



**TUGAS AKHIR - SS141501**

**PERAMALAN KETINGGIAN GELOMBANG BEDASARKAN  
KECEPATAN ANGIN DENGAN METODE FUNGSI TRANSFER  
DAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM*  
(ANFIS)**

**RIZKA FAUZIA  
NRP. 1311 100 126**

**Pembimbing:  
Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si.**

**Program Studi S1 Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - SS141501**

**FORECASTING OF SEA WAVE HEIGHT BASED ON WIND  
SPEED WITH TRANSFER FUNCTION METHOD AND  
ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)**

**RIZKA FAUZIA  
NRP. 1311 100 126**

**Supervisor:  
Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si.**

**Undergraduate Programme of Statistics  
Faculty of Mathematics and Natural Science  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERAMALAN KETINGGIAN GELOMBANG  
BEDASARKAN KECEPATAN ANGIN DENGAN METODE  
FUNGSI TRANSFER DAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY  
INFERENCE SYSTEM* (ANFIS)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains**

**pada**

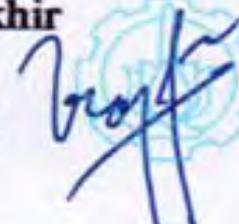
**Program Studi S-1 Jurusan Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:**

**RIZKA FAUZIA  
NRP. 1311 100 126**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir**

**Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si  
NIP. 19660125 199002 1 001**

(  )

**Mengetahui  
Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS**

  
**Dr. Muhammad Mashuri, MT  
NIP. 19620408 1987 1 001**

**SURABAYA, JULI 2015**

# PERAMALAN KETINGGIAN GELOMBANG BERDASARKAN KECEPATAN ANGIN DENGAN METODE FUNGSI TRANSFER DAN ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)

Nama Mahasiswa : Rizka Fauzia  
NRP : 1311 100 126  
Jurusan : Statistika FMIPA-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si.

## ABSTRAK

Angin merupakan aliran udara dari suatu tempat ke tempat yang lain. Angin terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara dan suhu udara pada suatu wilayah. Kondisi angin yang belakangan ini semakin tidak menentu menyebabkan aktifitas laut di beberapa lepas pantai mengalami gangguan misalnya gelombang tinggi yang sering terjadi. Pantai Panceng, di kabupaten Gresik merupakan pantai dengan gelombang yang besar, sehingga rawan erosi pantai dan banjir. Salah satu cara untuk memprediksi gelombang tinggi adalah dengan melakukan peramalan. Model Fungsi Transfer adalah suatu model yang menggambarkan nilai prediksi dari suatu time series  $y_t$  (gelombang laut) berdasarkan pada nilai-nilai masa lalu dari deret waktu itu sendiri dan pada data time series lain yang mempunyai hubungan (deret input  $x_t$  yaitu kecepatan angin). Selain itu, ketinggian gelombang juga diprediksi dengan metode ANFIS. Tujuan utama dari kedua pemodelan ini adalah untuk menetapkan model terbaik yang dapat digunakan untuk meramalkan ketinggian gelombang berdasarkan kecepatan angin. Kriteria pemilihan model terbaik berdasarkan kriteria RMSE. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode Fungsi Transfer adalah model terbaik untuk ketinggian gelombang pada Pengamatan Pukul 23.00-13.00. Sedangkan ANFIS lebih cocok digunakan untuk meramal pada data pada Pengamatan Pukul 14.00-22.00 dengan jenis fungsi keanggotaan yang meminimumkan nilai RMSE yaitu jenis Gaussian MF.

**Kata Kunci**—ANFIS, fungsi transfer, Kecepatan Angin, Ketinggian Gelombang, peramalan

# FORECASTING OF SEA WAVE HEIGHT BASED ON WIND SPEED WITH TRANSFER FUNCTION METHOD AND ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)

**Name of Student** : Rizka Fauzia  
**NRP** : 1311 100 126  
**Department** : Statistics FMIPA-ITS  
**Supervisor** : Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si.

## ABSTRACT

*Wind is the flow of the air from one place to another. The wind occurs because of differences in air pressure and air temperature in a region. Wind conditions are increasingly uncertain in recent cause marine activity in some offshore disorders eg frequent high waves. Panceng Beach, in Gresik is a beach with great waves, so prone to coastal erosion and flooding. One way to predict the wave height is to do forecasting. Transfer Function Model is a model that describes the predictive value of a time series (series output or  $y_t$ ) based on past values of the time series itself ( $y_t$ ) and also based on time series data have a relationship (sequence input or  $x_t$  with a series of output). In addition, the wave height was also predicted by ANFIS method. The main aim of both these modeling is to establish the best model that can be used to predict wave height based on wind speed. Criteria for selecting the best model based on criteria RMSE. The results showed that the method Transfer function is the best model for the wave height at 11 p.m. to 13:00 o'clock observation. While ANFIS is more suited to predict the data that has been stationary ie at 14:00 to 22:00 o'clock Observations with the type of membership function that minimizes the RMSE values that kind of Gaussian MF.*

**Keywords**— ANFIS, transfer functions, prediction, Wind Speed, Wave Height

## KATA PENGANTAR

Asslamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kepada Allah S.W.T., atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Peramalan Ketinggian Gelombang Laut berdasarkan Kecepatan Angin dengan Metode Fungsi Transfer dan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)*”. Selain itu tidak lupa sholawat serta salam penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW.

Dalam penulisan laporan ini penulis ucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu dalam menyelesaikan proses Tugas Akhir ini, khususnya kepada :

1. Bapak Dr. Brodjol Sutijo S.U., M.Si selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan, saran, semangat, kesabaran dan waktu yang diberikan kepada penulis hingga laporan Tugas Akhir ini selesai.
2. Bu Irhamah M.Si serta Bapak Dwiatmono Agus Widodo, M.Sc yang telah memberikan perbaikan-perbaikan yang begitu berarti terhadap buku Tugas Akhir Penulis.
3. Bapak Dr. rer. pol. Heri Kuswanto, M.Si selaku dosen wali atas bimbingannya selama kuliah.
4. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, MT selaku Ketua Jurusan Statistika ITS.
5. Ibu Lucia Aridinanti, MT Selaku Ketua Program studi S1 Statistika ITS.
6. Seluruh dosen jurusan Statistika ITS, atas ilmu yang telah diberikan selama penulis berada di bangku kuliah.
7. Kedua orang tua tercinta Bapak Darsono dan Ibu Siti Amini, kakak perempuan Etty Nur 'Aini S, keponakan Azka yang selalu memberi dukungan, motivasi, dan doa untuk kesuksesan penulis.
8. Teman-teman selama kuliah angkatan 2011 yang telah banyak memberikan bantuan, dukungan dan doa.

9. Fanie Sinduro dan Novananda Sena Putra atas dorongan, pengertian dan perhatian yang tiada henti.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu hingga pelaksanaan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis merasa masih banyak kekurangan dari segi teknis penulisan maupun materi dari tugas Akhir ini. Oleh karena itu kritik dan saran dari semua pihak sangat diharapkan untuk perbaikan penelitian-penelitian selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan banyak manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	9
2.1 Konsep Dasar <i>Time Series</i> .....	9
2.2 Model ARIMA .....	10
2.3 Pembentukan Model ARIMA .....	11
2.3.1 Identifikasi Model ARIMA .....	11
2.3.2 Estimasi Parameter Model ARIMA .....	11
2.3.3 Uji Signifikansi Parameter .....	11
2.3.4 Uji Kesesuaian Model ( <i>Diagnostic</i> <i>Checking</i> ).....	12
2.4 Pemilihan Model ARIMA Terbaik.....	13
2.5 Fungsi Transfer .....	13
2.5.1 Model Fungsi Transfer .....	13
2.5.2 Identifikasi Model Fungsi Transfer .....	14
2.5.3 Tahap Estimasi Paramater Model Fungsi Transfer.....	16
2.5.4 Pengujian Signifikansi Parameter Model Fungsi Transfer.....	16

2.5.5	Uji Kesesuaian Model Fungsi Transfer .....	16
2.5.6	Pemilihan Model Terbaik Model Fungsi Transfer.....	17
2.6	Logika <i>Fuzzy</i> .....	17
2.7	<i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i> (ANFIS) ...	19
2.8	Angin dan Gelombang.....	21
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN .....	25
3.1	Sumber Data .....	25
3.2	Variabel Penelitian .....	25
3.3	Langkah Analisis .....	25
	Diagram Alir .....	27
BAB IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	31
4.1	Karakteristik Kecepatan Angin dan Ketinggian Gelombang Laut di Pantai Panceng Gresik.....	31
4.2	Peramalan Harian Ketinggian Gelombang Laut Berdasarkan Kecepatan Angin Menggunakan Metode Fungsi Transfer pada Tiap Periode Pengamatan.....	38
4.2.1	Identifikasi Model Data Kecepatan Angin dan Ketinggian Gelombang .....	38
4.2.2	<i>Prewhitening</i> Deret <i>Input</i> dan Deret <i>Output</i> .....	49
4.2.3	Identifikasi Awal Model Fungsi Transfer....	49
4.2.4	Identifikasi Awal Model ARMA Deret <i>Noise</i> .....	51
4.2.5	<i>Diagnostic Checking</i> Model Fungsi Transfer.....	52
4.2.6	Hasil Peramalan Harian Model Fungsi Transfer Ketinggian Gelombang Laut .....	55
4.3	Peramalan Ketinggian Gelombang Menggunakan Model ANFIS .....	57
4.4	Perbandingan Hasil Peramalan Harian Sesuai Periode Pengamatan Untuk Ketinggian Gelombang Laut Pantai Panceng Gresik Menggunakan Model Fungsi Transfer dan ANFIS .....	63

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN .....	71

*( halaman ini sengaja dikosongkan )*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Skala Beaufort.....	22
Tabel 4.1	Hasil Analisis Deskriptif Data Kecepatan Angin setiap periode pengamatan (tiap jam) .....	31
Tabel 4.2	Hasil Analisis Deskriptif Data Kecepatan Angin per Bulan.....	33
Tabel 4.3	Hasil Analisis Deskriptif Data Ketinggian Gelombang Laut setiap periode pengamatan (tiap jam).....	34
Tabel 4.4	Hasil Analisis Deskriptif Data Ketinggian Gelombang Laut per Bulan.....	36
Tabel 4.5	Uji Stasioneritas Varians Data Deret Input untuk Masing-Masing Periode Pengamatan .....	44
Tabel 4.6	Uji Signifikansi Parameter Model Deret <i>Input</i> Data Pengamatan Pukul 12:00.....	47
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Asumsi Residual Model ARIMA Deret <i>Input</i> Data Ditransformasi.....	48
Tabel 4.8	Kriteria Pemilihan Model Terbaik.....	48
Tabel 4.9	Estimasi dan Uji Signifikansi Model Fungsi Transfer untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 .....	52
Tabel 4.10	Hasil Pemeriksaan <i>White Noise</i> Model Fungsi Transfer untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 .....	52
Tabel 4.11	Korelasi Silang Antara Kecepatan Angin dengan Residual Model Fungsi Transfer Model Fungsi Transfer Pengamatan Pukul 12:00.....	53
Tabel 4.12	Uji Kenormalan Residual Fungsi Transfer .....	53
Tabel 4.13	Hasil Ramalan Harian Fungsi Transfer untuk Ketinggian Gelombang pada Pengamatan Pukul 12:00.....	55
Tabel 4.14	Hasil Pemilihan Model Fungsi Transfer Untuk Peramalan Harian Ketinggian Gelombang di Pantai Panceng Gresik Sesuai Periode Pengamatan.....	56

Tabel 4.15	Parameter Nonlinier Fungsi <i>Gaussian</i> Data Pengamatan Pukul 12:00 dengan ANFIS.....	58
Tabel 4.16	Hasil Persamaan Fungsi <i>Gaussian</i> Pengamatan Pukul 12:00 .....	59
Tabel 4.17	Operasi Logika <i>Fuzzy</i> Pada Lapisan 2 .....	59
Tabel 4.18	Nilai Parameter Linier Fungsi <i>Gaussian</i> .....	60
Tabel 4.19	Nilai RMSE Ramalan Ketinggian Gelombang Laut Pengamatan Pukul 12:00 Menggunakan ANFIS untuk Data <i>Testing</i> .....	61
Tabel 4.20	Perbandingan RMSE Data <i>Testing</i> Hasil Peramalan dengan Metode ANFIS untuk Setiap Periode Pengamatan.....	62
Tabel 4.21	Perbandingan nilai RMSE Hasil Fungsi Transfer dengan ANFIS pada Data Pengamatan Pukul 12:00 .....	63
Tabel 4.22	Penghitungan nilai RMSE Data <i>Testing</i> Ketinggian Gelombang Pengamatan Pukul 12:00 Metode Fungsi Transfer dengan ANFIS .....	64
Tabel 4.23	Perbandingan RMSE hasil Metode Fungsi Transfer dengan ANFIS .....	64
Tabel 4.24	Hasil Peramalan Ketinggian Gelombang Laut di Pantai Panceng Gresik 10 Hari ke depan pada Pengamatan Pukul 12:00.....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gaussian MF .....	18
Gambar 2.2	Generalized bell MF .....	19
Gambar 2.5	Arsitektur ANFIS secara umum .....	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Metode ARIMA untuk Deret <i>Input</i> Kecepatan Angin (Langkah 1) .....	28
Gambar 3.2	Diagram Alir Metode Peramalan Fungsi Transfer (Langkah 2) .....	29
Gambar 3.3	Diagram Alir Metode Peramalan ANFIS .....	30
Gambar 4.1	<i>Box Plot</i> Kecepatan Angin Tiap Jam.....	33
Gambar 4.2	<i>Box Plot</i> Kecepatan Angin Tiap Bulan.....	34
Gambar 4.3	<i>Box Plot</i> Ketinggian Gelombang Laut Setiap periode pengamatan (tiap jam) .....	35
Gambar 4.4	<i>Box Plot</i> Ketinggian Gelombang Laut per Bulan.....	37
Gambar 4.5	Pie Chart Arah Angin Datang.....	37
Gambar 4.6	<i>Time Series Plot</i> Kecepatan Angin dan Ketinggian Gelombang setiap periode pengamatan (tiap jam) .....	38
Gambar 4.7	<i>Time Series Plot</i> Kecepatan Angin ( <i>knot</i> ) dan Ketinggian Gelombang (m) di Pantai Panceng Gresik Setiap Periode Pengamatan (tiap jam) ...	39
Gambar 4.8	<i>Box-Cox Transformation</i> Pengamatan Pukul 12:00 .....	45
Gambar 4.9	<i>Plot ACF</i> Data Pengamatan Pukul 12:00 .....	46
Gambar 4.10	<i>Plot ACF</i> Pengamatan Pukul 12:00 <i>Differencing</i> 1 .....	46
Gambar 4.11	<i>Plot PACF</i> Pengamatan Pukul 12:00 <i>Differencing</i> 1 .....	47
Gambar 4.12	<i>Plot Crosscorrelation Function</i> Pengamatan Pukul 12:00.....	50
Gambar 4.13	<i>Plot ACF</i> Residual Model Fungsi Transfer Data Pengamatan Pukul 12:00 .....	51

Gambar 4.14	<i>Plot</i> PACF Residual Model Fungsi Transfer Data Pengamatan Pukul 12:00.....	51
Gambar 4.15	Uji Kenormalan Data Residual Pengamatan Pukul 12:00.....	54
Gambar 4.16	Struktur ANFIS dengan 3 <i>Input</i> .....	57

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia adalah sebuah negara maritim yang berada di Asia Tenggara dengan posisi di antara Benua Asia dan Australia serta terletak di antara Samudra Pasifik dan Hindia. Secara meteorologis, angin di Indonesia mempunyai ketidakaturan yang tinggi. Ketidakaturan tersebut ditandai dengan sering terjadinya angin puting beliung secara tiba-tiba dan terjadinya gelombang tinggi di laut (BMKG, 2014). Kondisi angin yang belakangan ini semakin tidak menentu menyebabkan aktifitas laut di beberapa lepas pantai mengalami gangguan. Selain itu, pada saat-saat tertentu kecepatan angin di bagian lepas pantai juga menunjukkan kondisi yang ekstrim.

Gresik merupakan kabupaten di utara provinsi Jawa Timur yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa. Potensi laut di Gresik yang kaya menyebabkan penduduk di sekitar laut sebagian besar menggantungkan laut sebagai sumber mencari nafkah dan menempati daerah pesisir sebagai pemukiman. Pantai Panceng, di kabupaten Gresik merupakan pantai dengan gelombang yang besar, sehingga rawan erosi pantai dan banjir. Untuk itu diperlukan bangunan struktur yang dapat melindungi pantai dan penduduknya dari bahaya erosi dan banjir. Bangunan yang paling tepat untuk daerah dengan kasus tersebut adalah *seawall* dan *revetment*.

Perencanaan *seawall* harus dengan memperhitungkan dan menganalisa berbagai faktor yang bisa mempengaruhi desain. Ada dua faktor lingkungan utama yang harus diperhitungkan yaitu angin dan gelombang. Pengetahuan tentang angin sangat penting karena angin menimbulkan arus dan gelombang. Gelombang di alam adalah irregular dan sangat kompleks dimana masing-masing gelombang di suatu periode waktu mempunyai sifat-sifat yang berbeda sehingga harus dianalisa secara statistik.

Angin merupakan aliran udara dari suatu tempat ke tempat yang lain. Angin terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara dan suhu udara pada suatu wilayah. Menurut Thompson (1983), semakin panas iklim maka semakin jauh dan semakin cepat angin bergerak. Dalam bidang teknik pantai, gelombang laut didefinisikan sebagai pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, alun/bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang. Gelombang dapat membentuk dan merusak pantai dan berpengaruh pada bangunan-bangunan pantai. Gelombang merupakan fenomena alam penaikan dan penurunan air secara periodik dan dapat dijumpai di semua tempat di seluruh dunia. Gross (1983) mendefinisikan gelombang sebagai gangguan yang terjadi di permukaan air.

Daerah pantai (termasuk daerah dan lingkungan yang berada di dekat pantainya) sangat ditentukan dan didominasi oleh faktor-faktor gelombang. Gelombang yang terjadi dilaut pada umumnya tidak berpengaruh pada dasar laut dan sedimen-sedimen yang terdapat didalamnya (Dahury, 1996).

Penelitian tentang angin dan gelombang oleh (Fitriah, 2013) yang berjudul "*Hindcasting Gelombang Menggunakan Data Angin dari MRI-JMA (Meteorology Research Institute/Japan Meteorology Agency) dalam Kurun Waktu 1989-2003*" menunjukkan bahwa permodelan tinggi gelombang signifikan secara global dengan grid 10 x 10 distribusi tinggi, memang dibangkitkan oleh angin secara global. Dalam sebuah jurnal dari A. Parvaresh, S. Hassanzadeh dan M. H. Bordbar (2005), berjudul "*Statistical Analysis of Wave Parameters in the North Coast of the Persian Gulf*" yang menggunakan metode ARMA dan ARIMA sebagai metode peramalan data *time series* ketinggian gelombang permukaan laut dalam jam di Bushehr, bagian utara dari Teluk Persia dari tanggal 15 Juli sampai 4 Agustus 2000 menunjukkan hasil bahwa uji Dickey-Fuller unit

*root test* menunjukkan data stasioner pada level 95%. Dari hasil analisis prediksi dari ARMA model yang terbaik hanya pada tingkat 20%, sedangkan untuk model ARIMA memiliki tingkat kebaikan model sebesar 83.52% .

Penelitian sebelumnya tentang peramalan diantaranya dilakukan oleh (Pratama, 2010) untuk prediksi cuaca maritim menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) menghasilkan ketepatan prediksi 38,00% untuk curah hujan, 99,87% untuk arus laut, dan 99,913% untuk ketinggian gelombang laut. Penelitian serupa menggunakan metode ANFIS dilakukan oleh Nurvitasari, (2012) pada kasus peramalan data Kecepatan Angin dengan pengaruh Tekanan Udara di daerah bandara Juanda menggunakan Metode Fungsi Transfer sebagai *input* dari ANFIS. Dari hasil penelitian Nurvitasari (2012), didapatkan hasil bahwa metode ANFIS pada kombinasi jenis fungsi dan jumlah *membership function* 3 dan fungsi Phi memiliki RMSE yang terkecil. Oleh karena itu, metode inilah yang lebih cocok digunakan untuk meramalkan data Kecapatan Angin dengan pengaruh Tekanan Udara. Zhou, Huang dan Wu (2009) menggunakan ANFIS untuk meramalkan kecepatan angin di pulau Mauii, Hawaii. Hasilnya adalah ANFIS menghasilkan ketepatan peramalan yang baik dan dapat menyelesaikan masalah non-linier pada karakteristik data kecepatan angin.

Di bidang intelegent *systems* logika *fuzzy* dan *neural network* merupakan dua alat yang saling melengkapi dan dapat dikombinasikan untuk menghasilkan sebuah sistem *neuro-fuzzy* yang fungsional dan setara dengan model inferensi *fuzzy*. Sistem ini dapat diterapkan untuk mengembangkan if-then pada aturan *fuzzy* dan menyesuaikan fungsi keanggotaannya guna mengetahui hubungan *input* dan *output*. Salah satu sistem arsitektur tersebut disebut *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang pada awalnya diusulkan oleh Jang (1993). Selanjutnya pada penelitian ini akan digunakan metode peramalan menggunakan logika *fuzzy* (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)). Pemilihan metode ANFIS dalam menentukan peramalan

ketinggian gelombang laut dikarenakan logika *fuzzy* mampu menggunakan variabel linguistik dalam menentukan nilai keanggotaan dari parameternya, sedangkan jaringan saraf tiruan mempunyai kemampuan untuk beradaptasi karena parameter gelombang yang bersifat non-linier. Selain itu, ANFIS merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk prediksi atau diagnosis dengan akurasi yang cukup bagus (Singla, 2011).

