losari, Makassar (<i>Monthly</i>)	133
5.25 Hasil <i>Plotting Holt-Winters Exponential Smoothing</i> Lokasi Nusa Penida (<i>Monthly</i>).....	133
5.26 Contoh Hasil Prediksi Kecepatan Angin Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Minggu).....	137
5.27 <i>Plotting</i> Data Aktual dan Prediksi Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Hari)	137
5.28 <i>Plotting</i> Data Aktual dan Prediksi Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Minggu).....	138
5.29 <i>Plotting</i> Data Aktual dan Prediksi Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul (Interval Bulan).....	138
5.30 <i>Plotting</i> Data Aktual dan Prediksi Lokasi Pantai Losari, Makassar (Interval Hari)	139
5.31 <i>Plotting</i> Data Aktual dan Prediksi Lokasi Pantai Losari, Makassar (Interval Minggu)	139
5.32 <i>Plotting</i> Data Aktual dan Prediksi Lokasi Pantai Losari, Makassar (Interval Bulan)	140
5.33 <i>Plotting</i> Data Aktual dan Prediksi Lokasi Nusa Penida (Interval Hari)	140
5.34 <i>Plotting</i> Data Aktual dan Prediksi Lokasi Nusa Penida (Interval Minggu)	141
5.35 <i>Plotting</i> Data Aktual dan Prediksi Lokasi Nusa Penida (Interval Bulan)	141
5.36 Hasil Konversi Kecepatan Angin menjadi Daya (Lokasi Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul Interval Minggu).....	145

DAFTAR RUMUS

2.1 Rumus regresi linear berganda	10
2.2 Rumus <i>regression sum</i> (1)	11
2.3 Rumus <i>regression sum</i> (2)	11
2.4 Rumus <i>regression sum</i> (3)	11
2.5 Rumus mencari β dan α (1)	11
2.6 Rumus mencari β dan α (2)	11
2.7 Rumus mencari β dan α (3)	11
2.8 SARIMA.....	12
2.9 Persamaan SARIMA.....	12
2.10 Rumus <i>smoothing level (additive)</i>	13
2.11 Rumus <i>smoothing trend (additive)</i>	13
2.12 Rumus <i>smoothing seasonal pattern (additive)</i>	13
2.13 Rumus prediksi untuk periode berikut (<i>additive</i>)	13
2.14 Rumus <i>smoothing level (multiplicative)</i>	13
2.15 Rumus <i>smoothing trend (multiplicative)</i>	14
2.16 Rumus <i>smoothing seasonal pattern (multiplicative)</i>	14
2.17 Rumus prediksi untuk periode berikut (<i>multiplicative</i>)	14
2.18 Rumus estimasi <i>smoothing level</i>	14
2.19 Rumus estimasi <i>smoothing trend</i>	14
2.20 Rumus estimasi <i>smoothing seasonal pattern (additive)</i>	14
2.21 Rumus estimasi <i>smoothing seasonal pattern (multiplicative)</i>	14
2.22 Rumus RMSE	14
2.23 Persamaan regresi polinomial.....	15

DAFTAR LAMPIRAN

1 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul - <i>Hourly</i>).....	163
2 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Pantai Losari, Makassar - <i>Hourly</i>)	163
3 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Nusa Penida - <i>Hourly</i>)	164
4 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul - <i>Daily</i>)	164
5 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Pantai Losari, Makassar - <i>Daily</i>)	165
6 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Nusa Penida - <i>Daily</i>)	165
7 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul - <i>Weekly</i>).....	166
8 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Pantai Losari, Makassar - <i>Weekly</i>) ...	166
9 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Nusa Penida - <i>Weekly</i>)	167
10 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul - <i>Monthly</i>).....	167
11 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Pantai Losari, Makassar - <i>Monthly</i>)	168
12 Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik Regresi Linear Berganda (Nusa Penida - <i>Monthly</i>)	168
13 Contoh Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik SARIMA dengan 10 Tahun Data <i>Fitting</i> (Gunungkidul – <i>Monthly</i>)	169
14 Contoh Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik SARIMA dengan 10 Tahun Data <i>Fitting</i> (Losari – <i>Monthly</i>)	169
15 Contoh Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik SARIMA dengan 10 Tahun Data <i>Fitting</i> (Penida – <i>Monthly</i>)	170
16 Contoh Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik SARIMA dengan 10 Tahun Data <i>Fitting</i> (Gunungkidul – <i>Weekly</i>).....	170
17 Contoh Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik SARIMA dengan 10 Tahun Data <i>Fitting</i> (Losari – <i>Weekly</i>)	171
18 Contoh Hasil <i>Fitting</i> Model Terbaik SARIMA dengan 10 Tahun Data <i>Fitting</i> (Penida – <i>Weekly</i>)	171

DAFTAR SEGMENT PROGRAM

4.1 <i>Import Library</i> Regresi Linear Berganda.....	36
4.2 Pembuatan Fungsi Regresi Linear Berganda.....	36
4.3 Aplikasi Regresi Linear Berganda	39
4.4 <i>Augmented Dickey-Fuller Test (ADF Test)</i>	40
4.5 <i>Differencing</i> data	42
4.6 Pencarian Parameter dengan <i>auto_arima</i>	43
4.7 Pembuatan <i>Plot Autocorrelation Function (ACF)</i> dan <i>Partial Autocorrelation Function (PACF)</i>	45
4.8 Pencarian Parameter dengan <i>Grid Search</i>	47
4.9 <i>Holt-Winters Exponential Smoothing</i>	50
4.10 Prediksi Kecepatan Angin	52
4.11 Konversi Kecepatan Angin menjadi Daya Listrik	55