Pada penelitian ini data yang akan diramalkan merupakan data sekunder dari suatu pengamatan yang terletak di daerah pesisir. Data tersebut adalah data mengenai kecepatan angin sebagai variabel *input* ( $x_t$ ) dan data ketinggian gelombang permukaan laut sebagai variabel *output* ( $y_t$ ). Ketinggian gelombang permukaan laut  $y_t$  yang diperkirakan dipengaruhi oleh kecepatan angin sebagai deret *input* ( $x_t$ ), dan *input-input* lain yang digabungkan dalam suatu kelompok yang disebut gangguan atau *noise* ( $\eta_t$ ). Namun, sebelum masuk ke dalam metode peramalan dengan ANFIS, terlebih dahulu data  $x_t$  dan  $y_t$  diramalkan menggunakan metode Fungsi Transfer. Setelah didapatkan model Fungsi Transfer, lag-lag yang signifikan dari model tersebut akan digunakan sebagai *input* pada ANFIS untuk meramalkan ketinggian gelombang permukaan laut di masa yang akan datang. Ketinggian gelombang seringkali mengikuti distribusi hukum *Rayleigh* (Triatmodjo, 1999). Oleh karena itu, jenis *membership function* yang digunakan adalah yang paling mendekati distribusi tersebut yaitu *Gaussian*, *Generalized bell*. Untuk mengetahui keakuratan model, hasil ramalan dari metode Fungsi Transfer kemudian dibandingkan dengan hasil ramalan dari metode ANFIS berdasarkan nilai RMSE yang dihasilkan, sehingga diharapkan dapat diperoleh model terbaik untuk peramalan ketinggian gelombang.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas, Pantai Panceng, di kabupaten Gresik merupakan pantai dengan gelombang yang besar, sehingga rawan erosi pantai dan banjir. Bangunan yang

paling tepat untuk daerah dengan kasus tersebut adalah *seawall*. Perencanaan *seawall* harus dengan memperhitungkan, menganalisa, dan memprediksi berbagai faktor yang bisa mempengaruhi desain. Ada dua faktor lingkungan utama yang harus diperhitungkan yaitu angin dan gelombang, sehingga perlu diketahui bagaimana karakteristik data kecepatan angin dan ketinggian gelombang.

Untuk memprediksi terjadinya gelombang tinggi dapat dilakukan dengan metode peramalan. Peramalan pertama yaitu dengan metode Fungsi Transfer yang dilakukan secara harian untuk data ketinggian gelombang laut didasarkan pada kecepatan angin sesuai dengan periode pengamatan yaitu pada jam-jam tertentu. Metode peramalan yang kedua adalah dengan metode ANFIS. *Input* yang digunakan dalam peramalan menggunakan metode ANFIS adalah dengan *input* hasil Fungsi Transfer. Dalam menentukan model terbaik untuk peramalan ketinggian gelombang akan dilakukan perbandingan hasil kebaikan model dari kedua metode yang digunakan. Permasalahan yang ingin dibahas adalah mengetahui bagaimana perbandingan akurasi hasil peramalan antara metode Fungsi Transfer dan metode ANFIS sebagai peramalan data ketinggian gelombang laut berdasarkan kecepatan angin. Sehingga, dapat dipilih metode terbaik untuk meramalkan ketinggian gelombang.

### **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik data kecepatan angin dan ketinggian gelombang di wilayah Pantai Panceng Gresik selama satu tahun.
2. Memperoleh model Fungsi Transfer untuk peramalan harian data ketinggian gelombang laut berdasarkan kecepatan sesuai dengan periode pengamatan pada jam-jam tertentu di wilayah Pantai Panceng Gresik.

3. Memperoleh model ANFIS untuk peramalan harian data ketinggian gelombang laut berdasarkan kecepatan angin sesuai dengan periode pengamatan pada jam-jam tertentu di wilayah Pantai Panceng Gresik dengan *input* hasil Fungsi Transfer.
4. Mendapatkan model terbaik dari hasil peramalan antara metode Fungsi Transfer dan metode ANFIS untuk peramalan data ketinggian gelombang laut berdasarkan kecepatan angin. Tujuannya utamanya adalah mendapatkan model terbaik dalam memprediksi terjadinya gelombang tinggi yang terjadi di wilayah Pantai Panceng Gresik

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah diharapkan mampu mendapatkan informasi mengenai metode peramalan berupa Fungsi Transfer dan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) sehingga diketahui kelebihan dan kekurangan masing-masing metode. Selain itu, metode ini diharapkan mampu menghasilkan nilai ramalan ketinggian gelombang dengan akurasi tinggi sehingga rencana pembangunan *seawall* di wilayah Pantai Panceng Gresik dapat berjalan dengan baik. Metode yang lebih sesuai akan mampu mencapai tujuan yang diinginkan.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel yang digunakan dalam peramalan adalah ketinggian gelombang yang didasarkan pada kecepatan angin dengan mengabaikan variabel lain tidak memberikan pengaruh terhadap ketinggian gelombang maupun kecepatan angin.
2. Peramalan dilakukan secara harian sesuai dengan periode pengamatannya yaitu di setiap jam.
3. Pengamatan pada jam saat ini diasumsikan independen dengan pengamatan pada jam sebelumnya.

4. Penerapan metode ANFIS untuk meramalkan ketinggian gelombang laut berdasarkan kecepatan angin adalah dengan cara melakukan kombinasi yang optimal antara jenis fungsi keanggotaan dan banyaknya fungsi keanggotaan yang meminimumkan nilai RMSE.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Konsep Dasar *Time Series*

*Time series* adalah rangkaian observasi yang berurutan (Wei, 2006). Secara umum, urutan tersebut adalah berdasarkan waktu, namun untuk syarat khusus pada interval waktu yang sama, urutan bisa saja berdasarkan dimensi seperti tempat atau ruang (Wei, 2006).

Data *time series* yang digunakan dalam model ARIMA harus stasioner baik dalam *mean* maupun dalam varian (Wei, 2006). Ketidakstasioneran dalam *mean* dapat diatasi dengan melakukan pembedaan (*differencing*) agar mendapatkan deret yang stasioner. Menurut (Makridakis, 1999) proses *differencing* orde ke- $d$  dinyatakan sebagai berikut,

$$\nabla^d Z_t = (1 - B)^d Z_t \quad (2.1)$$

sedangkan ketidakstasioneran dalam varians dapat diatasi dengan melakukan transformasi pada data. Transformasi yang sering digunakan adalah Transformasi *Box-Cox* dengan persamaan sebagai berikut.

$$T(Z_t) = Z_t^{(\lambda)} = \frac{Z_t^{\lambda} - 1}{\lambda} \quad (2.2)$$

Autokorelasi pada lag  $k$  atau korelasi antara  $Z_t$  dan  $Z_{t+k}$ , didefinisikan sebagai

$$\rho_k = \frac{\text{Cov}(Z_t, Z_{t+k})}{\sqrt{\text{Var}(Z_t)}\sqrt{\text{Var}(Z_{t+k})}} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (2.3)$$

dimana  $\text{Var}(Z_t) = \text{Var}(Z_{t+k}) = \gamma_0$ .  $\gamma_k$  adalah fungsi autokovarians dan autokorelasi ( $\rho_k$ ) merupakan ukuran keeratan antara  $Z_t$  dengan  $Z_{t+k}$  dari proses yang sama dan hanya dipisahkan oleh selang waktu  $k$  (Wei, 2006).

Suatu proses dikatakan stasioner apabila fungsi autokovarian ( $\gamma_k$ ) dan fungsi autokorelasi ( $\rho_k$ ) mengikuti beberapa sifat, yaitu

$$\begin{aligned} \gamma_0 &= \text{Var}(Z_t); \rho_0 = 1 \\ |\gamma_k| &\leq \gamma_0; |\rho_k| \leq 1 \\ \gamma_k &= \gamma_{-k} \text{ dan } \rho_k = \rho_{-k} \end{aligned}$$

Autokorelasi parsial befungsi untuk mengukur tingkat keeratan hubungan antara  $Z_t$  dengan  $Z_{t+k}$  setelah dependensi linier dalam variabel  $Z_{t+1}, Z_{t+2}, \dots$ , dan  $Z_{t+k-1}$  dihilangkan (Wei, 2006).

$$\begin{aligned} \text{Corr}(Z_t, Z_{t+k} | Z_{t+1}, \dots, Z_{t+k-1}) &= P_k \\ &= \frac{\text{cov}[(Z_t - \hat{Z}_t), (Z_{t+k} - \hat{Z}_{t+k})]}{\sqrt{\text{var}(Z_t - \hat{Z}_t)} \sqrt{\text{var}(Z_{t+k} - \hat{Z}_{t+k})}} \end{aligned} \quad (2.4)$$

dengan  $\hat{Z}_t = \beta_1 Z_{t+1} + \beta_2 Z_{t+2} + \dots + \beta_{k-1} Z_{t+k-1}$  dan  $\hat{Z}_{t+k} = \alpha_1 Z_{t+k-1} + \alpha_2 Z_{t+k-2} + \dots + \alpha_{k-1} Z_{t+1}$  dimana  $\beta_i (1 \leq i \leq k-1)$  dan  $\alpha_i (1 \leq i \leq k-1)$  merupakan koefisien regresi linier kuadrat.

Persamaan (2.4) dapat dituliskan seperti pada matriks berikut.

$$P_k = \frac{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{k-2} & \rho_1 \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{k-3} & \rho_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{k-1} & \rho_{k-2} & \rho_{k-3} & \dots & \rho_1 & \rho_k \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{k-2} & \rho_{k-1} \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{k-3} & \rho_{k-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{k-1} & \rho_{k-2} & \rho_{k-3} & \dots & \rho_1 & 1 \end{vmatrix}}$$

$P_k$  merupakan fungsi autokorelasi parsial yang dinotasikan sebagai  $\phi_{kk}$ .

## 2.2 Model ARIMA

Model ARIMA bisa berupa model non musiman dan musiman. Model ARIMA non musiman  $(p, d, q)$  adalah gabungan dari model *Autoregressive* (AR( $p$ )) dan *Moving Average* (MA( $q$ )) dengan *differencing* non musiman orde  $d$ . Model musiman ARIMA dapat dituliskan  $(P, D, Q)^s$ , dengan  $s$  merupakan periode musiman. Secara umum, model ARIMA Box-Jenkins adalah sebagai berikut.

$$\Phi_p(B^s) \phi_p(B) (1-B)^d (1-B^s)^D \dot{Z}_t = \theta_0 + \theta_q(B) \Theta_q(B^s) a_t \quad (2.5)$$

dimana :

$$\begin{aligned} \phi_p(B) &= (1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p) \\ \Phi_p(B^s) &= (1 - \Phi_1 B^s - \dots - \Phi_p B^{Ps}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\theta_q(B) &= (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \\
\Theta_Q(B^s) &= (1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_Q B^{Qs}) \\
a_t &= \text{deret } \textit{white noise}, a_t \sim \text{iidn}(0, \sigma_a^2) \\
(1 - B)^d &= \textit{differencing} \text{ non musiman dengan orde } d \\
(1 - B^s)^D &= \textit{differencing} \text{ musiman dengan orde } D \\
Z_t &= Z_t - \mu \\
\theta_0 &= \mu(1 - \phi_1 - \dots - \phi_p) \\
a_t &= \text{deret } \textit{white noise}, a_t \sim \text{iidn}(0, \sigma_a^2)
\end{aligned}$$

(Wei, 2006)

### 2.3 Pembentukan Model ARIMA

Ada beberapa tahap dalam pembentukan model ARIMA, antara lain: identifikasi model, estimasi parameter, uji signifikansi parameter, dan uji kesesuaian model.

#### 2.3.1 Identifikasi Model ARIMA

Beberapa tahapan identifikasi model menurut (Wei, 2006) adalah sebagai berikut.

1. Melihat *plot time series* untuk mengetahui karakteristik atau pola pada data.
2. Melihat pola ACF dan PACF data.
3. Melihat pola ACF dan PACF dari data yang sudah stasioner untuk menentukan model ARIMA dugaan.

#### 2.3.2 Estimasi Parameter Model ARIMA

Langkah berikutnya setelah menetapkan model sementara adalah estimasi parameter model. Salah satu metode yang digunakan yaitu *maximum likelihood*, untuk menduga parameter model ARIMA yaitu  $\phi$  dan  $\theta$ . Untuk fungsi *likelihood* nilai-nilai parameter yang memaksimalkan nilai dari fungsi *likelihood* disebut dugaan *maximum likelihood*.

#### 2.3.3 Uji Signifikansi Parameter

Setelah dilakukan identifikasi model dilakukan uji signifikansi parameter.

$$H_0 : \theta = 0$$

$$H_1 : \theta \neq 0$$

$$\text{Statistik uji : } t_{hit} = \frac{\hat{\theta}}{SE(\hat{\theta})} \quad (2.6)$$

Penolakan hipotesis jika  $|t_{hit}| > t_{\frac{\alpha}{2}, (n-n_p)}$  atau *p-value* kurang dari  $\alpha$ , artinya parameter signifikan.  $\hat{\theta}$  adalah nilai estimasi parameter,  $SE(\hat{\theta})$  merupakan standar *error* dari  $\hat{\theta}$ ,  $n$  adalah banyaknya pengamatan, dan  $n_p$  adalah banyaknya parameter yang ditaksir (Wei, 2006).

### 2.3.4 Uji Kesesuaian Model (*Diagnostic Checking*)

Terdapat dua asumsi dalam uji kesesuaian model, yaitu residual *white noise* dan residual berdistribusi normal.

#### 1. Uji *white noise* residual

Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah residual sudah mengikuti proses *white noise* atau tidak.

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_K = 0$$

$$H_1 : \text{minimal salah satu } \rho_k \neq 0; k = 1, \dots, K.$$

$$\text{Statistik uji : } Q = n(n+2) \sum_{k=1}^K (n-k)^{-1} \hat{\rho}_k^2 \quad (2.7)$$

Penolakan hipotesis apabila  $Q > \chi^2_{(1-\alpha; K-m)}$  atau *p-value* < dari  $\alpha$ .  $\hat{\rho}_k$  merupakan ACF sampel dari residual pada lag  $k$ ,  $K$  adalah maksimum lag,  $m=p+q$  (Wei, 2006).

#### 2. Uji kenormalan residual

Uji kenormalan residual dilakukan untuk melihat apakah residual model sudah berdistribusi normal atau tidak.

$$H_0 : F(x) = F^*(x)$$

$$H_1 : F(x) \neq F^*(x)$$

$$\text{Statistik uji : } D = \sup |S(x) - F^*(x)| \quad (2.8)$$

dimana :

$S(x)$  : distribusi empirik sampel acak, nilainya merupakan fungsi peluang kumulatif.

$F^*(x)$  : fungsi distribusi normal dengan *mean* dan varian tertentu,  $x \sim N(\mu, \sigma^2)$

$F(x)$  : fungsi distribusi yang tidak diketahui

Penolakan hipotesis jika  $D \geq K_{(1-\alpha, n)}$  dengan  $K_{(1-\alpha)}$  adalah nilai tabel *Kolmogorov-Smirnov* pada kuantil  $(1-\alpha)$  dan  $n$  merupakan ukuran sampel (Daniel, 1989).

## 2.4 Pemilihan Model ARIMA Terbaik

Pemilihan model terbaik dari beberapa model yang telah didapatkan maka digunakan kriteria *Akaike's Information Criterion (AIC)* untuk data *training*, yaitu :

$$AIC(M) = n \ln \hat{\sigma}_a^2 + 2M \quad (2.9)$$

dengan :

$M$  = banyaknya parameter dalam model

$\hat{\sigma}_a^2$  = nilai estimasi varian residual

$n$  = banyaknya observasi (pengamatan)

Semakin kecil nilai AIC maka semakin baik model yang digunakan (Wei, 2006)

## 2.5 Fungsi Transfer

Model fungsi transfer adalah suatu model yang menggambarkan nilai prediksi dari suatu *time series* (deret *output* atau  $y_t$ ) berdasarkan pada nilai-nilai masa lalu dari deret waktu itu sendiri ( $y_t$ ) dan berdasarkan pula pada data *time series* yang mempunyai hubungan (deret *input* atau  $x_t$  dengan deret *output*). Fungsi transfer merupakan salah satu metode *time series* yang digunakan untuk meramalkan nilai dari suatu *time series* dengan multivariabel, yaitu variabel independen dan dependen.

### 2.5.1 Model Fungsi Transfer

Bentuk umum dari model fungsi transfer dengan *single input* ( $x_t$ ) dan *single output* ( $y_t$ ) adalah sebagai berikut (Wei, 2006).

$$y_t = v(B)x_t + \eta_t \quad (2.10)$$

Dengan  $y_t$  dan  $x_t$  adalah deret *output* dan deret *input* yang telah stasioner,  $\eta_t$  adalah deret *noise* yang independen terhadap deret *input* ( $x_t$ ).

Dari persamaan (2.10) model fungsi transfer juga ditulis sebagai berikut.

$$y_t = \frac{w_s(B)B^b}{\delta_r(B)} x_t + \eta_t \text{ atau } y_t = \frac{w_s(B)B^b}{\delta_r(B)} x_t + \frac{\theta_q(B)}{\phi_p(B)} a_t \quad (2.11)$$

dimana

$$w_s(B) = \omega_0 - \omega_1 B - \omega_2 B^2 - \dots - \omega_s B^s$$

$$\delta_r(B) = 1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$$

$$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$$

### 2.5.2 Identifikasi Model Fungsi Transfer

Tahap awal dalam pembentukan model fungsi transfer adalah tahap identifikasi pada variabel deret *input* dan variabel deret *output*. Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan model fungsi transfer yang tepat untuk memodelkan hubungan antara deret *input* dan deret *output*.

#### 1. Mempersiapkan deret *input* dan *output*

Dalam pembentukan fungsi transfer data dari deret *input* maupun *output* harus stasioner baik dalam varian maupun mean.

#### 2. *Prewhitening* deret *input*

Tahap ini merupakan proses transformasi deret yang berkorelasi menuju deret yang bersifat *white noise* yang tidak berkorelasi. Proses ini menggunakan model ARMA untuk deret *input* ( $x_t$ ).

$$\alpha_t = \frac{\phi_x(B)}{\theta_x(B)} x_t \quad (2.12)$$

$\alpha_t$  adalah deret *input* yang mengalami *prewhitening* dan merupakan error *white noise*  $N(0, \sigma_a^2)$  dari model ARIMA untuk deret *input* ( $x_t$ ).

#### 3. *Prewhitening* deret *output*

Fungsi transfer merupakan pemetaan  $x_t$  ke dalam  $y_t$ , sehingga apabila diterapkan suatu transformasi *prewhitening* terhadap  $x_t$ , maka juga harus ditetapkan ke dalam  $y_t$  agar dapat mempertahankan integritas hubungan

fungsional. Deret  $y_t$  yang di-*prewhitening* akan menjadi  $\beta_t$  dengan persamaan berikut.

$$\beta_t = \frac{\phi_x(B)}{\theta_x(B)} y_t \quad (2.13)$$

$\beta_t$  adalah deret *output* ( $y_t$ ) yang mengalami *prewhitening* yang merupakan deret error yang bersifat *white noise*.

4. Menentukan nilai CCF (*Cross Correlation Function*)

CCF (*Cross Correlation Function*) digunakan untuk mendeteksi dan mengukur hubungan kekuatan antara  $\alpha_t$  dan  $\beta_t$ .

$$\gamma_{xy}(k) = E[(x_t - \mu_x)(y_{t+k} - \mu_y)] \quad (2.14)$$

$$\rho_{xy}(k) = \frac{\gamma_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2.15)$$

$$\hat{\rho}_{\alpha\beta}(k) = \frac{\gamma_{\alpha\beta}(k)}{\sigma_\alpha \sigma_\beta} \quad (2.16)$$

5. Penetapan ( $b$ ,  $s$ ,  $r$ ) yang menghubungkan deret *input* dan deret *output* (model fungsi transfer). Terdapat beberapa aturan yang digunakan untuk menduga nilai  $b$ ,  $s$ , dan  $r$  pada fungsi transfer (Wei, 2006).

- a. Nilai  $b$  menyatakan bahwa  $y_t$  tidak dipengaruhi oleh nilai  $x_t$  sampai periode  $t+b$ , besarnya  $b$  adalah lag bobot respon impuls yang pertama tidak berbeda dari nol.
- b. Nilai  $s$  menyatakan bahwa berapa lama deret *output* ( $y_t$ ) secara terus-menerus dipengaruhi oleh nilai-nilai baru dari deret *input* ( $x_t$ ).
- c. Nilai  $r$  menunjukkan bahwa  $y_t$  berkaitan dengan nilai-nilai masa lalunya.  $r=0$  bila jumlah bobot respon impulse hanya terdiri dari beberapa lag yang kemudian terpotong,  $r=1$  bila bobot respon impuls menunjukkan suatu pola eksponensial menurun.  $r=2$  adalah bila bobot respon impuls menunjukkan pola

eksponensial menurun dan pola sinusoidal (Makridakis *et al*, 1999).

6. Penaksiran awal deret *noise* ( $\eta_t$ )

$$\hat{\eta} = y_t - \frac{\hat{\omega}_s(B)}{\hat{\delta}_r(B)} x_{t-b} \quad (2.17)$$

7. Penentuan model deret *noise* ARMA ( $p_n, q_n$ )

$$\phi_B n_t = \theta(B) a_t \quad (2.18)$$

### 2.5.3 Tahap Estimasi Paramater Model Fungsi Transfer

Apabila residual memenuhi asumsi *white noise* dan  $N(0, \sigma_a^2)$  dapat digunakan metode *maximum likelihood* untuk mengestimasi parameter  $\delta, \omega, \phi, \theta$  dengan fungsi *log-likelihood* sebagai berikut.

$$L(\delta, \omega, \phi, \theta, \sigma_a^2 | b, x, y, x_0, y_0, a_0) = (2\pi\sigma_a^2)^{-n/2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_a^2} \sum_{t=1}^n a_t^2\right] \quad (2.19)$$

### 2.5.4 Pengujian Signifikansi Parameter Model Fungsi Transfer

Hipotesis yang digunakan untuk pengujian signifikansi parameter dalam model fungsi transfer adalah sebagai berikut.

$H_0$  : parameter model tidak signifikan

$H_1$  : parameter model signifikan

Statistik uji :

$$t_{hitung} = \frac{\hat{L}_i}{stdev(\hat{L}_i)}, \hat{L}_i \text{ merupakan parameter } \omega_i, \delta_i, \phi_i, \theta_i \quad (2.20)$$

$H_0$  ditolak apabila  $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2(n-M)}$  yang artinya bahwa parameter model adalah signifikan, dimana  $n$  menunjukkan jumlah data dan  $M$  adalah jumlah parameter yang ditaksir.

### 2.5.5 Uji Kesesuaian Model Fungsi Transfer

Untuk selanjutnya, dari model fungsi transfer sementara yang didapatkan diuji kesesuaian modelnya. adapun langkah-langkah dalam uji kesesuaian model adalah sebagai berikut.

1. Pengujian *cross correlation* ( $\hat{\rho}_{\alpha\hat{a}(k)}$ ) antara residual model deret *noise* ( $\hat{a}_t$ ) dan deret *input* yang telah

mengalami *prewhitening* ( $\alpha_t$ ), tujuannya untuk mengetahui bahwa kedua deret tersebut bersifat independen. Cara mendeteksi sifat independennya dengan memperhatikan nilai *cross correlation* ( $\hat{\rho}_{\alpha\hat{\alpha}(k)}$ ) tidak ada yang melebihi interval *standard error*  $\pm 2(n-k)^{-1/2}$ .

2. Pengujian autokorelasi residual model deret *noise* ( $\hat{\alpha}_t$ ) atau disebut juga uji *white noise* menggunakan statistik uji *Ljung-Box*. Selain itu, dilakukan juga uji residual model deret *noise* ( $\hat{\alpha}_t$ ) berdistribusi normal dengan menggunakan statistik uji *Kolmogorov-Smirnov*.

### 2.5.6 Pemilihan Model Terbaik Model Fungsi Transfer

Pemilihan model terbaik digunakan untuk memilih satu model terbaik berdasarkan pada residual yang dihasilkan, salah satunya dengan *Akaike's Information Criterion (AIC)* untuk data *training*, yaitu :

$$AIC(M) = n \ln \hat{\sigma}_a^2 + 2M \quad (2.21)$$

dengan :

$M$  = banyaknya parameter dalam model

$\hat{\sigma}_a^2$  = nilai estimasi varian residual

$n$  = banyaknya observasi (pengamatan)

Semakin kecil nilai AIC maka semakin baik model yang digunakan (Wei, 2006). Sedangkan pemilihan model terbaik pada data *testing* menggunakan RMSE dengan rumus sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} \quad (2.22)$$

Model terbaik adalah model yang mempunyai nilai RMSE terkecil.

### 2.6 Logika Fuzzy

Konsep logika *fuzzy* yang sangat sistematis pertama kali diusulkan oleh Dr. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965

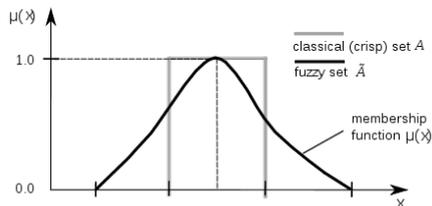
(Kusumadewi, 2010). Konsep dasar logika *fuzzy* adalah himpunan *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* adalah himpunan dimana keanggotaan dari tiap elemennya tidak mempunyai batas yang jelas (Jang, 1997). Himpunan ini mempunyai konsep yang kontras dengan himpunan klasik. Ruang *input* (berupa kurva) yang diberikan dipetakan menjadi bobot atau derajat keanggotaan melalui suatu fungsi yang disebut fungsi keanggotaan (*membership function*). Adapun beberapa jenis fungsi keanggotaan adalah sebagai berikut.

1. *Gaussian* MF

Kurva berbentuk seperti lonceng. Parameter pada fungsi ini adalah sebanyak 2, yaitu  $a$  dan  $c$  yang diberikan pada persamaan fungsi berikut.

$$f(x; a, c) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2a^2}} \quad (2.23)$$

Berikut adalah kurva dari fungsi keanggotaan *Gaussian* MF.



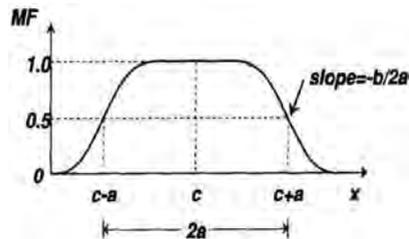
**Gambar 2.1.** *Gaussian* MF

2. *Generalized bell* MF

Bentuk kurva sama seperti *Gaussian*, namun puncaknya dapat berubah lancip atau mendatar tergantung perubahan parameternya. Fungsi keanggotaan *Generalized bell* ditentukan oleh parameter  $\{a, b, c\}$  yang didefinisikan sebagai berikut.

$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.24)$$

Parameter  $b$  selalu positif, agar kurva selalu menghadap ke bawah, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.2. Generalized bell MF

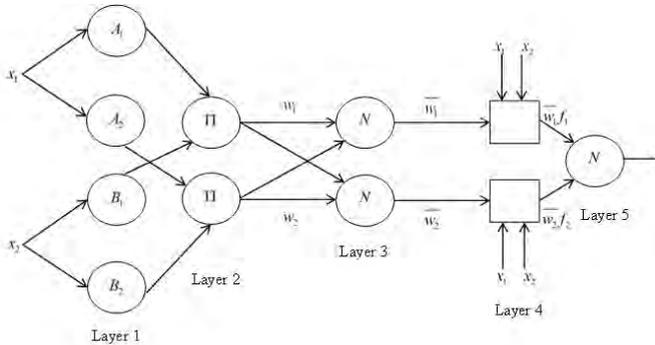
## 2.7 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) merupakan gabungan dari *Artificial Neural Network* (ANN) dan *Fuzzy Inference System* (FIS). Parameter ANFIS dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu parameter premis dan konsekuensi yang dapat diadaptasikan dengan algoritma pembelajaran *hybrid*. Algoritma pembelajaran *hybrid* dilakukan dalam dua langkah yaitu langkah maju dan langkah mundur.

Model inferensi *fuzzy* yang umum digunakan adalah model *fuzzy* Sugeno. Karakteristik dari model ini adalah konsekuen bukan himpunan *fuzzy*, namun merupakan suatu persamaan linier dengan variabel-variabel yang sesuai dengan variabel-variabel *input* yang digunakan. Model *fuzzy* Sugeno merupakan pendekatan sistematis pembangkitan aturan *fuzzy* dari himpunan data *input-output* yang diberikan. Aturan *fuzzy*-nya berbentuk *IF x is A AND y is B THEN  $z=f(x,y)$* .

Arsitektur ANFIS Sugeno terdiri dari lima layer dan pada setiap layer terdapat dua macam *node* yaitu *node* adaptif (simbol kotak) dan *node* tetap (simbol lingkaran). Arsitektur dari ANFIS sama dengan jaringan syaraf dengan fungsi radial dan sedikit batasan tertentu. Misalkan ada 2 input  $x_1, x_2$  dan satu *output*  $y$ .

Bentuk dari struktur ANFIS yang terkenal adalah inferensi model Sugeno yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Berikut merupakan fungsi pada tiap layer dimana  $O_{ji}$  merupakan *output* dari masing-masing layer ( $j=1,2,3,4,5$  dan  $i=1,2,3,4$ ).



**Gambar 2.3.** Arsitektur ANFIS secara umum

### Layer 1 (Fuzzyfikasi)

Setiap *node*  $i$  pada layer 1 ini adalah *node* adaptif dengan fungsi *node* sebagai berikut.

$$O_{1i,t} = \mu_{A_i}(x), i = 1, 2 \text{ dan } t = 1, 2, \dots, n \quad (2.25)$$

$$O_{1i,t} = \mu_{B_i}(y), i = 1, 2 \text{ dan } t = 1, 2, \dots, n \quad (2.26)$$

$\mu_{A_i}(x)$  merupakan derajat keanggotaan dari *input*  $x$  pada himpunan *fuzzy*  $A (=A_1, A_2)$  dan  $\mu_{B_i}(y)$  merupakan derajat keanggotaan dari *input*  $y$  pada himpunan *fuzzy*  $B (=B_1, B_2)$ .

### Layer 2 (Operasi Logika Fuzzy)

Setiap *node* pada layer ini adalah non adaptif. *Output* dari *node* ini adalah hasil perkalian dari *input* masukan.

$$O_{2i,t} = w_{i,t} = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \quad (2.27)$$

Setiap *node* merepresentasikan *firing strength* dari tiap aturan. Biasanya digunakan aturan AND.

### Layer 3 (Normalized Firing Strength)

Setiap *node* pada lapisan ini juga non adaptif. *Output node* ini adalah rasio dari *firing strength* aturan ke- $i$  dengan penjumlahan seluruh *firing strength*.

$$O_{3i,t} = \bar{w}_{i,t} = \frac{w_{i,t}}{\sum_i w_{i,t}} \quad (2.28)$$

*Output* dari lapisan ini disebut derajat pengaktifan ternormalisasi (*normalized firing strength*).

#### **Layer 4 (Defuzzyfikasi)**

Setiap *node* pada layer ini adalah *node* yang bersifat adaptif dengan fungsi sebagai berikut.

$$O_{4i,t} = \bar{w}_{i,t} f_{i,t} = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (2.29)$$

$\bar{w}_i$  merupakan derajat pengaktifan ternormalisasi dari layer 3,  $(p_i, q_i, r_i)$  adalah himpunan parameter dari *node* tersebut dan disebut sebagai parameter konsekuen.

#### **Layer 5 (Perhitungan Output)**

*Node* pada lapisan ini adalah *node* non adaptif. *Output* dari *node* ini adalah penjumlahan dari seluruh *output* dari lapisan ke 4.

$$O_{5,t} = \sum_i \bar{w}_{i,t} f_{i,t} \quad (2.30)$$

ANFIS menggunakan suatu prosedur *hybrid learning* yang terdiri atas dua langkah, yaitu langkah maju dan langkah mundur (Widodo, 2005).

Pada langkah maju, parameter premis tetap, sedangkan pada parameter konsekuen diidentifikasi dengan metode LSE (*Least Square Estimation*).

Pada langkah mundur sinyal *error* antara *output* yang diinginkan dan *output* aktual dirambatkan mundur sedangkan parameter premis diperbarui dengan metode *Error Backpropagation* (EBP).

## **2.8 Angin dan Gelombang**

Angin merupakan aliran udara dari suatu tempat ke tempat lain yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara dan suhu udara pada suatu wilayah. Pada suatu wilayah yang menerima energi panas matahari lebih banyak akan mempunyai suhu udara yang lebih panas dan tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan suhu dan tekanan udara akan terjadi antara daerah yang menerima energi panas lebih besar dengan daerah lain yang lebih sedikit

menerima energi panas sehingga terjadi aliran udara pada wilayah tersebut (Anonim, 2008). Menurut (Thompson, 1983), semakin panas iklim maka semakin jauh dan semakin cepat angin bergerak. Angin mulai bertiup bila udara panas yang memuai naik ke atas dan udara dingin yang mengerut turun ke bawah. Gerakan angin disebabkan oleh bekerjanya gaya yang mendorong udara dari daerah tekanan tinggi ke tekanan rendah.

Kecepatan angin terbagi menjadi beberapa tingkatan berdasarkan kecepatannya. Skala Beaufort merupakan salah satu sistem pencatatan kecepatan angin yang ditemukan oleh Francis Beaufort (1774-1857) pada tahun 1806. Skala ini terdiri dari skala numerik dengan selang antara 0 sampai 12, 0 untuk keadaan angin yang tenang dan 12 untuk angin ribut. Pelaut dan peramal cuaca menggunakan skala angin Beaufort untuk menstandarkan kecepatan angin. Skala ini dikategorikan berdasarkan akibatnya terhadap gelombang di lautan. Tabel berikut merupakan tabel skala angin Beaufort.

**Tabel 2.1** Skala Beaufort

Skala Beaufort	Kecepatan Angin (km/jam)	Dampak Gelombang di Lautan
0	Dibawah 1	Laut datar dan tampak seperti cermin
1	1-6	Tampak riak yang tidak berbuih
2	7-12	Terbentuk gelombang kecil
3	13-19	Terbentuk gelombang yang agak besar, terdapat buih pada puncaknya
4	20-30	Gelombang dengan buih pada puncak yang lebih banyak
5	31-39	Terbentuk gelombang berukuran sedang
6	40-50	Gelombang besar terbentuk, dengan banyak buih pada puncaknya
7	51-62	Laut bergejolak
8	63-74	Terbentuk gelombang yang cukup besar, lapisan buih tampak nyata
9	75-87	Gelombang tinggi, garis-garis putih yang padat, puncak gelombang mulai pecah dan semburan air mengganggu

**Tabel 2.1** (lanjutan)

10	88-101	Gelombang sangat tinggi dengan puncak yang panjang, secara keseluruhan laut terlihat putih
11	102-117	Gelombang amat sangat tinggi, permukaan laut tertutup penuh tampal-tampal putih buih, penglihatan terganggu
12	>118	Udara penuh dengan semburan air dan buih, laut seluruhnya putih karena semburan air.

Sumber : *Microsoft* ® *Encarta* ® *Encyclopedia* 2005

Gelombang memiliki sifat-sifat tertentu yang dapat dipengaruhi oleh 3 bentuk angin :

1. Kecepatan angin, umumnya makin kencang angin bertiup maka makin besar gelombang yang terbentuk dan gelombang ini mempunyai kecepatan yang tinggi dan panjang gelombang yang besar.
2. Ketika angin sedang bertiup, tinggi, kecepatan dan panjang gelombang seluruhnya cenderung meningkat sesuai dengan meningkatnya waktu pada saat angin pembangkit gelombang mulai bertiup.
3. Jarak tanpa rintangan ketika angin bertiup (*fetch*). *Fetch* di lautan lebih besar daripada *fetch* di danau sehingga panjang gelombang yang terbentuk di lautan lebih panjang hingga mencapai ratusan meter.

Pengukuran parameter gelombang dapat dilakukan secara visual maupun dengan instrumen. Pengukuran secara visual biasanya hanya dapat dilakukan pada kondisi sesaat, biasanya alat yang digunakan adalah *View Box* (sudut refraksi), papan berskala (tinggi gelombang) dan *stop watch* untuk pengukuran periode gelombang. *Altimetry* adalah salah satu teknik untuk mengukur ketinggian gelombang laut pada koordinat tertentu. Satelit *altimetry* mengambil data pada waktu tertentu dengan menggunakan radar mengelilingi angkasa dari satelit antena ke

permukaan laut dan dikembalikan lagi ke satelit penerima. Pada tahun 1970 *altimetry* mulai melakukan pengukuran data fisik, kimia, keadaan dinamis dari daratan lautan, atmosfer dan biosphere. Beberapa satelit yang telah diluncurkan oleh *altimetry* diantaranya adalah ERS (1991-1996), Topex atau Poseidon (sejak 1992), ERS-2 (sejak 1995), dan Jason-1. Satelit-satelit ini menyediakan data lokasi, pengumpulan data, mengukur suhu, konsentrasi klorofil dan kecepatan angin di permukaan laut.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Sumber Data**

Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari penelitian yang berjudul “Perencanaan Bangunan *Seawall* Pantai Panceng Gresik” pada Project TRB-1 oleh Novananda Sena Putra jurusan Teknik Kelautan ITS pada Tahun 2014. Data tersebut diambil dari titik pengamatan yang berdasarkan jalur pada titik pengamatan Longitude 112,683100 E dan Latitude 7,224321 S. Data tersebut adalah data kecepatan angin dengan satuan *knots* ( $1 \text{ Knot} = 0.514 \text{ m/detik}$  atau  $1.852 \text{ km/jam}$ ) dan ketinggian gelombang dengan satuan meter. Data diambil setiap periode pengamatan (tiap jam) setiap harinya untuk masing-masing variabel. Ketinggian gelombang laut berdasarkan kecepatan angin yang akan diramalkan dibagi menjadi dua kriteria yaitu *training* dan *testing*. Data kecepatan angin dan ketinggian gelombang keseluruhan diambil dari tanggal 1 Oktober 2013 sampai dengan 24 September 2014. Data *training* digunakan data dari tanggal 1 Oktober 2013 sampai dengan 14 September 2014. Tanggal 15 September sampai dengan tanggal 24 September 2014 digunakan sebagai data *testing*.

#### **3.2 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian yang akan digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

- a. Kecepatan angin yang diamati tiap jam ( $x_i$ ).
- b. Ketinggian gelombang laut yang diamati tiap jam ( $y_i$ ).

#### **3.3 Langkah Analisis**

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membuat statistika deskriptif dari masing-masing variabel yaitu variabel kecepatan angin dan ketinggian gelombang untuk mengetahui karakteristiknya.

2. Meramalkan ketinggian gelombang dengan metode fungsi transfer dengan tahapan sebagai berikut.

**Langkah 1:** Pembentukan model ARIMA untuk deret *input* kecepatan angin ( $x_t$ ).

1. Mempersiapkan data deret *input* ( $x_t$ ) dan data deret *output* ( $y_t$ ).
2. Membuat *plot time series*, *plot ACF* dan *plot PACF* pada data deret *input*.
3. Mengidentifikasi model.
4. Melakukan penaksiran parameter dalam model ARIMA deret *input*.
5. Melakukan pengujian signifikansi parameter model ARIMA untuk deret *input*.
6. Melakukan uji model ARIMA yakni uji *white noise* dan uji kenormalan residual.
7. Menentukan model ARIMA terbaik yang sesuai untuk kecepatan angin.

**Langkah 2:** Analisis menggunakan model fungsi transfer.

1. Melakukan *prewhitening* deret *input* sehingga deret *input* menjadi *white noise* ( $\alpha_t$ ).
2. Melakukan *prewhitening* deret *output* sehingga deret *output* menjadi *white noise* ( $\beta_t$ ).
3. Menghitung CCF (*Cross Correlation Function*) antara deret *input* dan deret *output*.
4. Mendapatkan nilai  $b$ ,  $s$ , dan  $r$  model fungsi transfer berdasarkan CCF.
5. Melakukan penaksiran awal deret *noise*.
6. Menentukan  $p$  dan  $q$  model ARIMA dari deret *noise*.
7. Melakukan penaksiran parameter-parameter model fungsi transfer.
8. Melakukan *Diagnostic Checking*.
9. Melakukan peramalan ketinggian gelombang menggunakan model fungsi transfer.

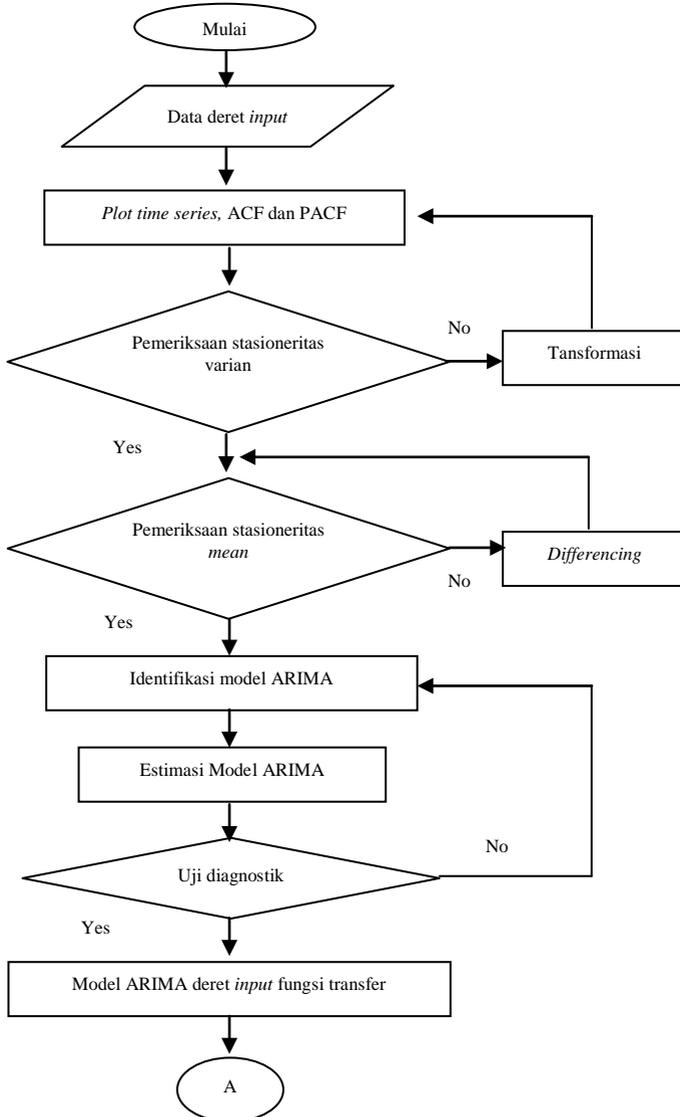
3. Meramalkan ketinggian gelombang dengan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dengan tahapan sebagai berikut.

**Langkah 3:** Analisis menggunakan model ANFIS dengan tahapan sebagai berikut.

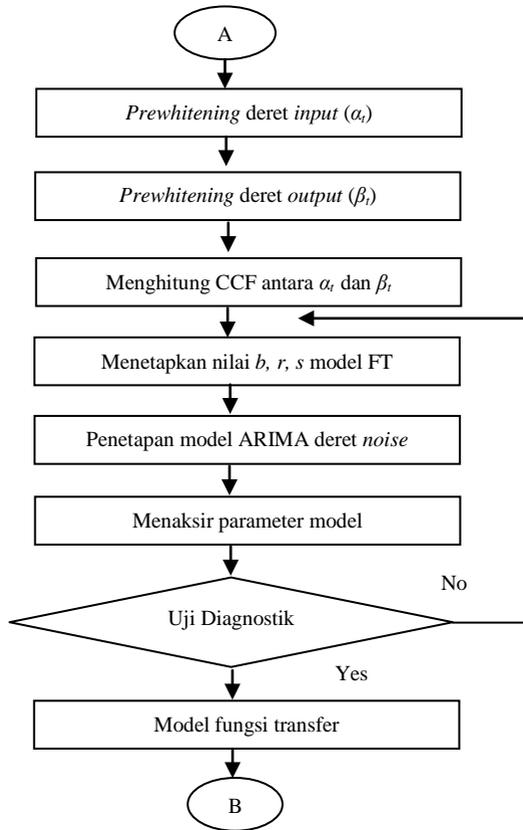
1. Menentukan *input* ANFIS berdasarkan model fungsi transfer.
2. Menentukan model peramalan ANFIS.
3. Model peramalan untuk ANFIS didasarkan pada kriteria-kriteria sebagai berikut.
  - Banyaknya fungsi keanggotaan yang digunakan adalah 2,3,dan 4.
  - Jenis fungsi keanggotaan yang digunakan adalah sebanyak 2 yaitu : *Gaussian MF*, *Generalized bell MF*.
4. Mendapatkan hasil ramalan dari masing-masing fungsi keanggotaan.
5. Menghitung nilai RMSE dari masing-masing fungsi keanggotaan.
4. Membandingkan tingkat keakuratan prediksi dari metode Fungsi Transfer dengan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS).

### **Diagram Alir**

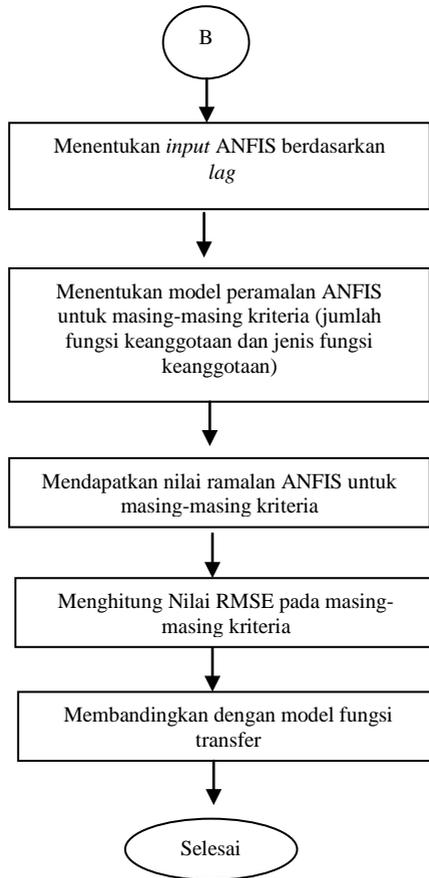
Urutan pelaksanaan pengerjaan Tugas Akhir yang akan dilakukan adalah mengikuti diagram alir sebagai berikut:



**Gambar 3.1.** Diagram Alir Metode ARIMA untuk Deret *Input* Kecepatan Angin (Langkah 1)



**Gambar 3.2.** Diagram Alir Metode Peramalan Fungsi Transfer (Langkah 2)



**Gambar 3.3.** Diagram Alir Metode Peramalan ANFIS (Langkah 3)

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dibahas tentang hasil penelitian terhadap ketinggian gelombang laut yang didasarkan pada kecepatan angin di wilayah Pantai Panceng Gresik, Jawa Timur. Sebelum melakukan peramalan, terlebih dahulu disajikan analisis statistika deskriptif dari data untuk diketahui karakteristiknya. Selanjutnya, analisis yang digunakan untuk peramalan adalah Fungsi Transfer dan ANFIS.

#### **4.1 Karakteristik Kecepatan Angin dan Ketinggian Gelombang Laut di Pantai Panceng Gresik**

Analisis statistika deskriptif ini digunakan untuk mengetahui karakteristik angin dan gelombang laut yang ada di Pantai Panceng Gresik. Karakteristik yang diamati adalah berupa variabel kecepatan angin, arah angin datang dan ketinggian gelombang laut yang dikategorikan berdasarkan hasil pengamatan tiap jam serta tiap bulan dalam satu tahun.

**Tabel 4.1** Hasil Analisis Deskriptif Data Kecepatan Angin setiap periode pengamatan (tiap jam)

Jam	Rata-Rata	Standar Deviasi	Minimum	Maksimum
00.00	2,3013	1,103	0,32	8,97
01.00	2,2439	1,0963	0,21	9,11
02.00	2,211	1,1	0,11	9,27
03.00	2,205	1,1127	0,11	9,46
04.00	2,2259	1,1336	0,18	9,68
05.00	2,2733	1,1622	0,18	9,93
06.00	2,3464	1,1963	0,23	10,2
07.00	2,4399	1,2418	0,26	10,49
08.00	2,3442	1,1901	0,15	10,02
09.00	2,27	1,1495	0,18	9,57
10.00	2,2179	1,1215	0,06	9,13
11.00	2,1915	1,1043	0,06	8,7
12.00	2,1951	1,0918	0,22	8,29
13.00	2,2265	1,0887	0,13	7,9

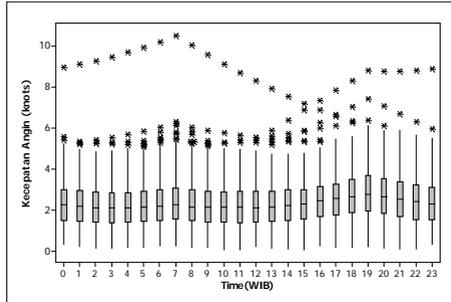
**Tabel 4.1** (lanjutan)

Jam	Rata-Rata	Standar Deviasi	Minimum	Maksimum
14.00	2.2835	1,0948	0,1	7,52
15.00	2.3644	1,1119	0,07	7,18
16.00	2.466	1,1428	0,23	7,34
17.00	2.5825	1,1893	0,18	7,83
18.00	2.7135	1,25	0,16	8,31
19.00	2.856	1,3232	0,19	8,8
20.00	2.7118	1,2609	0,12	8,76
21.00	2.582	1,2046	0,1	8,77
22.00	2.4684	1,156	0,09	8,8
23.00	2.3714	1,1203	0,31	8,87

Berdasarkan Tabel 4.1 di atas, ditunjukkan bahwa rata-rata tertinggi untuk data kecepatan angin (satuan *knots*) di Pantai Panceng Gresik Jawa Timur adalah 2,8560 *knots* atau setara dengan 5,2893 Km/Jam yang dikategorikan sebagai angin ringan. Rata-rata kecepatan tertinggi terjadi pada Pengamatan Pukul 19.00 WIB. Rata-rata kecepatan angin terendah ditunjukkan pada siang hari yaitu pada Pengamatan Pukul 11.00 WIB yaitu sebesar 2,1915 atau setara dengan 4,0538 Km/Jam yang dikategorikan sebagai angin ringan. Rentang antara nilai rata-rata kecepatan angin tertinggi dengan rata-rata terendah tidak terlalu besar yaitu hanya sebesar 0,6761 *knot*.

Pada tanggal 7 Februari 2014 Pengamatan Pukul 06.00, 07.00 dan 08.00 terdapat kecepatan angin maksimum yang cukup kencang. Kecepatan angin tertinggi dari keseluruhan terjadi pada tanggal 7 Februari 2014 Pengamatan Pukul 07.00 WIB yang memiliki nilai sebesar 10,49 *knot* sehingga menunjukkan kategori angin sedang. Nilai tersebut memiliki rentang yang cukup jauh bila dibandingkan dengan rata-rata secara umumnya. Sedangkan kecepatan terendah adalah 0,06 *knot* yang terjadi pada tanggal 14 Nopember 2013 Pengamatan Pukul 10.00 WIB.

Berikut ini akan ditampilkan *Box Plot* untuk kriteria setiap periode pengamatan (tiap jam) dari data kecepatan angin untuk mengetahui pola sebaran data.



**Gambar 4.1** *Box Plot* Kecepatan Angin Tiap Jam

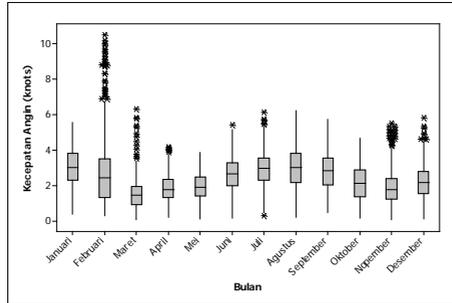
Berdasarkan Gambar 4.1 terdapat banyak data yang *outlier* dengan nilai lebih tinggi dari rata-ratanya. Hal ini menunjukkan kecepatan angin di Pantai Panceng Gresik cukup berfluktuatif.

Selanjutnya kecepatan angin dianalisis secara statistika deskriptif dengan kriteria per bulan. Dari hasil analisis dapat diketahui apakah terdapat pola tertentu dari kecepatan angin tiap bulannya.

**Tabel 4.2** Hasil Analisis Deskriptif Data Kecepatan Angin per Bulan

Bulan	Rata-Rata	Standar Deviasi	Minimum	Maksimum
Januari	3,0653	1,0227	0,39	5,53
Februari	2,7475	1,898	0,26	10,49
Maret	1,4923	0,8137	0,07	6,29
April	1,8505	0,7677	0,19	4,17
Mei	1,9283	0,7178	0,10	3,84
Juni	2,6132	0,9411	0,13	5,40
Juli	2,9329	0,9134	0,29	6,10
Agustus	2,9823	1,2431	0,17	6,22
September	2,8393	1,0276	0,44	5,74
Oktober	2,1342	0,953	0,14	4,64
Nopember	1,8692	0,9599	0,06	5,48
Desember	2,2044	0,9508	0,12	5,79

Nilai rata-rata kecepatan angin jika dikelompokkan per bulan lebih menunjukkan fluktuasi. Bulan Januari menunjukkan rata-rata yang tertinggi yaitu sebesar 3,0653 *knot* atau setara dengan 5,6769 Km/Jam. Sedangkan rata-rata kecepatan angin terendah terjadi pada bulan Maret 2014 sebesar 1,4923 *knot* atau setara dengan 2,7234 Km/Jam.



**Gambar 4.2** Box Plot Kecepatan Angin Tiap Bulan

Dari *Box Plot* pada Gambar 4.2, pada bulan Februari 2014 terdapat banyak nilai *outlier* yang terjadi. Hal tersebut bisa dikarenakan pada bulan Februari 2014 kondisi cuaca menunjukkan keadaan ekstrem, ditandai dengan kecepatan angin yang berfluktuasi cukup tinggi.

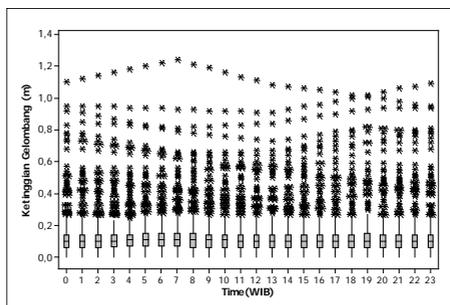
**Tabel 4.3** Hasil Analisis Deskriptif Data Ketinggian Gelombang Laut setiap periode pengamatan (tiap jam)

Jam	Rata-Rata	Standar Deviasi	Maksimum
00.00	0,13526	0,14989	1,10
01.00	0,13549	0,15058	1,12
02.00	0,13602	0,14883	1,14
03.00	0,13705	0,14764	1,16
04.00	0,13741	0,14638	1,18
05.00	0,13799	0,1457	1,20
06.00	0,13838	0,14541	1,22
07.00	0,13889	0,14465	1,24
08.00	0,13766	0,14316	1,21
09.00	0,13616	0,14211	1,19
10.00	0,13479	0,1409	1,16

**Tabel 4.3** (lanjutan)

11.00	0,13331	0,14003	1,13
12.00	0,13203	0,13971	1,11
13.00	0,13056	0,13908	1,08
14.00	0,13128	0,14016	1,07
15.00	0,13173	0,14192	1,06
16.00	0,13226	0,1435	1,05
17.00	0,13292	0,14529	1,04
18.00	0,13326	0,14737	1,02
19.00	0,13357	0,14981	1,02
20.00	0,13398	0,14984	1,04
21.00	0,1344	0,14938	1,06
22.00	0,13462	0,14921	1,07
23.00	0,13493	0,14971	1,09

Ketinggian gelombang laut yang terjadi di Pantai Panceng Gresik menunjukkan nilai yang cukup stabil. Rata-rata ketinggian gelombang laut tiap jam tidak lebih dari 0,14 meter. Akan tetapi, nilai maksimum yang terjadi ada yang menunjukkan lebih dari 1 meter. Analisis deskriptif dengan kriteria per bulan dapat menunjukkan di bulan-bulan mana saja yang terjadi gelombang cukup tinggi ini. Sebelumnya, sebaran data untuk ketinggian gelombang setiap periode pengamatan (tiap jam) disajikan dalam gambar berikut.



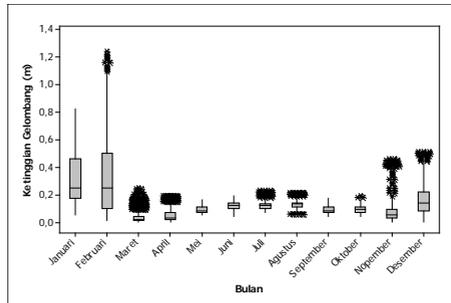
**Gambar 4.3** *Box Plot* Ketinggian Gelombang Laut Setiap periode pengamatan (tiap jam)

Gambar 4.3 di atas menunjukkan pola sebaran data ketinggian gelombang laut di Pantai Panceng Gresik Jawa Timur dengan pengelompokan setiap periode pengamatan (tiap jam). Pada tiap jam terdapat titik-titik yang menunjukkan nilai *outlier* di atas rata-rata. Untuk lebih jelas pada periode mana nilai-nilai *outlier* tersebut terjadi, selanjutnya dilakukan analisis ketinggian gelombang laut dengan pengelompokan per bulan sebagai berikut.

**Tabel 4.4** Hasil Analisis Deskriptif Data Ketinggian Gelombang Laut per Bulan

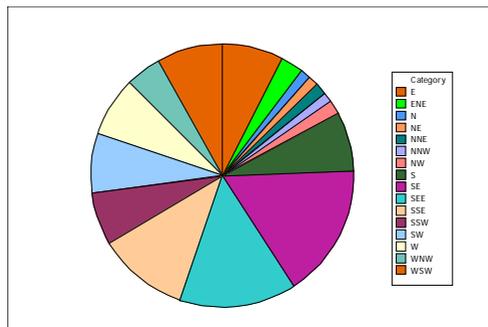
Bulan	Rata-Rata	Standar Deviasi	Minimum	Maksimum
Januari	0,313210	0,18105	0,05	0,82
Februari	0,349200	0,3048	0,01	1,24
Maret	0,037280	0,0491	0,00	0,25
April	0,051680	0,04628	0,00	0,19
Mei	0,089422	0,025264	0,05	0,16
Juni	0,118460	0,02734	0,04	0,19
Juli	0,118450	0,02953	0,07	0,23
Agustus	0,127630	0,02974	0,06	0,21
September	0,09057	0,02678	0,04	0,17
Oktober	0,090430	0,02432	0,04	0,19
Nopember	0,077110	0,08693	0,00	0,46
Desember	0,159230	0,11145	0,00	0,51

Ketinggian gelombang laut menunjukkan rata-rata tertinggi terjadi pada bulan Februari 2014 yaitu sebesar 0,3492 meter. Ketinggian gelombang laut maksimumpun juga terjadi pada bulan Februari yakni sebesar 1,24 meter. Rata-rata ketinggian gelombang laut di Pantai Panceng Gresik terendah terjadi pada bulan Maret 2014 sebesar 0,0372 meter. Sedangkan gelombang menunjukkan nilai minimumnya yaitu setinggi 0 meter yang berarti tidak terjadi gelombang pada bulan Maret, April, Nopember, dan Desember. Berikut disajikan *Box-Plot* dari data dengan pengelompokan per bulan dalam satu tahun untuk mengetahui karakteristik persebaran data ketinggian gelombang di Pantai Penceng Kabupaten Gresik.



**Gambar 4.4** Box Plot Ketinggian Gelombang Laut per Bulan

Ketinggian gelombang laut paling tinggi terjadi saat bulan Februari 2014. Nilai tersebut memiliki rentang yang jauh dari rata-rata per bulannya. Sebagian besar *outlier* yang terjadi berada di atas nilai rata-ratanya. Hal tersebut mengindikasikan bahwa tiap bulan terjadi ketinggian gelombang yang fluktuatif di atas rata-rata. Bulan Mei, Juni, dan September tergolong bulan dengan kondisi laut yang relatif tenang ditandai dengan tidak adanya titik *outlier* pada bulan tersebut serta jangkauan antara ketinggian maksimum dengan ketinggian minimum yang relatif sempit.



**Gambar 4.5** Pie Chart Arah Angin Datang

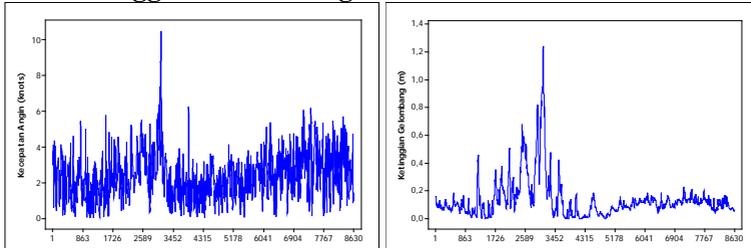
Berdasarkan Gambar 4.5 di atas dapat dilihat bahwa arah kedatangan angin paling sering terjadi pada arah SE (*Southeast*) atau biasa disebut tenggara dari lokasi pengamatan yaitu

sebanyak 16,4% dari total data pengamatan. Arah angin terbanyak selanjutnya adalah SEE (*South Easteast*) yaitu Selatan Menenggara. Sedangkan arah angin paling sedikit datang dari NNW (*North Northwest*) biasa disebut utara barat laut yaitu hanya sebesar 1,1%.

## 4.2 Peramalan Harian Ketinggian Gelombang Laut Berdasarkan Kecepatan Angin Menggunakan Metode Fungsi Transfer pada Tiap Periode Pengamatan

Sebelum melakukan peramalan terhadap ketinggian gelombang laut berdasarkan kecepatan angin di Pantai Panceng Gresik Jawa Timur, terlebih dahulu dilihat pola data berdasarkan *Time Series Plot*. Berikut pada Gambar 4.7 ditampilkan *Time Series Plot* untuk data keseluruhan sebelum dipotong dari tanggal 1 Oktober 2013 sampai dengan 24 September 2014.

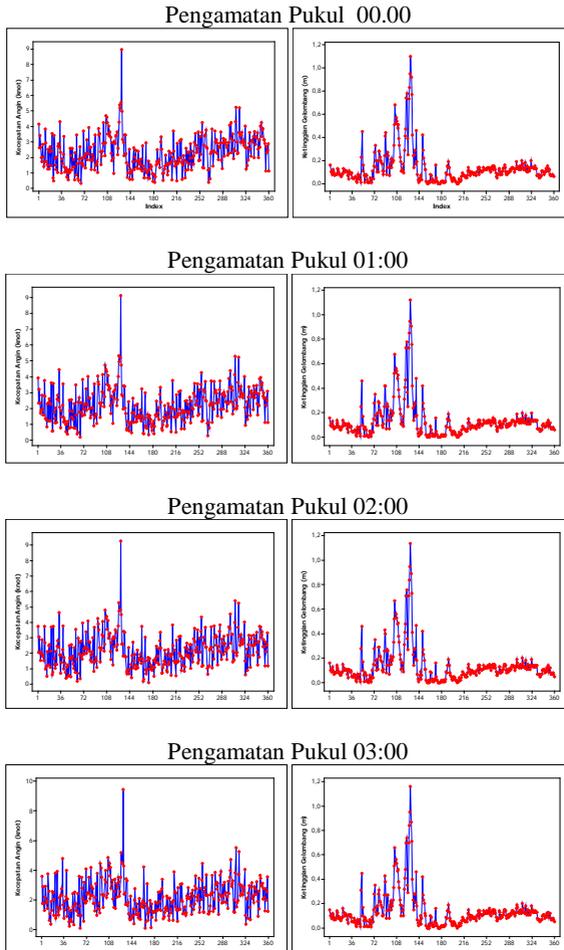
### 4.2.1 Identifikasi Model Data Kecepatan Angin dan Ketinggian Gelombang



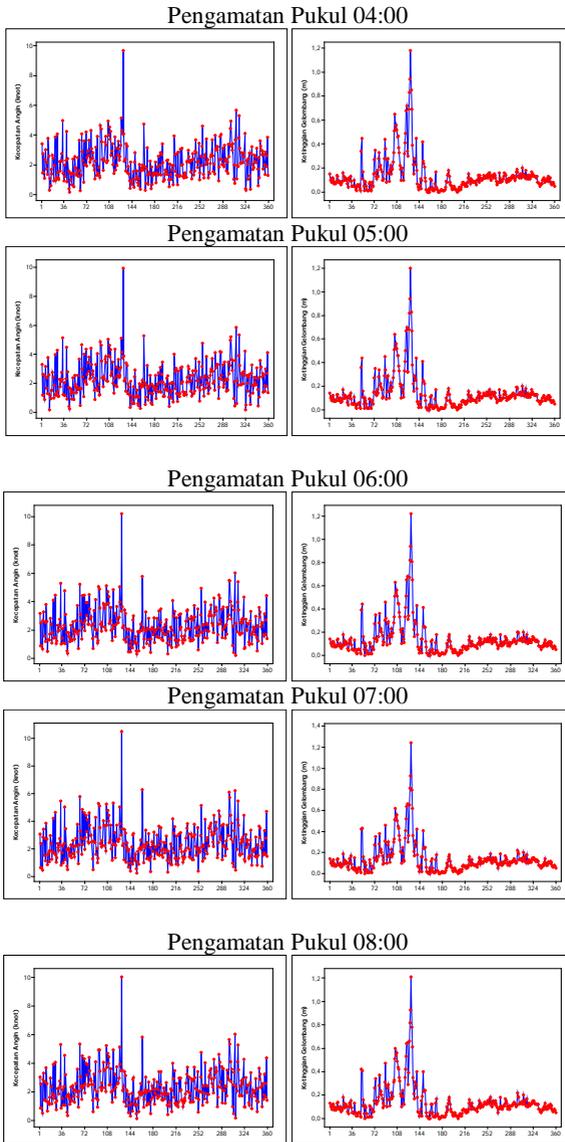
**Gambar 4.6** *Time Series Plot* Kecepatan Angin dan Ketinggian Gelombang seluruh periode pengamatan (tiap jam)

Dari grafik data pada Gambar 4.6 selanjutnya data dibagi menjadi 2 yaitu *training* (*in sample*) dan *testing* (*out sample*). Data *training* dimulai dari tanggal 1 Oktober 2013 sampai dengan 14 September 2014, sedangkan untuk *testing* digunakan data dari tanggal 15 September 2014 sampai dengan tanggal 24 September 2014. Setelah data dibagi menjadi kriteria *in sample* dan *out sample* selanjutnya masing-masing data dibagi menjadi 24

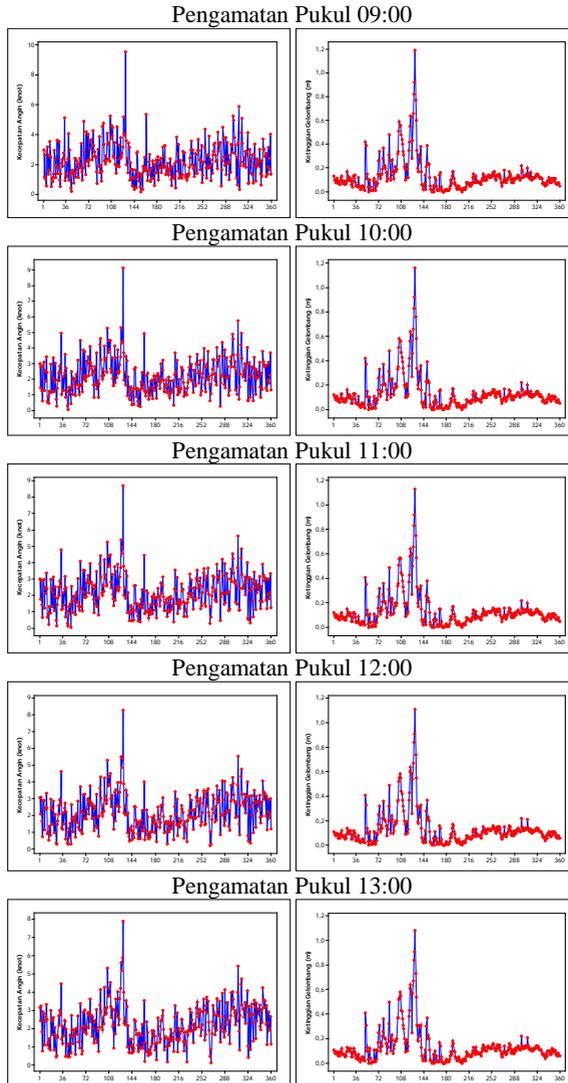
berdasarkan waktu pengamatannya yaitu setiap periode pengamatan (tiap jam) seperti pada Gambar 4.7 berikut ini.



**Gambar 4.7** Time Series Plot Kecepatan Angin (knot) dan Ketinggian Gelombang (m) di Pantai Panceng Gresik Setiap Periode Pengamatan (tiap jam)

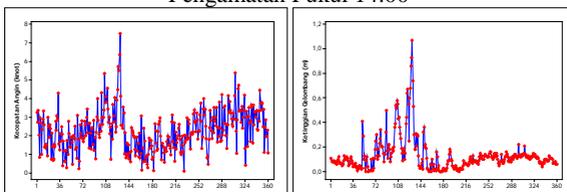


**Gambar 4.7 (lanjutan)**

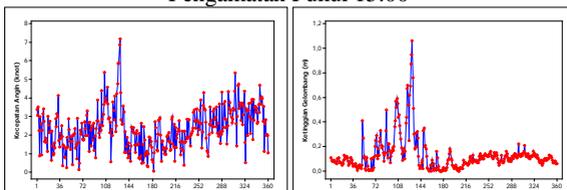


**Gambar 4.7** (lanjutan)

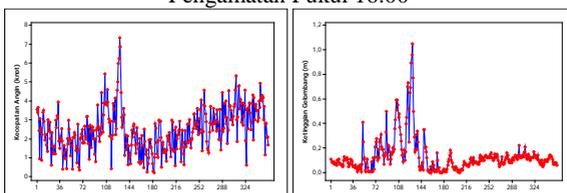
Pengamatan Pukul 14:00



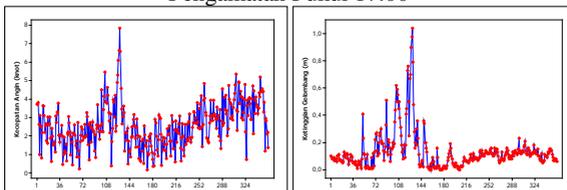
Pengamatan Pukul 15:00



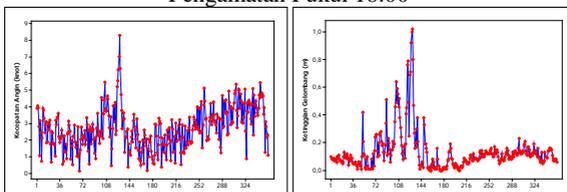
Pengamatan Pukul 16:00



Pengamatan Pukul 17:00

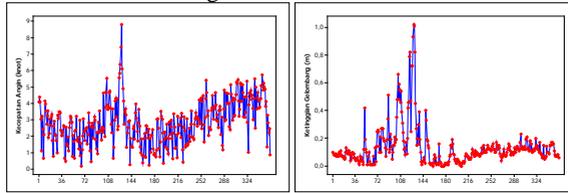


Pengamatan Pukul 18:00

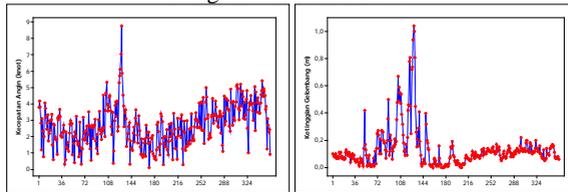


Gambar 4.7 (lanjutan)

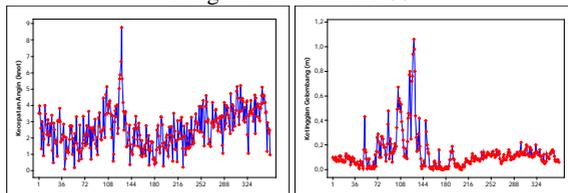
Pengamatan Pukul 19:00



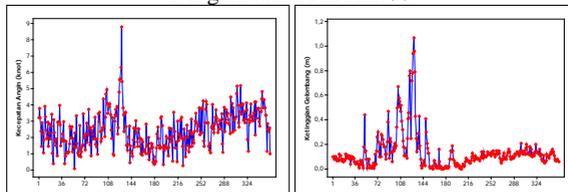
Pengamatan Pukul 20:00



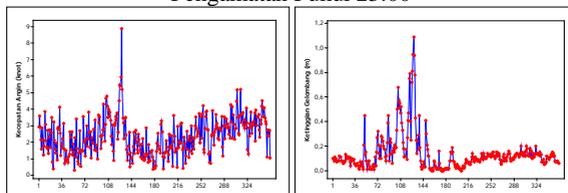
Pengamatan Pukul 21:00



Pengamatan Pukul 22:00



Pengamatan Pukul 23:00



Gambar 4.7 (lanjutan)

Data *training* digunakan untuk mendapatkan model yang dapat digunakan dalam meramalkan ketinggian gelombang laut, sedangkan data *testing* digunakan untuk menentukan model terbaiknya. Meskipun data telah dibagi menjadi 24 sesuai dengan kelompok setiap periode pengamatan (tiap jam), pola dari data yang terlihat pada *Time Series Plot* relatif sama yang membedakan hanya fluktuasinya.

Dalam penelitian ini, penjelasan tahapan permodelan peramalan data harian gelombang laut dengan metode Fungsi Transfer secara lengkap hanya dilakukan pada periode pengamatan pukul 12:00. Hal ini disebabkan pada Pukul 12:00 banyak aktivitas laut yang dilakukan seperti halnya para wisatawan yang mengunjungi pantai. Selain itu, pada jam tersebut juga mewakili kondisi siang hari dimana angin yang bertiup merupakan angin laut.

Langkah pertama dalam melakukan permodelan Fungsi Transfer adalah memodelkan ARIMA untuk deret *input* yaitu kecepatan angin. Permodelan ARIMA untuk deret input kecepatan angin diawali dengan identifikasi data untuk melihat kestasioneran data dalam varian dan *mean*. Pembuktian kestasioneran dalam varians dapat dilakukan dengan uji *Box-Cox*. Berikut ini adalah tabel hasil uji stasioneritas dalam varian menggunakan uji *Box-Cox* pada data untuk masing-masing periode pengamatan.

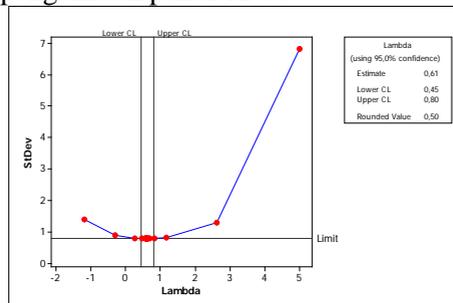
**Tabel 4.5** Uji Stasioneritas Varians Data Deret Input untuk Masing-Masing Periode Pengamatan

Jam	UCL	<i>Rounded Value</i>	LCL
00:00	0,41	0,5	0,79
01:00	0,36	0,5	0,72
02:00	0,37	0,5	0,71
03:00	0,36	0,5	0,70
04:00	0,30	0,5	0,66
05:00	0,28	0,5	0,65
06:00	0,23	0,5	0,60
07:00	0,21	0,5	0,58
08:00	0,26	0,5	0,63

**Tabel 4.5** (lanjutan)

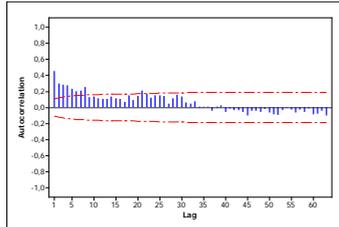
09:00	0,27	0,5	0,65
10:00	0,35	0,5	0,69
11:00	0,44	0,5	0,77
12:00	0,45	0,5	0,80
13:00	0,51	0,69	0,86
14:00	0,60	1	1,01
15:00	0,64	1	1,01
16:00	0,68	1	1,05
17:00	0,76	1	1,13
18:00	0,79	1	1,16
19:00	0,80	1	1,19
20:00	0,77	1	1,14
21:00	0,69	1	1,04
22:00	0,59	1	1,01
23:00	0,45	0,5	0,85

Dari hasil uji *Box-Cox*, pada pengamatan pukul 23.00 sampai dengan pengamatan pukul 13.00 menunjukkan bahwa nilai *rounded value* tidak sama dengan 1. Selain itu, di antara batas UCL dan LCL tidak memuat angka 1. Oleh karena itu, akan dilakukan proses transformasi pada data deret input yang belum stasioner dalam varians. Berikut adalah hasil uji stasioneritas varians pada pengamatan pukul 12:00

**Gambar 4.8** *Box-Cox Transformation* Pengamatan Pukul 12:00

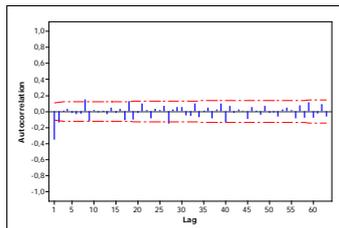
Setelah dilakukan uji transformasi *Box-Cox* dan didapatkan hasil bahwa semua data telah stasioner dalam varians, langkah

selanjutnya adalah identifikasi kestasioneran data dalam *mean* berdasarkan *plot* ACF masing-masing data.



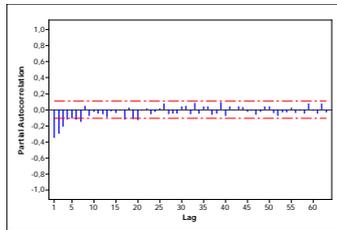
**Gambar 4.9** *Plot* ACF Data Pengamatan Pukul 12:00

Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa data kecepatan angin belum stasioner dalam *mean*. Hal ini disebabkan karena lag-lag pada *plot* ACF di atas turun secara melambat. Oleh karena itu, perlu dilakukan *differencing* agar data menjadi stasioner dalam *mean*. Setelah dilakukan proses *differencing*, langkah selanjutnya adalah identifikasi kembali *plot* ACF untuk melihat apakah data sudah stasioner atau belum.



**Gambar 4.10** *Plot* ACF Pengamatan Pukul 12:00 *Differencing* 1

Setelah dilakukan *differencing* 1 data pengamatan pukul 12:00 sudah stasioner dalam *mean*. Selanjutnya adalah mencari model dugaan. Model dugaan didapatkan dengan melihat *plot* ACF dan PACF dari data. Pola ACF data disajikan pada Gambar 4.10, sedangkan pola PACF data disajikan seperti pada Gambar 4.11. Kemudian, setelah melakukan identifikasi model, langkah selanjutnya adalah estimasi parameter dan pengujian parameter.



**Gambar 4.11** Plot PACF Pengamatan Pukul 12:00 *Differencing 1*

Dari plot ACF dan PACF data pengamatan pukul 12:00 pada gambar 4.11 di atas setelah dilakukan *differencing1*, maka ditetapkan model dugaan sementara yaitu ARIMA (1,1,1) dan ARIMA (1,1,[1,9]). Setelah melakukan identifikasi model, langkah selanjutnya adalah estimasi dan pengujian parameter. Hasil estimasi dan pengujian parameter disajikan pada Tabel 4.6 di bawah ini.

**Tabel 4.6** Uji Signifikansi Parameter Model Deret *Input Data* Pengamatan Pukul 12:00

Data Pukul	Model ARIMA	Parameter	Estimasi	S.E	T	<i>p-value</i>
12:00	(1,1,1)	$\theta_1$	0,90611	0,02716	33,36	<0,0001
		$\phi_1$	0,25950	0,06123	4,24	<0,0001
		$\theta_1$	0,87097	0,03482	25,01	<0,0001
12:00	(1,1,[1,9])	$\theta_9$	0,06210	0,03004	2,07	0,0387
		$\phi_1$	0,21470	0,06514	3,30	0,0010

Dari Tabel Uji Signifikansi Parameter Model Deret Input Data Pengamatan Pukul 12:00 didapatkan hasil bahwa untuk kedua model dugaan telah memenuhi asumsi parameter yang signifikan. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai *p-value* yang kurang dari nilai alfa 0,05.

Langkah selanjutnya setelah uji signifikansi parameter adalah melakukan pengujian asumsi residual yang *white noise* sebagai tahapan awal dari *prewhitening* deret input dan deret output. Pengujian asumsi residual yang *white noise* menggunakan uji Ljung-Box-Pierce (LBQ).

**Tabel 4.7** Hasil Pengujian Asumsi Residual Model ARIMA Deret *Input* Data Ditransformasi

Model	Uji White Noise				Uji Normalitas
	Lag ke-	$\chi^2$	Df	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>
ARIMA (1,1,1) Pengamatan Pukul 12:00	6	3,33	4	0,5038	<0,01 (tidak normal)
	12	12,04	10	0,2822	
	18	20,16	16	0,2130	
	24	27,60	22	0,1892	
	30	39,81	28	0,0687	
	36	44,72	34	0,1034	
ARIMA (1,1,[1,9]) Pengamatan Pukul 12:00	6	3,18	3	0,3650	0,0357 (tidak normal)
	12	7,59	9	0,5760	
	18	14,37	15	0,4975	
	24	21,27	21	0,4429	
	30	33,57	27	0,1791	
	36	38,06	33	0,2500	

Ketidak normalan pada residual hasil model untuk ARIMA deret input dapat disebabkan karena adanya nilai outlier. Namun, pada kasus ini nilai outlier tidak dimodelkan karena untuk pembentukan model *prewhitening* deret *input* dan *output* cukup hanya menggunakan asumsi *white noise* saja.

Setelah dilakukan *diagnostic checking* pada masing-masing data input yang ditransformasi, berikutnya adalah hasil akurasi. Oleh karena ingin diperoleh model fungsi transfer yang baik dan layak untuk digunakan, maka langkah selanjutnya adalah menentukan model ARIMA terbaik. Dalam memilih model ARIMA terbaik dari beberapa model yang ada dapat digunakan kriteria kebaikan model salah satunya dengan *Akaike's Information Criterion (AIC)*.

**Tabel 4.8** Kriteria Pemilihan Model Terbaik

Model ARIMA	AIC
ARIMA (1,1,1)	234,3525
ARIMA (1,1,[1,9])	232,1841

Tabel 4.8 di atas menunjukkan bahwa model ARIMA dugaan yang memiliki nilai AIC paling kecil adalah ARIMA (1,1,[1,9]), sehingga model tersebut adalah model terbaik yang digunakan untuk memodelkan kecepatan angin.

Setelah model yang dipilih telah memenuhi asumsi signifikansi paramater, residual yang *white noise*, metode selanjutnya masuk ke peramalan dengan metode fungsi transfer. Model ini diharapkan dapat menggambarkan ramalan dari *time series* deret *output* (ketinggian gelombang laut) berdasarkan pada nilai-nilai masa lau dari deret *inputnya* (kecepatan angin) di Pantai Panceng Gresik.

#### 4.2.2 *Prewhitening* Deret *Input* dan Deret *Output*

Tahap selanjutnya dalam pembentukan model fungsi tranfer adalah tahap identifikasi pada variabel deret *input* dan *output*. Kedua variabel tersebut harus stasioner baik dalam varian maupun *mean*.

Setelah dilakukan identifikasi, langkah selanjutnya adalah melakukan *prewhitening* pada deret *input*. Setelah didapatkan model untuk deret *input* untuk pengamatan pukul 12:00 yaitu ARIMA (1,1,[1,9]) yang telah memenuhi uji signifikansi parameter maupun asumsi *white noise* dan normalitas residual. Dengan demikian model deret *input* telah di-*prewhitening* dapat ditulis sebagai berikut.

$$\alpha_{t_{12}} = \frac{1 - 0,21470 B}{1 - 0,87097 B - 0,06210 B^9} x_t$$

Model untuk *prewhitening* deret *output* disajikan dalam persamaan berikut.

$$\beta_{t_{12}} = \frac{1 - 0,21470 B}{1 - 0,87097 B - 0,06210 B^9} y_t$$

#### 4.2.3 Identifikasi Awal Model Fungsi Transfer

Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah menduga nilai *b*, *s*, *r* dengan melihat *plot crosscorrelation function* (CCF) dan mengidentifikasi model ARMA untuk deret

*noise*. Berikut adalah gambar untuk CCF *plot* model fungsi transfer.

Lag	Covariance	Correlation	-1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	
-24	0.0019267	0.05910	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-23	0.0021843	0.06700	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-22	0.0035682	0.10945	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-21	0.0017049	0.05229	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-20	0.0010481	0.03215	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-19	0.0012263	0.03761	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-18	-0.0000850	-.00261	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-17	0.00084983	0.02607	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-16	-0.0020050	-.06150	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-15	-0.0020328	-.06235	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-14	-0.0005072	-.01556	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-13	-0.0001787	-.00548	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-12	-0.0014069	-.04315	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-11	-0.0017370	-.05328	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-10	-0.0010420	-.03196	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-9	-0.0003190	-.00978	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-8	0.00091764	0.02815	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-7	0.0035361	0.10846	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-6	0.0049865	0.15295	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-5	0.0012361	0.03791	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-4	0.0012600	0.03865	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-3	0.0027130	0.08322	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-2	0.0018140	0.05564	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-1	0.0030708	0.09419	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0	0.0071889	0.22051	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	****	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1	0.0098897	0.30335	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*****	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	0.0057320	0.17582	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	****	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3	0.0066829	0.20499	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	****	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4	0.0045663	0.14006	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	***	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5	0.00032838	0.01007	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6	0.00076247	0.02339	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
7	-0.0000680	-.00208	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8	0.00020895	0.00641	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9	0.0021822	0.06694	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10	0.0029590	0.09076	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**	.	.	.	.	.	.	.	.	.
11	0.0032951	0.10107	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**	.	.	.	.	.	.	.	.	.
12	0.00094328	0.02893	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
13	0.00079840	0.02449	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
14	0.00056714	0.01740	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
15	0.0015201	0.04663	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
16	-0.0007980	-.02448	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
17	0.0013000	0.03988	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
18	0.0033690	0.10334	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**	.	.	.	.	.	.	.	.	.
19	0.0028244	0.08663	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**	.	.	.	.	.	.	.	.	.
20	0.0044774	0.13734	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	***	.	.	.	.	.	.	.	.	.

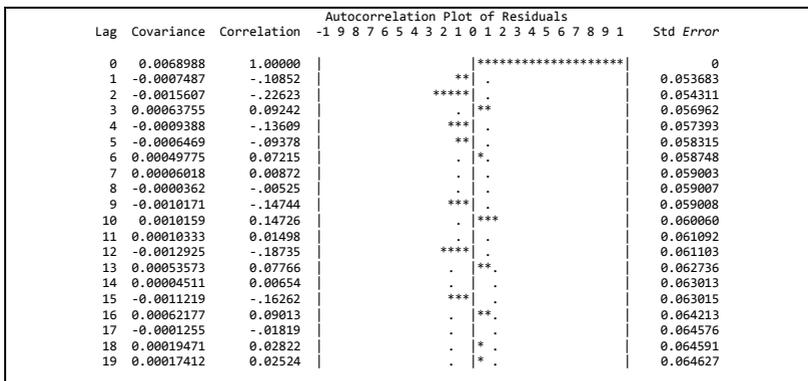
**Gambar 4.12** *Plot Crosscorrelation Function* Pengamatan Pukul 12:00

Pola *plot* CCF pada Gambar 4.12 di atas menggambarkan hubungan antara deret *input* dengan deret *output*. Dengan melihat *plot* tersebut, maka pada Pengamatan Pukul 12:00 didapatkan nilai  $b=0$ ,  $s=1$ , dan  $r=1$ . Orde  $b=0$  menunjukkan bahwa ketinggian gelombang pada waktu  $t$  dipengaruhi oleh kecepatan angin pada waktu  $t$ . Nilai  $s=1$  menyatakan bahwa lama deret *output* ( $y_t$ ) secara terus-menerus dipengaruhi oleh nilai-nilai baru dari deret *input* ( $x_t$ ) adalah 1.  $r=1$  karena bobot respon impuls menunjukkan suatu pola eksponensial menurun. Tahap estimasi

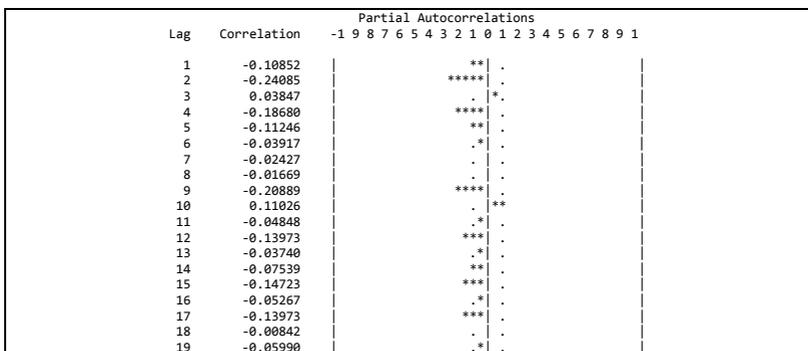
parameter fungsi transfer dimulai dengan langkah awal adalah menghitung nilai deret *noise*, kemudian menentukan model ARMA yang sesuai untuk deret *noise* tersebut.

#### 4.2.4 Identifikasi Awal Model ARMA Deret *Noise*

Tahap identifikasi model ARMA untuk deret *noise* dilakukan dengan melihat *plot* ACF dan PACF residual model fungsi transfer antara deret *input* dengan deret *output*. Pada Gambar 4.13 dan 4.14 berikut menunjukkan pola ACF dan PACF deret *noise* untuk pembentukan model fungsi transfer tahap awal.



**Gambar 4.13** *Plot* ACF Residual Model Fungsi Transfer Data Pengamatan Pukul 12:00



**Gambar 4.14** *Plot* PACF Residual Model Fungsi Transfer Data Pengamatan Pukul 12:00

Berdasarkan identifikasi pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 maka didapatkan model ARMA deret *noise* pada fungsi transfer model untuk pengamatan pukul 12:00 adalah ARMA ([1,9],[2,5,12,15])

#### 4.2.5 Diagnostic Checking Model Fungsi Transfer

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh model fungsi transfer yang layak digunakan untuk peramalan ketinggian gelombang laut untuk setiap periode pengamatan (tiap jam). Tahap ini terdiri dari uji parameter fungsi transfer, uji autokorelasi (*white noise*), uji korelasi silang dan uji normalitas terhadap residual model fungsi transfer.

##### 4.2.5.1 Uji Parameter

Uji signifikansi parameter model fungsi transfer untuk data pengamatan pada pukul 12:00 disajikan pada Tabel 4.9 berikut.

**Tabel 4.9** Estimasi dan Uji Signifikansi Model Fungsi Transfer untuk Data Pengamatan Pukul 12:00

Pukul	Parameter	Estimasi	Std. Error	<i>p-value</i>	Kesimpulan
12:00	MA(2)	0,35274	0,04925	<0,0001	Signifikan
	MA(5)	0,11948	0,04941	0,0156	Signifikan
	MA(12)	0,16578	0,04945	0,0008	Signifikan
	MA(15)	0,14369	0,04907	0,0034	Signifikan
	AR(1)	-0,14806	0,05368	0,0058	Signifikan
	AR(9)	-0,16798	0,05349	0,0017	Signifikan
	B=0	0,03685	0,01187	0,0019	Signifikan
	R=1	-0,05226	0,01304	<0,0001	Signifikan
	S=1	0,61701	0,09544	<0,0001	Signifikan

##### 4.2.5.2 Pengujian *White Noise*

**Tabel 4.10** Hasil Pemeriksaan *White Noise* Model Fungsi Transfer untuk Data Pengamatan Pukul 12:00

Pengamatan Pukul	Lag	Chi-square	DF	<i>p-value</i>
Model I	6	.	0	.
	12	9,32	6	0,1565
	18	11,60	12	0,4786
	24	19,52	18	0,3602
	30	22,34	24	0,5588

Model sudah memenuhi asumsi *white noise*, karena pada setiap lag diperoleh nilai *p-value* yang sudah lebih besar dari 0,05.

#### 4.2.5.3 Korelasi Silang

Pemeriksaan korelasi silang deret *input* bertujuan untuk mengetahui independensi deret *input* dengan residual pada model fungsi transfer. Berdasarkan hasil uji korelasi silang pada Tabel 4.11 berikut memberikan kesimpulan bahwa antara deret *input* dengan residual model fungsi transfer sementara sudah memenuhi asumsi independen. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *P-value* pada semua lag lebih besar dari taraf signifikansi 5%.

**Tabel 4.11** Korelasi Silang Antara Kecepatan Angin dengan Residual Model Fungsi Transfer Model Fungsi Transfer Pengamatan Pukul 12:00

Pengamatan Pukul	Lag	Chi-square	DF	<i>p-value</i>
12:00	5	6,50	3	0,0897
	11	13,25	9	0,1516
	17	18,48	15	0,2385
	23	32,35	21	0,0539
	29	37,39	27	0,0880

#### 4.2.5.4 Uji Normalitas Residual

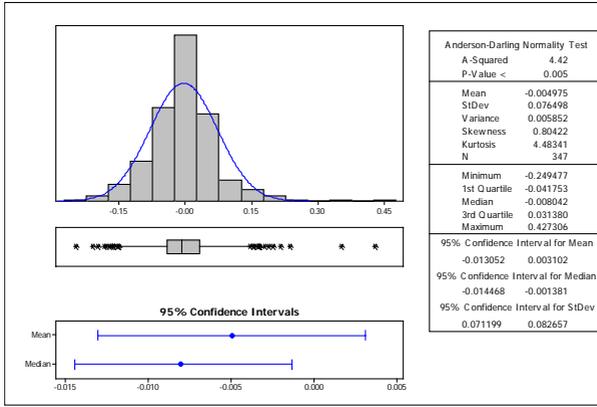
Pengujian kenormalan residual pada model fungsi transfer dilakukan dengan menggunakan pengujian *normality test* Kolmogorov-smornov seperti pada Tabel 4.12 berikut ini.

**Tabel 4.12** Uji Kenormalan Residual Fungsi Transfer

Test	Statistik Uji	<i>P-value</i>
Kolmogorov-Smirnov	D = 0.08866	<0,0100

Residual yang tidak berdistribusi normal biasanya disebabkan oleh adanya *outlier* pada data. Oleh karena itu, dalam mengatasi hal tersebut perlu dilakukan deteksi *outlier* untuk mengetahui data yang diduga sebagai *outlier*. Namun, setelah

melakukan pengujian deteksi *outlier*, residual tetap tidak berdistribusi normal. Hal ini disebabkan karena kurva distribusi pada residualnya berbentuk *Leptokurtik*. Kurva jenis ini ditandai dengan kurva distribusinya yang lebih runcing dibanding dengan kurva normal.



**Gambar 4.15** Uji Kenormalan Data Residual Pengamatan Pukul 12:00

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kostenko & Koehler (2006) menyebutkan bahwa uji signifikansi statistik seperti signifikansi parameter dan uji asumsi residual berdistribusi normal mempunyai sedikit peranan untuk peramalan bisnis. Sedangkan menurut Diebold & Mariano (1995), dalam menentukan hasil atau kualitas ramalan terbaik biasanya dilihat dari tingkat akurasinya.

Secara matematis, model deret *noise* dari permodelan data harian gelombang laut yang diamati pada pukul 12:00 dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\eta_t = \frac{(1+0,35274B^2-0,11948B^5-0,16578B^{12}-0,14369B^{15})a_t}{(1+0,14806B^1+0,16798B^9)}$$

Setelah diketahui model ARMA deret *noise* yang sesuai pada residual, langkah selanjutnya adalah menentukan model

fungsi transfer pada data *training*. Berikut adalah model fungsi transfer dari data harian gelombang laut yang diamati pada pukul 12:00 yang didapatkan.

$$y_t = \frac{(0,03685 - 0,61701 B)}{(1 + 0,05226 B)} x_t + \eta_t$$

Dimana  $x_t = X_t - X_{t-1}$  dan  $y_t = Y_t - Y_{t-1}$

Sehingga model menjadi

$$Y_t = \frac{0,95 Y_{t-1} - 0,05226 Y_{t-2} + 0,03685 X_t - 0,66 X_{t-1} + 0,61701 X_{t-2} + (1 + 0,35274 B^2 - 0,11948 B^5 - 0,16578 B^{12} - 0,14369 B^{15}) a_t}{(1 + 0,14806 B^1 + 0,16798 B^9)}$$

Setelah diagnosa model fungsi transfer selesai, selanjutnya adalah meramalkan data ketinggian gelombang laut dengan menggunakan model fungsi transfer yang telah didapat.

#### 4.2.6 Hasil Peramalan Harian Model Fungsi Transfer Ketinggian Gelombang Laut

Hasil peramalan harian ketinggian gelombang laut untuk pengamatan pada pukul 12:00 akan disajikan pada tabel berikut ini. Penentuan akurasi hasil ramalan pada data diukur berdasarkan kriteria RMSE (*Root Mean Square Error*). RMSE didapatkan dari rata-rata kuadrat dari perbedaan nilai asli dengan nilai ramalannya. RMSE lebih akurat bila data bernilai kecil. Model dikatakan semakin akurat untuk peramalan jika nilai RMSE semakin kecil.

**Tabel 4.13** Hasil Ramalan Harian Fungsi Transfer untuk Ketinggian Gelombang pada Pengamatan Pukul 12:00

Hari-ke	Aktual	Ramalan Data Ditransformasi	Ramalan Data Bentuk Asli
1	0,09	0,3244	0,10523536
2	0,11	0,3284	0,10784656
3	0,1	0,3327	0,11068929
4	0,07	0,3121	0,09740641
5	0,07	0,3217	0,10349089
6	0,06	0,3232	0,10445824
7	0,08	0,3129	0,09790641
8	0,08	0,3143	0,09878449

**Tabel 4.13** (lanjutan)

9	0,06	0,3128	0,09784384
10	0,06	0,3136	0,09834496
RMSE		0,027886	

Dari hasil peramalan harian menggunakan fungsi transfer didapatkan hasil bahwa selama sepuluh hari, peramalan menggunakan data *testing* mendapatkan nilai RMSE sebesar 0,027886. Nilai *error* tersebut didapatkan dengan cara mencari rata-rata dari selisih *error* yang dikuadratkan.

Hasil model terbaik dalam meramalkan ketinggian gelombang laut di Pantai Panceng Gresik Pengamatan Pukul 00:00 hingga pengamatan pukul 23:00 dengan tahapan seperti pada peramalan Pengamatan Pukul 12:00 sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut.

**Tabel 4.14** Hasil Pemilihan Model Fungsi Transfer Untuk Peramalan Harian Ketinggian Gelombang di Pantai Panceng Gresik Sesuai Periode Pengamatan

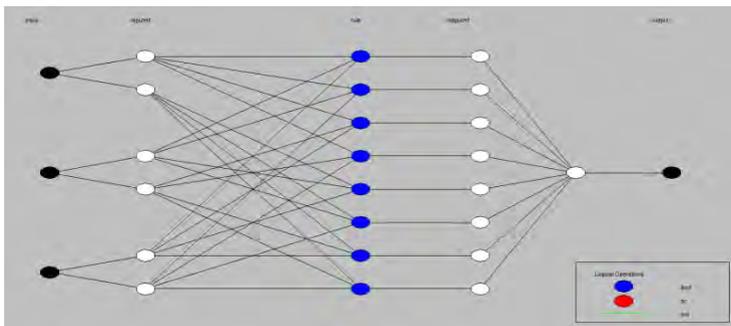
Jam	Model Fungsi Transfer			RMSE
	ARIMA	(b,s,r)	ARMA deret <i>noise</i>	
00:00	(1,1,1)	(0,1,1)	([1,2],[2])	0,044193
01:00	(1,1,[1,21])	(0,1,1)	([1,2,11,14],[2])	0,045636
02:00	(1,1,1)	(0,1,1)	(2,[2])	0,040892
03:00	(1,1,1)	(0,1,1)	([2],2)	0,029198
04:00	(1,1,1)	(0,1,1)	([2,3],[2])	0,027326
05:00	(1,1,1)	(0,0,1)	[2,3],[2])	0,032521
06:00	(0,1,[1,2])	(0,0,1)	([2],2)	0,032077
07:00	(1,1,[2])	(0,0,1)	([2],2)	0,028319
08:00	(0,1,2)	(0,0,1)	([2],2)	0,028668
09:00	(0,1,2)	(0,0,1)	([2],2)	0,028650
10:00	(1,1,1)	(0,0,1)	([2,5,9],2)	0,028468
11:00	(0,1,2)	(0,1,1)	([1,9],[2,5,12,15])	0,030751
12:00	(1,1,[1,9])	(0,1,1)	([1,9],[2,5,12,15])	0,027886
13:00	(1,1,1)	(0,1,1)	([1,9],[2,5,12,15])	0,029521
14:00	(0,1,[1,2,21])	(0,1,1)	([2,5,9,11],[1,2,5,12])	0,040347
15:00	(1,1,1)	(0,1,1)	([1,2,5,9,11],[2,12])	0,048150
16:00	(1,1,1)	(0,1,1)	([2,5,9,11],[1,2,5,12])	0,039201
17:00	(1,1,1)	(0,1,1)	([2,5,9,11],[1,2,5,12])	0,048104
18:00	(1,1,1)	(0,1,1)	([2,5],[1,2,5,9,12])	0,060155

**Tabel 4.14** (lanjutan)

19:00	(1,1,1)	(0,1,1)	([2,5,9,11],[1,2,5,12])	0,059387
20:00	(1,1,1)	(0,1,1)	([2,11]),(1,2,12,20))	0,054609
21:00	(0,1,[1,2,21])	(0,1,1)	([2,5,9,11],[1,2,5,12])	0,061585
22:00	(0,1,[1,2,21])	(0,1,1)	([2,5,9,11],[1,2,5,12])	0,082767
23:00	(1,1,[1,21])	(0,1,1)	([1,9],[2,3,4,21])	0,034959

### 4.3 Peramalan Ketinggian Gelombang Menggunakan Model ANFIS

Dalam meramalkan data ketinggian gelombang laut sesuai dengan setiap periode pengamatan (tiap jam) menggunakan model ANFIS, data terbagi menjadi dua bagian yaitu variabel *input* dan *output*. Variabel *input* yang digunakan dalam model ANFIS adalah berdasarkan model fungsi transfer ketinggian gelombang dengan membatasi sebanyak 3 input yaitu variabel  $y_{t-1}$ ,  $x_t$  dan  $x_{t-1}$ . Sedangkan variabel *output*nya adalah nilai target keluaran ( $y_t$ ). Data yang digunakan dalam peramalan dengan metode ANFIS adalah data asli tanpa dilakukan transformasi.

**Gambar 4.16** Struktur ANFIS dengan 3 *Input*

Hasil dari arsitektur ANFIS dengan 3 variabel input dan 2 fungsi keanggotaan dapat dilihat dalam Gambar 4.16. Pada Gambar 4.16 di atas didapatkan 8 aturan (*rule*) yang berasal dari banyaknya fungsi keanggotaan dipangkatkan jumlah variabel *input* yang digunakan ( $2^3$ ). Peramalan menggunakan metode

ANFIS ini dilakukan dengan cara mengkombinasikan jumlah dan jenis fungsi keanggotaan hingga didapatkan model terbaik berdasarkan kriteria RMSE.

Langkah awal dalam peramalan menggunakan model ANFIS adalah menentukan variabel *input*, selanjutnya menentukan jumlah dan jenis *membership function* pada penelitian ini jumlah *membership function* yang digunakan adalah 2, 3, dan 4 serta jenis *membership function* yang digunakan adalah *Gaussian* dan *generalizedbell*. Berikut adalah hasil dari analisis menggunakan metode ANFIS.

Pada analisis menggunakan metode ANFIS ini terdapat 2 parameter yang dihasilkan yaitu linier dan nonlinier. Parameter linier merupakan parameter konsekuensi yang digunakan dalam lapisan 4. Sedangkan parameter nonlinier merupakan parameter yang digunakan dalam lapisan satu. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.16 terdapat 6 parameter nonlinier dan 8 parameter linier yang dihasilkan.

Pada lapisan 1 terjadi proses *fuzzyfikasi* yang merupakan suatu tahapan dalam mengubah himpunan bilangan *crisp* menjadi himpunan bilangan *fuzzy* sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan. Pada lapisan ini bilangan *crisp* dari setiap *input* ditransformasi dengan parameter nonlinier hingga menjadi himpunan bilangan *fuzzy* yang telah mempunyai derajat keanggotaan. Hasil dari nilai parameter jenis fungsi keanggotaan *Gaussian* dengan jumlah *membership function* 2 pada data Pengamatan Pukul 12:00 WIB adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.15** Parameter Nonlinier Fungsi *Gaussian* Data Pengamatan Pukul 12:00 dengan ANFIS

<i>Input</i>	<i>Gaussian</i>	
	$\sigma$	$a$
<i>Input1</i> mf1 (A1)	3,392	0,202
<i>Input1</i> mf2 (A2)	3,393	8,301
<i>Input2</i> mf1 (B1)	3,412	0,217
<i>Input2</i> mf2 (B1)	3,406	8,302
<i>Input3</i> mf1 (C1)	0,167	-0,120
<i>Input3</i> mf2 (C1)	0,161	1,143

Nilai parameter nonlinier tersebut didapatkan dari hasil pembelajaran alur mundur yang akan digunakan dalam menghitung derajat keanggotaan pada lapisan satu sesuai dengan jenis masing-masing fungsi keanggotaannya. Pada setiap *input* terdiri dari 2 kelompok, sehingga total kelompok yang terbentuk adalah 6. Secara matematis fungsi keanggotaan yang dimiliki oleh masing-masing *input* berdasarkan parameter nonlinier untuk jenis fungsi keanggotaan *Gaussian* dapat dituliskan seperti pada Tabel 4.16 berikut.

**Tabel 4.16** Hasil Persamaan Fungsi *Gaussian* Pengamatan Pukul 12:00

Jenis MF	Persamaan	
	$\mu_{A1}^*(X_t) = e^{\frac{-(X_t-0,202)}{2(3,392)^2}}$	$\mu_{A2}^*(X_t) = e^{\frac{-(X_t-8,301)}{2(3,393)^2}}$
<i>Gaussian</i>	$\mu_{B1}^*(X_{t-1}) = e^{\frac{-(X_{t-1}-0,217)}{2(3,412)^2}}$	$\mu_{B2}^*(X_{t-1}) = e^{\frac{-(X_{t-1}-8,302)}{2(3,406)^2}}$
	$\mu_{C1}^*(Y_{t-1}) = e^{\frac{-(Y_{t-1}+0,120)}{2(0,167)^2}}$	$\mu_{C2}^*(Y_{t-1}) = e^{\frac{-(Y_{t-1}-1,143)}{2(0,161)^2}}$

Langkah selanjutnya setelah melakukan fuzzifikasi adalah proses operasi logika *fuzzy*. Pada proses operasi logika *fuzzy* di lapisan 2 ini semua *input* yang berasal dari lapisan 1 dikalikan dengan operator AND.

**Tabel 4.17** Operasi Logika *Fuzzy* Pada Lapisan 2

LOGIKA AND
If ( $X_t$ is $A_1$ ) and ( $X_{t-1}$ is $B_1$ ) and ( $Y_{t-1}$ is $C_1$ ) then <i>output</i> is $w_{1t}$
If ( $X_t$ is $A_1$ ) and ( $X_{t-1}$ is $B_1$ ) and ( $Y_{t-1}$ is $C_2$ ) then <i>output</i> is $w_{2t}$
If ( $X_t$ is $A_1$ ) and ( $X_{t-1}$ is $B_2$ ) and ( $Y_{t-1}$ is $C_1$ ) then <i>output</i> is $w_{3t}$
If ( $X_t$ is $A_1$ ) and ( $X_{t-1}$ is $B_2$ ) and ( $Y_{t-1}$ is $C_2$ ) then <i>output</i> is $w_{4t}$
If ( $X_t$ is $A_2$ ) and ( $X_{t-1}$ is $B_1$ ) and ( $Y_{t-1}$ is $C_1$ ) then <i>output</i> is $w_{5t}$
If ( $X_t$ is $A_2$ ) and ( $X_{t-1}$ is $B_1$ ) and ( $Y_{t-1}$ is $C_2$ ) then <i>output</i> is $w_{6t}$
If ( $X_t$ is $A_2$ ) and ( $X_{t-1}$ is $B_2$ ) and ( $Y_{t-1}$ is $C_1$ ) then <i>output</i> is $w_{7t}$
If ( $X_t$ is $A_2$ ) and ( $X_{t-1}$ is $B_2$ ) and ( $Y_{t-1}$ is $C_2$ ) then <i>output</i> is $w_{8t}$

Langkah ketiga yaitu proses pengaktifan derajat ternormalisasi (*normalized firing strength*) pada lapisan 3. Dalam hal ini *output* yang dihasilkan berupa  $\bar{w}_{it}$  yang diperoleh dari  $w_{it}$  dibagi dengan jumlah total  $w_{it}$ .

Langkah keempat adalah proses *defuzzyfication* yaitu mentransformasi hasil *fuzzy* ke dalam bentuk *crisp* (data *input* asli ketinggian gelombang laut). Parameter pada lapisan ini merupakan parameter linier yang diperoleh dari proses pembelajaran alur maju.

**Tabel 4.18** Nilai Parameter Linier Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

Aturan	Parameter Linier			
	A	$\beta$	$\gamma$	$\tau$
Aturan 1	-0,114	0,044	0,167	-0,079
Aturan 2	7,298	0,510	15,790	-13,290
Aturan 3	0,328	-0,033	1,616	0,030
Aturan 4	-2,458	-1,490	-18,570	16,300
Aturan 5	-0,414	-0,500	3,185	2,121
Aturan 6	12,760	1,276	-31,330	-68,030
Aturan 7	0,812	-1,040	-1,458	1,970
Aturan 8	-6,875	1,675	28,940	16,030

Nilai parameter yang disajikan pada Tabel 4.18 selanjutnya digunakan untuk penghitungan *output* pada lapisan 4 dengan formula sebagai berikut.

$$O_{4,1t} = \bar{w}_{1t}(-0,114X_t + 0,044X_{t-1} + 0,167Y_{t-1} - 0,079)$$

$$O_{4,2t} = \bar{w}_{2t}(7,298X_t + 0,510X_{t-1} + 15,790Y_{t-1} - 13,290)$$

$$O_{4,3t} = \bar{w}_{3t}(0,382X_t - 0,033X_{t-1} + 1,616Y_{t-1} + 0,030)$$

$$O_{4,4t} = \bar{w}_{4t}(-2,458X_t - 1,490X_{t-1} - 18,570Y_{t-1} + 16,300)$$

$$O_{4,5t} = \bar{w}_{5t}(-0,414X_t - 0,500X_{t-1} + 3,185Y_{t-1} + 2,121)$$

$$O_{4,6t} = \bar{w}_{6t}(12,760X_t + 1,276X_{t-1} - 31,330Y_{t-1} - 68,030)$$

$$O_{4,7t} = \bar{w}_{7t}(0,812X_t - 1,040X_{t-1} - 1,458Y_{t-1} + 1,970)$$

$$O_{4,8t} = \bar{w}_{8t}(-0,6,875X_t + 1,675X_{t-1} + 28,940Y_{t-1} + 16,030)$$

Proses akhir dari ANFIS yaitu perhitungan pada lapisan 5 dengan cara menjumlahkan seluruh *output* yang berasal dari

lapisan 4. Secara matematis *output* yang dihasilkan oleh lapisan 5 dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 y_t = & \bar{w}_{1t}(-0,114X_t + 0,044X_{t-1} + 0,167Y_{t-1} - 0,079) \\
 & + \bar{w}_{2t}(7,298X_t + 0,510X_{t-1} + 15,790Y_{t-1} - 13,290) \\
 & + \bar{w}_{3t}(0,382X_t - 0,033X_{t-1} + 1,616Y_{t-1} + 0,030) \\
 & + \bar{w}_{4t}(-2,458X_t - 1,490X_{t-1} - 18,5707Y_{t-1} + 16,300) \\
 & + \bar{w}_{5t}(-0,414X_t - 0,500X_{t-1} + 3,185Y_{t-1} + 2,121) \\
 & + \bar{w}_{6t}(12,760X_t + 1,276X_{t-1} - 31,330Y_{t-1} - 68,030) \\
 & + \bar{w}_{7t}(0,812X_t - 1,040X_{t-1} - 1,458Y_{t-1} + 1,970) \\
 & + \bar{w}_{8t}(-0,6,875X_t + 1,675X_{t-1} + 28,940Y_{t-1} + 16,030)
 \end{aligned}$$

Peramalan harian ketinggian gelombang laut pada masing-masing periode pengamatan di Pantai Panceng Gresik dilakukan dengan menggunakan kombinasi jumlah dan jenis *membership function*. *Epoch* yang digunakan untuk masing-masing kombinasi adalah jumlah *epoch* optimum untuk menghasilkan parameter-parameter ANFIS yang meminimumkan residual. *Epoch* yang digunakan adalah sebanyak 50 kali iterasi. Pada tabel berikut disajikan nilai RMSE pada data *testing* ketinggian gelombang laut pada Pengamatan Pukul 12:00.

**Tabel 4.19** Nilai RMSE Ramalan Ketinggian Gelombang Laut Pengamatan Pukul 12:00 Menggunakan ANFIS untuk Data *Testing*

Jenis <i>Membership Function</i>	RMSE		
	Jumlah <i>Membership Function</i>		
	2	3	4
<i>Gaussian</i>	0,0635	0,0382	0,0314
<i>Generalizebell</i>	0,0647	0,0392	0,0468

Tabel 4.19 di atas menunjukkan bahwa metode ANFIS pada Pengamatan Pukul 12:00 yang menghasilkan residual dengan nilai RMSE terkecil pada data *testing* diperoleh pada kombinasi fungsi keanggotaan *Gaussian* MF dengan jumlah *membership function* sebanyak 4. RMSE yang dihasilkan adalah sebesar 0,031.

Berikut disajikan hasil RMSE untuk data *testing* dari hasil peramalan menggunakan metode ANFIS (*Gaussian MF* dan *Generalized bell MF*) pada masing-masing jam. Pada hasil yang didapatkan kemudian dicari nilai RMSE terkecil untuk kemudian dibandingkan dengan hasil dari metode Fungsi Transfer.

**Tabel 4.20** Perbandingan RMSE Data *Testing* Hasil Peramalan dengan Metode ANFIS untuk Setiap Periode Pengamatan

Jam	RMSE ANFIS <i>Generalized bell MF</i>			RMSE ANFIS <i>Gaussian MF</i>		
	2	3	4	2	3	4
00:00	0,0558	0,0582	0,0572	0,0534	0,0572	0,0473
01:00	0,0612	0,0621	0,0608	0,0567	0,054	0,0642
02:00	0,0666	0,0566	0,0568	0,0606	0,0534	0,0577
03:00	0,0624	0,0552	0,0519	0,0653	0,0631	0,0511
04:00	0,0583	0,0532	0,0602	0,0612	0,0537	0,0562
05:00	0,0562	0,0503	0,0556	0,054	0,0471	0,0541
06:00	0,053	0,0406	0,0629	0,0512	0,0411	0,0726
07:00	0,0465	0,0342	0,0511	0,0453	0,0294	0,0528
08:00	0,0485	0,0303	0,0522	0,0484	0,0366	0,0431
09:00	0,0542	0,0353	0,0637	0,0524	0,0446	0,0458
10:00	0,0585	0,0437	0,044	0,0573	0,05	0,0417
11:00	0,062	0,0452	0,0387	0,0622	0,0426	0,0396
12:00	0,0647	0,0392	0,0468	0,0635	0,0382	0,0314
13:00	0,0701	0,0428	0,0353	0,0659	0,043	0,0311
14:00	0,0812	0,0413	0,0337	0,0705	0,0457	0,0393
15:00	0,0574	0,033	45,8625	0,0514	0,0446	0,035
16:00	0,11	7,4183	1,041	0,0937	0,0938	0,0383
17:00	0,0477	0,0411	3,14	0,0534	0,0997	7,0198
18:00	0,0567	0,184	667,783	0,065	0,0311	6,4375
19:00	0,0547	0,0428	0,0483	0,0576	0,0492	0,0343
20:00	0,0528	0,0462	0,0786	0,0607	0,0434	0,0411
21:00	0,045	0,037	0,043	0,0577	0,0323	0,0392
22:00	0,0467	0,0374	0,0437	0,0525	0,0389	0,0441
23:00	0,0521	0,0425	0,0505	0,0472	0,0449	0,0363

Pada RMSE data *testing*, kombinasi dari jenis input, jenis MF, dan banyak MF, mempunyai kecenderungan membentuk pola RMSE minimum yang khusus. Jika dilihat perbandingan dari kedua jenis fungsi keanggotaan, maka *Gaussian MF* cenderung memiliki nilai RMSE yang lebih kecil bila dibandingkan dengan *Generalized bell MF*. Sehingga dapat dikatakan bahwa jika ketinggian gelombang diramalkan menggunakan ANFIS, jenis fungsi keanggotaan yang menghasilkan ramalan terbaik adalah dengan *Gaussian MF*. Model dengan jumlah fungsi keanggotaan sebanyak 3 memberikan performansi terbaik pada data *testing*.

Selanjutnya metode ANFIS yang menghasilkan nilai RMSE terkecil pada data *testing* ini akan dibandingkan dengan model fungsi transfer.

#### **4.4 Perbandingan Hasil Peramalan Harian Sesuai Periode Pengamatan Untuk Ketinggian Gelombang Laut Pantai Panceng Gresik Menggunakan Model Fungsi Transfer dan ANFIS**

Setelah memperoleh model fungsi transfer dan ANFIS untuk meramalkan data ketinggian gelombang laut rata-rata setiap periode pengamatan (tiap jam) di Pantai Panceng Gresik, langkah selanjutnya adalah membandingkan kedua model tersebut dan menemukan metode peramalan ketinggian gelombang laut yang diukur berdasarkan nilai RMSE pada data. Hasil perbandingan nilai RMSE pada data *testing* dapat dilihat pada Tabel berikut.

**Tabel 4.21** Perbandingan nilai RMSE Hasil Fungsi Transfer dengan ANFIS pada Data Pengamatan Pukul 12:00

Metode	RMSE
Fungsi Transfer	0,028
ANFIS	0,031

Untuk mengetahui metode yang paling cocok digunakan pada data Ketinggian Gelombang bisa diketahui dari nilai RMSE terkecil pada data *testing*. Hasil nilai RMSE bisa dilihat pada Tabel 4.22 berikut.

**Tabel 4.22** Penghitungan nilai RMSE Data *Testing* Ketinggian Gelombang Pengamatan Pukul 12:00 Metode Fungsi Transfer dengan ANFIS

Tanggal	Aktual	Fungsi Transfer	ANFIS
15 September 2014	0,09	0,10523536	0,1046
16 September 2014	0,11	0,10784656	0,13
17 September 2014	0,1	0,11068929	0,1256
18 September 2014	0,07	0,09740641	0,1011
19 September 2014	0,07	0,10349089	0,0874
20 September 2014	0,06	0,10445824	0,0987
21 September 2014	0,08	0,09790641	0,1158
22 September 2014	0,08	0,09878449	0,1033
23 September 2014	0,06	0,09784384	0,1082
24 September 2014	0,06	0,09834496	0,1012
RMSE		0,027886	0,031

Tabel 4.23 berikut ini adalah Tabel yang berisi perbandingan RMSE hasil Metode Fungsi Transfer dengan ANFIS untuk setiap periode pengamatan.

**Tabel 4.23** Perbandingan RMSE hasil Metode Fungsi Transfer dengan ANFIS

Jam	RMSE Fungsi Tansfer	RMSE ANFIS
00:00	0,044193	0,0473
01:00	0,045636	0,0540
02:00	0,040892	0,0534
03:00	0,029198	0,0511
04:00	0,027326	0,0532
05:00	0,032521	0,0471
06:00	0,032077	0,0406
07:00	0,028319	0,0294
08:00	0,028668	0,0303
09:00	0,028650	0,0353
10:00	0,028468	0,0417
11:00	0,030751	0,0387
12:00	0,027886	0,0314
13:00	0,029521	0,0311
14:00	0,040347	0,0337
15:00	0,04815	0,0330

**Tabel 4.23** (lanjutan)

16:00	0,038201	0,0383
17:00	0,048104	0,0411
18:00	0,060155	0,0567
19:00	0,059387	0,0343
20:00	0,054609	0,0411
21:00	0,061585	0,0323
22:00	0,082767	0,0374
23:00	0,034959	0,0363

Pada Tabel 4.23 di atas dapat diketahui bahwa metode ANFIS memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi pada Pengamatan Pukul 14:00 - 22:00. Sedangkan metode fungsi transfer menghasilkan akurasi lebih tinggi pada Pengamatan Pukul 23:00 - 13:00.

Hasil peramalan sepuluh hari kedepan untuk jam 12:00 dengan menggunakan metode fungsi transfer (model terbaik pada Pengamatan Pukul 12:00 adalah fungsi transfer) adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.24** Hasil Peramalan Ketinggian Gelombang Laut di Pantai Panceng Gresik 10 Hari ke depan pada Pengamatan Pukul 12:00

Tanggal	Ketinggian Gelombang (m)
25 September 2014	0,070862
26 September 2014	0,081453
27 September 2014	0,079468
28 September 2014	0,085089
29 September 2014	0,085322
30 September 2014	0,089281
1 Oktober 2014	0,092538
2 Oktober 2014	0,087202
3 Oktober 2014	0,095357
4 Oktober 2014	0,092598

Nilai ramalan yang diperoleh pada masing-masing hari tidak menunjukkan kondisi ketinggian gelombang yang berpotensi tinggi. Sehingga kondisi Pantai Panceng Gresik pada tanggal 24 September 2014 - 3 Oktober 2014 masih dalam

keadaan aman apabila digunakan untuk melakukan aktivitas pantai, pembangunan *seawall* dan sebagainya. Akan tetapi, pada metode fungsi transfer terdapat asumsi yang tidak terpenuhi yaitu asumsi residual berdistribusi normal. Menurut beberapa pakar, jika asumsi ada yang tidak terpenuhi maka model tersebut kurang tepat. Sehingga model fungsi transfer kurang layak jika digunakan sebagai metode peramalan ketinggian gelombang laut di Pantai Panceng Kabupaten Gresik walaupun menunjukkan nilai RMSE yang kecil.

67.	1
68.	1
69.	1
62. Rule Connection	1
63.	1
64.	1
65.	1
66.	1
67.	1
68.	1
69.	1

## BIODATA PENULIS



Penulis dalam Tugas Akhir ini bernama Rizka Fauzia (Zizi), lahir di Nganjuk pada tanggal 11 Agustus 1993. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Darsono dan Ibu Siti Amini. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari TK Bustanul Athfal III Nganjuk, SDN Payaman III Nganjuk, SMPN 1 Nganjuk, SMAN 2 Nganjuk, dan yang terakhir menempuh pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya jurusan Statistika melalui

jalur Kemitraan dan Mandiri pada tahun 2011 dengan NRP 1311100126. Selama di ITS penulis terlibat aktif dalam organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa ITS (BEM ITS) sebagai staff Kementerian Dalam Negeri pada periode 2012-2013. Selain itu, penulis merupakan anggota Badan Pengawas Dana Kampanye (BPKD) saat pemilu Presiden BEM ITS pada tahun 2014. Pada masa kuliah penulis juga pernah melakukan kerja praktek di PT Kereta Api Indonesia (PT. KAI) Daop 8 Surabaya sebagai upaya pengaplikasian ilmu statistika di dunia nyata. Untuk menyelesaikan pendidikan di jenjang sarjana ini, penulis mengambil Tugas Akhir dengan tema komputasi peramalan dengan judul **“Peramalan Ketinggian Gelombang Laut berdasarkan Kecepatan Angin dengan Metode Fungsi Transfer dan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)”**. Jika pembaca ingin memberikan kritik dan saran serta ingin berdiskusi lebih lanjut, maka dapat menghubungi melalui alamat email : rizkafauziaa@gmail.com

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

- 1 Analisis deskriptif untuk kecepatan angin dan ketinggian gelombang rata-rata tertinggi adalah pada pada bulan Februari bila dilihat dengan karakteristik per bulan. Kecepatan angin tertinggi adalah pada nilai 10,49 knot (menunjukkan kategori angin sedang) dan ketinggian gelombang tertinggi adalah sebesar 1,24 meter yang terjadi pada bula Februari.
- 2 Model peramalan harian ketinggian gelombang laut dengan metode Fungsi Transfer terbaik untuk data pengamatan pukul 12:00 adalah :

$$Y_t = \frac{0,95 Y_{t-1} - 0,05226 Y_{t-2} + 0,03685 X_t - 0,66 X_{t-1} + 0,61701 X_{t-2} + (1 + 0,35274B^2 - 0,11948B^5 - 0,16578B^{12} - 0,14369B^{15})a_t}{(1 + 0,14806B^1 + 0,16798B^9)}$$

- 3 Metode ANFIS pada jenis *Gaussian MF* cenderung menunjukkan nilai RMSE yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan jenis *Generalized bell MF*. Jumlah *membership function* pada jenis *Gaussian MF* yang meminimumkan RMSE paling banyak dihasilkan saat bernilai 4.
- 4 Dari perbandingan kedua metode, dapat diketahui bahwa metode Fungsi Transfer terbaik berlaku pada Pengamatan Pukul 23:00 sampai dengan Pengamatan Pukul 13:00. Sedangkan untuk metode ANFIS terbaik berlaku pada Pengamatan Pukul 14:00 sampai dengan Pengamatan Pukul 22:00. Namun, pada metode Fungsi Transfer terdapat asumsi yang tidak terpenuhi yaitu asumsi residual berdistribusi normal, sehingga model Fungsi Transfer kurang layak jika digunakan sebagai metode peramalan ketinggian gelombang di Pantai Panceng Gresik.

## **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan pada penelitian selanjutnya adalah dapat dicoba meramalkan ketinggian gelombang dengan pola seasonal tanpa membagi menjadi berdasarkan kriteria setiap periode pengamatan (tiap jam). Untuk saran dalam metode ANFIS dapat dicoba diterapkan dengan jumlah dan jenis fungsi keanggotaan yang lain selain yang digunakan dalam penelitian ini untuk meramalkan ketinggian gelombang.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Parvaresh, S. H. (2005). Statistical analysis of wave parameters in the north coast of the Persian Gulf. *Annales Geophysicae* , 23, 2031–2038.
- Anonim. (2008). *Angin*. Dipetik Januari 16 , 2015, dari <http://perpustakaan-online.blogspot.com/>
- BMKG. (2014). Rencana Strategis (RENSTRA) Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika tahun 2010-2014. *Peraturan Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Nomor Kep.002 Tahun 2010* , 15.
- Cryer, J. &.-S. (2008). *Time Series Analysis With Applicatin in R. Edisi Kedua*. University of Iowa: Departement of Statistics & Actuarial Science.
- Daniel, W. (1989). *Statistika Nonparametrik Terapan*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Diebold, F. X. & Mariano, R. S. (1995). Comparing Predictive Accuracy. *Journal of Business and Economis Statistics* 13(3), 253-263.
- Fitriah, N. (2013). *Hindcasting Gelombang Menggunakan Data Angin Dari Mri-Jma (Meteorology Research Institute/Japan Meteorology Agency) Dalam Kurun Waktu 1989 – 2003*. Jurnal Teknik Pomits , 1-8.
- Gross, M. (1993). *Oceanography, View of Earth, 6th Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Hyndman, R.J. & Koehler, A.B. (2006). Another Look at Measures of Forecast Accuracy. *International Journal of Forecasting* 22, 679-688.
- Jang, J. S. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing, A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Kusumadewi, S. d. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Makridakis, S. W. (1999). *Metode dan Aplikasi Peramalan, Jilid 1 Edisi Kedua*. Jakarta: Bina Rupa Aksara.
- Nurvitasari, Y. (2012). *Pendekatan Fungsi Transfer Sebagai Input Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) dalam Peramalan Kecepatan Angin Rata-Rata Harian di Sumenep*. JURNAL SAINS DAN SENI ITS Vol. 1, No. 1, ISSN: 2301-928X.
- Pratama, A. C. (2010). *PERANCANGAN MODEL ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM UNTUK MEMPREDIKSI CUACA MARITIM*.
- Singla, P. R. (2011). *Local Monsoonal Precipitation Forecasting using ANFIS Model: a Case Study for Hisar*. *International Journal of Research and Reviews in Computer Science*, Vol.2 No.3.
- Thompson, P. D. (1983). Terjemahan Ir. M. Bl.de Rozari, BMG, dan Departemen Perhubungan RI. *Cuaca*. Jakarta: Pustaka Time-Life.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wei, W. (2006). *Time Series Analysis, Univariate and Multivariate Methods*. Canada: Addison Wesley Publishing Company.
- Widodo, T. S. (2005). *Sistem Neuro Fuzzy untuk Pengolahan Informasi, Pemodelan, dan Kendali*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Zhou, H. H. (2009). *Forecast of Wind Speed and Power of Wind Generator based on Pattern Recognition*. *International Conference on Industrial Mechatronics and Automation*, 504-508.

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Kecepatan Angin dan Ketinggian Gelombang Pantai Panceng Gresik 1 Oktober 2013-24 September 2014
- Lampiran 2 Syntax SAS Model Fungsi Transfer Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 yang Telah Ditransformasi
- Lampiran 3 Syntax MATLAB Model ANFIS Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 Asli dengan Fungsi *Gaussian* dan 2 *Membership* Function
- Lampiran 4 Syntax MATLAB Model ANFIS Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 Asli dengan Fungsi *Generalizebell* dan 2 *Membership* Function
- Lampiran 5 Output SAS Model Fungsi Transfer Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00
- Lampiran 6 Output MATLAB Model ANFIS Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 Asli dengan Fungsi *Gaussian* dan 2 *Membership* Function
- Lampiran 7 Output MATLAB Model ANFIS Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 Asli dengan Fungsi *Generalized Bell* dan 2 *Membership* Function

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Kecepatan Angin dan Ketinggian Gelombang Pantai  
Panceng Gresik 1 Oktober 2013-24 September 2014

Tanggal	Jam	Kecepatan Angin (knot)	Ketinggian Gelombang (meter)	Arah Angin
1/10/2013	00:00	4.14	0.16	SEE
	01:00	3.94	0.16	SEE
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	23:00	2.92	0.1	ENE
2/10/2013	00:00	2.63	0.1	ENE
	01:00	2.34	0.1	ENE
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	23:00	3.59	0.1	SEE
3/10/2013	00:00	3.41	0.11	SEE
	01:00	3.23	0.11	SEE
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	23:00	2.93	0.08	SE
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
24/09/2014	00:00	2.88	0.07	SSE
	01:00	3.08	0.07	SSE
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	23:00	1.05	0.06	SE

Lampiran 2. Syntax SAS Model Fungsi Transfer Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 yang Telah Ditransformasi

```

data duabelas;
input x y;
datalines;
1.75214    0.33166
1.44568    0.30000
1.75784    0.30000
1.28062    0.28284
.
.
.
.

1.72047    0.244949
1.36382    0.282843
1.43875    0.282843
1.73205    0.244949
;
proc arima data=duabelas;
identify var=x(1);
estimate p=1 q=(1,9) noconstant method=ml;
run;
identify var=y(1) crosscorr=(x(1));
run;
estimate input=(0 $ (1) / (1) x) noconstant plot method=ml;
estimate p=(1,9) q=(2,5,12,15) input=(0 $ (1) / (1) x) noconstant plot
method=ml;
forecast out=ramalan lead =10;
proc univariate data=ramalan normal;
var residual;
run;

proc export data=ramalan
outfile="E:\forecast.xls"
dbms=excel97
replace;
sheet="w1";
run;

```

Lampiran 3. Syntax MATLAB Model ANFIS Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 Asli dengan Fungsi *Gaussian* dan 2 *Membership Function*

```

Clc
data=load('e:/data12.txt');
data;
y=data(:,2);
x=data(:,1);
x_0=x(2:350);
x_1=x(1:349);
y_1=y(1:349);
xt=[x_0 x_1 y_1];
x1_11=x(351:360);
x1_12=x(350:359);
x1_13=y(350:359);
xta=[x1_11 x1_12 x1_13];
y1=y(2:350);
y1a=y(351:360);
epoch_n=50;
numMFs=2;
mfType='gaussmf';
in_fis1=genfis1([xt y1],numMFs,mfType);
out_fis1=anfis([xt y1],in_fis1,epoch_n);
y1_hat=evalfis(xt,out_fis1);
n=360;
yt=x;
y11=y;
for i=351:n;
y11(i)=evalfis([yt(i) yt(i-1) y11(i-1)],out_fis1);
end
y1a_hat=y11(351:360);
er_in=y1-y1_hat;
er_out=y1a-y1a_hat;
rmse_in=sqrt(sum(er_in.*er_in)/length(er_in))
rmse_out=sqrt(sum(er_out.*er_out)/length(er_out))
y1a_hat
showfis(in_fis1)
showfis(out_fis1)

```

Lampiran 4. Syntax MATLAB Model ANFIS Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 Asli dengan Fungsi *Generalizebell* dan 2 *Membership* Function

```

Clc
data=load('e:/data12.txt');
data;
y=data(:,2);
x=data(:,1);
x_0=x(2:350);
x_1=x(1:349);
y_1=y(1:349);
xt=[x_0 x_1 y_1];
x1_11=x(351:360);
x1_12=x(350:359);
x1_13=y(350:359);
xta=[x1_11 x1_12 x1_13];
y1=y(2:350);
y1a=y(351:360);
epoch_n=50;
numMFs=2;
mfType='gbellmf';
in_fis1=genfis1([xt y1],numMFs,mfType);
out_fis1=anfis([xt y1],in_fis1,epoch_n);
y1_hat=evalfis(xt,out_fis1);
n=360;
yt=x;
y11=y;
for i=351:n;
y11(i)=evalfis([yt(i) yt(i-1) y11(i-1)],out_fis1);
end
y1a_hat=y11(351:360);
er_in=y1-y1_hat;
er_out=y1a-y1a_hat;
rmse_in=sqrt(sum(er_in.*er_in)/length(er_in))
rmse_out=sqrt(sum(er_out.*er_out)/length(er_out))
y1a_hat
showfis(in_fis1)
showfis(out_fis1)

```

## Lampiran 5. Output SAS Model Fungsi Transfer Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00

The ARIMA Procedure									
Maximum Likelihood Estimation									
Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Approx Pr >  t	Lag				
MA1,1	0.87097	0.03482	25.01	<.0001	1				
MA1,2	0.06210	0.03004	2.07	0.0387	9				
AR1,1	0.21470	0.06514	3.30	0.0010	1				
Variance Estimate			0.112653						
Std Error Estimate			0.335638						
AIC			232.1841						
SBC			243.7407						
Number of Residuals			348						
Autocorrelation Check of Residuals									
To Lag	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq	-----Autocorrelations-----					
6	3.18	3	0.3650	0.005	-0.028	0.021	0.042	-0.063	-0.045
12	7.59	9	0.5760	-0.009	0.083	-0.052	0.045	-0.016	0.018
18	14.37	15	0.4975	-0.021	0.055	-0.020	0.001	-0.072	0.097
24	21.27	21	0.4429	-0.073	-0.003	0.088	0.063	-0.034	0.019
30	33.57	27	0.1791	0.031	0.061	-0.099	0.016	0.099	0.088
36	38.06	33	0.2500	-0.033	-0.020	0.035	-0.078	-0.045	0.028
42	43.57	39	0.2832	-0.079	0.003	0.066	-0.051	0.024	-0.015
48	46.70	45	0.4024	0.033	-0.023	-0.077	-0.006	-0.006	-0.014
The ARIMA Procedure									
Maximum Likelihood Estimation									
Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Approx Pr >  t	Lag	Variable	Shift		
MA1,1	0.35274	0.04925	7.16	<.0001	2	y	0		
MA1,2	0.11948	0.04941	2.42	0.0156	5	y	0		
MA1,3	0.16578	0.04945	3.35	0.0008	12	y	0		
MA1,4	0.14369	0.04907	2.93	0.0034	15	y	0		
AR1,1	-0.14806	0.05368	-2.76	0.0058	1	y	0		
AR1,2	-0.16798	0.05349	-3.14	0.0017	9	y	0		
NUM1	0.03685	0.01187	3.11	0.0019	0	x	0		
NUM1,1	-0.05226	0.01304	-4.01	<.0001	1	x	0		
DEN1,1	0.61701	0.09544	6.46	<.0001	1	x	0		
Autocorrelation Check of Residuals									
To Lag	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq	-----Autocorrelations-----					
6	.	0	.	0.012	0.021	-0.037	-0.132	-0.027	0.023
12	9.32	6	0.1565	-0.028	-0.031	0.006	0.049	-0.036	-0.015
18	11.60	12	0.4786	-0.015	0.007	-0.022	0.069	0.024	0.014
24	19.52	18	0.3602	0.070	0.076	0.080	0.051	-0.038	0.014
30	22.34	24	0.5588	0.042	0.003	-0.069	0.011	0.022	-0.020
36	30.83	30	0.4236	0.043	0.057	-0.102	0.022	-0.007	-0.077
42	44.23	36	0.1631	0.028	-0.046	-0.040	0.092	0.096	0.108
48	50.85	42	0.1643	-0.047	-0.059	-0.102	0.018	-0.013	0.003
Crosscorrelation Check of Residuals with Input x									
To Lag	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq	-----Crosscorrelations-----					
5	6.50	3	0.0897	0.032	-0.009	-0.017	0.108	-0.005	-0.075
11	13.25	9	0.1516	0.025	-0.035	0.033	0.075	0.066	0.080
17	18.48	15	0.2385	-0.024	-0.002	-0.026	0.062	-0.072	0.069
23	32.35	21	0.0539	0.116	0.038	0.142	0.052	0.017	0.042
29	37.39	27	0.0880	-0.071	-0.032	0.019	-0.024	0.014	0.086
35	41.70	33	0.1425	-0.051	-0.000	-0.038	0.088	0.012	0.024
41	48.30	39	0.1461	-0.040	-0.077	-0.006	0.025	0.101	0.024

47	54.11	45	0.1656	0.028	0.021	-0.078	-0.025	-0.073	-0.059
Forecasts for variable y									
Obs	Forecast	Std Error	95% Confidence Limits						
350	0.3244	0.0766	0.1741	0.4746					
351	0.3284	0.1044	0.1238	0.5329					
352	0.3327	0.1147	0.1079	0.5575					
353	0.3121	0.1245	0.0600	0.5561					
354	0.3217	0.1329	0.0611	0.5822					
355	0.3232	0.1381	0.0525	0.5939					
356	0.3129	0.1433	0.0321	0.5937					
357	0.3143	0.1481	0.0241	0.6046					
358	0.3128	0.1527	0.0134	0.6121					
359	0.3136	0.1548	0.0102	0.6171					
Tests for Normality									
Test	--Statistic--		-----p Value-----						
Shapiro-Wilk	W	0.938302	Pr < W	<0.0001					
Kolmogorov-Smirnov	D	0.089524	Pr > D	<0.0100					
Cramer-von Mises	W-Sq	0.823745	Pr > W-Sq	<0.0050					
Anderson-Darling	A-Sq	4.764175	Pr > A-Sq	<0.0050					

Lampiran 6. Output MATLAB Model ANFIS Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 Asli dengan Fungsi *Gaussian* dan 2 *Membership Function*

```

ANFIS info:
    Number of nodes: 34
    Number of linear parameters: 32
    Number of nonlinear parameters: 12
    Total number of parameters: 44
    Number of training data pairs: 349
    Number of checking data pairs: 0
    Number of fuzzy rules: 8

Start training ANFIS ...

1      0.0538139
2      0.0537795
3      0.0537456
4      0.0537122
5      0.0536794
Step size increases to 0.011000 after epoch 5.
6      0.0536474
7      0.0536133
8      0.0535804
9      0.053549
Step size increases to 0.012100 after epoch 9.
10     0.0535193
11     0.0534887
12     0.0534603
13     0.0534341
Step size increases to 0.013310 after epoch 13.
14     0.0534097
15     0.0533842
16     0.0533589
17     0.0533319
Step size increases to 0.014641 after epoch 17.
18     0.053301
19     0.0532587
20     0.0532024
21     0.0531261
Step size increases to 0.016105 after epoch 21.
22     0.0530252
23     0.0528895
24     0.0527531
25     0.0526377
Step size increases to 0.017716 after epoch 25.
26     0.0525121
27     0.0523721
28     0.0522235
29     0.052082
Step size increases to 0.019487 after epoch 29.
30     0.0519268
31     0.0518284

```

```

32      0.0516558
33      0.0518975
34      0.0516119
35      0.0518626
36      0.0515789
Step size decreases to 0.017538 after epoch 36.
37      0.0518353
38      0.0515351
39      0.0518034
40      0.0515122
Step size decreases to 0.015785 after epoch 40.
41      0.0517788
42      0.0514864
43      0.0517485
44      0.0514687
Step size decreases to 0.014206 after epoch 44.
45      0.0517257
46      0.0514533
47      0.0516963
48      0.0514388
Step size decreases to 0.012786 after epoch 48.
49      0.0516748
50      0.0514294

Designated epoch number reached --> ANFIS training completed at epoch 50.

rmse_in =

    0.0514

rmse_out =

    0.0635

y1a_hat =

    0.1261
    0.1453
    0.1536
    0.1481
    0.1300
    0.1376
    0.1464
    0.1320
    0.1388
    0.1364

1. Name      anfis
2. Type      sugeno
3. Inputs/Outputs [3 1]
4. NumInputMFs [2 2 2]
5. NumOutputMFs 8

```

6.	NumRules	8
7.	AndMethod	prod
8.	OrMethod	max
9.	ImpMethod	prod
10.	AggMethod	max
11.	DefuzzMethod	wtaver
12.	InLabels	input1
13.		input2
14.		input3
15.	OutLabels	output
16.	InRange	[0.22 8.29]
17.		[0.22 8.29]
18.		[0 1.11]
19.	OutRange	[0 1.11]
20.	InMFLabels	in1mf1
21.		in1mf2
22.		in2mf1
23.		in2mf2
24.		in3mf1
25.		in3mf2
26.	OutMFLabels	out1mf1
27.		out1mf2
28.		out1mf3
29.		out1mf4
30.		out1mf5
31.		out1mf6
32.		out1mf7
33.		out1mf8
34.	InMFTypes	gaussmf
35.		gaussmf
36.		gaussmf
37.		gaussmf
38.		gaussmf
39.		gaussmf
40.	OutMFTypes	linear
41.		linear
42.		linear
43.		linear
44.		linear
45.		linear
46.		linear
47.		linear
48.	InMFParams	[3.427 0.22 0 0]
49.		[3.427 8.29 0 0]
50.		[3.427 0.22 0 0]
51.		[3.427 8.29 0 0]
52.		[0.4714 0 0 0]
53.		[0.4714 1.11 0 0]
54.	OutMFParams	[0 0 0 0]
55.		[0 0 0 0]
56.		[0 0 0 0]
57.		[0 0 0 0]
58.		[0 0 0 0]
59.		[0 0 0 0]
60.		[0 0 0 0]
61.		[0 0 0 0]

```

62. Rule Antecedent [1 1 1]
63.     [1 1 2]
64.     [1 2 1]
65.     [1 2 2]
66.     [2 1 1]
67.     [2 1 2]
68.     [2 2 1]
69.     [2 2 2]
62. Rule Consequent 1
63.     2
64.     3
65.     4
66.     5
67.     6
68.     7
69.     8
62. Rule Weight 1
63.     1
64.     1
65.     1
66.     1
67.     1
68.     1
69.     1
62. Rule Connection 1
63.     1
64.     1
65.     1
66.     1
67.     1
68.     1
69.     1
1. Name      anfis
2. Type      sugeno
3. Inputs/Outputs [3 1]
4. NumInputMFs [2 2 2]
5. NumOutputMFs 8
6. NumRules    8
7. AndMethod   prod
8. OrMethod    max
9. ImpMethod   prod
10. AggMethod  max
11. DefuzzMethod wtaver
12. InLabels   input1
13.           input2
14.           input3
15. OutLabels  output
16. InRange    [0.22 8.29]
17.           [0.22 8.29]
18.           [0 1.11]
19. OutRange   [0 1.11]
20. InMFLabels in1mf1
21.           in1mf2
22.           in2mf1
23.           in2mf2
24.           in3mf1

```

```

25.      in3mf2
26. OutMFLabels  out1mf1
27.      out1mf2
28.      out1mf3
29.      out1mf4
30.      out1mf5
31.      out1mf6
32.      out1mf7
33.      out1mf8
34. InMFTypes    gaussmf
35.      gaussmf
36.      gaussmf
37.      gaussmf
38.      gaussmf
39.      gaussmf
40. OutMFTypes   linear
41.      linear
42.      linear
43.      linear
44.      linear
45.      linear
46.      linear
47.      linear
48. InMFParams   [3.392 0.2015 0 0]
49.      [3.393 8.301 0 0]
50.      [3.412 0.2166 0 0]
51.      [3.406 8.302 0 0]
52.      [0.1665 -0.1196 0 0]
53.      [0.1612 1.143 0 0]
54. OutMFParams  [-0.114 0.04446 0.1672 -0.07993]
55.      [7.298 0.5101 15.79 -13.29]
56.      [0.3278 -0.033 1.616 0.02951]
57.      [-2.458 -1.49 -18.57 16.3]
58.      [-0.4143 -0.5001 3.185 2.121]
59.      [12.76 1.276 -31.33 -68.03]
60.      [0.8116 -1.04 -1.458 1.97]
61.      [-6.875 1.675 28.94 16.03]
62. Rule Antecedent [1 1 1]
63.      [1 1 2]
64.      [1 2 1]
65.      [1 2 2]
66.      [2 1 1]
67.      [2 1 2]
68.      [2 2 1]
69.      [2 2 2]
62. Rule Consequent 1
63.      2
64.      3
65.      4
66.      5
67.      6
68.      7
69.      8
62. Rule Weight    1
63.      1
64.      1

```

65.	1
66.	1
67.	1
68.	1
69.	1
62. Rule Connection	1
63.	1
64.	1
65.	1
66.	1
67.	1
68.	1
69.	1

Lampiran 7. Output MATLAB Model ANFIS Untuk Data Pengamatan Pukul 12:00 Asli dengan Fungsi *Generalized Bell* dan 2 *Membership Function*

```

ANFIS info:
    Number of nodes: 34
    Number of linear parameters: 32
    Number of nonlinear parameters: 18
    Total number of parameters: 50
    Number of training data pairs: 349
    Number of checking data pairs: 0
    Number of fuzzy rules: 8

Start training ANFIS ...

1      0.0529359
2      0.0529089
3      0.0528849
4      0.0528633
5      0.0528435
Step size increases to 0.011000 after epoch 5.
6      0.0528247
7      0.0528046
8      0.0527842
9      0.052763
Step size increases to 0.012100 after epoch 9.
10     0.0527409
11     0.0527155
12     0.0526894
13     0.0526627
Step size increases to 0.013310 after epoch 13.
14     0.0526358
15     0.0526064
16     0.0525774
17     0.052549
Step size increases to 0.014641 after epoch 17.
18     0.0525214
19     0.0524922
20     0.0524642
21     0.0524374
Step size increases to 0.016105 after epoch 21.
22     0.0524117
23     0.0523845
24     0.0523583
25     0.0523328
Step size increases to 0.017716 after epoch 25.
26     0.0523079
27     0.0522807
28     0.0522537
29     0.0522266
Step size increases to 0.019487 after epoch 29.
30     0.0521992
31     0.0521687
32     0.0521376

```

```

33      0.0521058
Step size increases to 0.021436 after epoch 33.
34      0.0520731
35      0.0520362
36      0.0519982
37      0.051959
Step size increases to 0.023579 after epoch 37.
38      0.0519192
39      0.0518735
40      0.0518288
41      0.0517784
Step size increases to 0.025937 after epoch 41.
42      0.0517434
43      0.0516635
44      0.0517459
45      0.0516095
46      0.051704
47      0.0515709
Step size decreases to 0.023344 after epoch 47.
48      0.0516672
49      0.0515401
50      0.0516244

```

Designated epoch number reached --> ANFIS training completed at epoch 50.

rmse\_in =

0.0515

rmse\_out =

0.0647

y1a\_hat =

0.1277  
0.1470  
0.1572  
0.1509  
0.1318  
0.1390  
0.1460  
0.1321  
0.1393  
0.1361

```

1. Name      anfis
2. Type      sugeno
3. Inputs/Outputs [3 1]
4. NumInputMFs [2 2 2]
5. NumOutputMFs 8
6. NumRules   8
7. AndMethod  prod

```

8.	OrMethod	max
9.	ImpMethod	prod
10.	AggMethod	max
11.	DefuzzMethod	wtaver
12.	InLabels	input1
13.		input2
14.		input3
15.	OutLabels	output
16.	InRange	[0.22 8.29]
17.		[0.22 8.29]
18.		[0 1.11]
19.	OutRange	[0 1.11]
20.	InMFLabels	in1mf1
21.		in1mf2
22.		in2mf1
23.		in2mf2
24.		in3mf1
25.		in3mf2
26.	OutMFLabels	out1mf1
27.		out1mf2
28.		out1mf3
29.		out1mf4
30.		out1mf5
31.		out1mf6
32.		out1mf7
33.		out1mf8
34.	InMFTypes	gbellmf
35.		gbellmf
36.		gbellmf
37.		gbellmf
38.		gbellmf
39.		gbellmf
40.	OutMFTypes	linear
41.		linear
42.		linear
43.		linear
44.		linear
45.		linear
46.		linear
47.		linear
48.	InMFParams	[4.035 2 0.22 0]
49.		[4.035 2 8.29 0]
50.		[4.035 2 0.22 0]
51.		[4.035 2 8.29 0]
52.		[0.555 2 0 0]
53.		[0.555 2 1.11 0]
54.	OutMFParams	[0 0 0 0]
55.		[0 0 0 0]
56.		[0 0 0 0]
57.		[0 0 0 0]
58.		[0 0 0 0]
59.		[0 0 0 0]
60.		[0 0 0 0]
61.		[0 0 0 0]
62.	Rule Antecedent	[1 1 1]
63.		[1 1 2]

64.	[1 2 1]
65.	[1 2 2]
66.	[2 1 1]
67.	[2 1 2]
68.	[2 2 1]
69.	[2 2 2]
62. Rule Consequent	1
63.	2
64.	3
65.	4
66.	5
67.	6
68.	7
69.	8
62. Rule Weight	1
63.	1
64.	1
65.	1
66.	1
67.	1
68.	1
69.	1
62. Rule Connection	1
63.	1
64.	1
65.	1
66.	1
67.	1
68.	1
69.	1
1. Name	anfis
2. Type	sugeno
3. Inputs/Outputs	[3 1]
4. NumInputMFs	[2 2 2]
5. NumOutputMFs	8
6. NumRules	8
7. AndMethod	prod
8. OrMethod	max
9. ImpMethod	prod
10. AggMethod	max
11. DefuzzMethod	wtaver
12. InLabels	input1
13.	input2
14.	input3
15. OutLabels	output
16. InRange	[0.22 8.29]
17.	[0.22 8.29]
18.	[0 1.11]
19. OutRange	[0 1.11]
20. InMFLabels	in1mf1
21.	in1mf2
22.	in2mf1
23.	in2mf2
24.	in3mf1
25.	in3mf2
26. OutMFLabels	out1mf1

27.	out1mf2
28.	out1mf3
29.	out1mf4
30.	out1mf5
31.	out1mf6
32.	out1mf7
33.	out1mf8
34. InMFTypes	gbellmf
35.	gbellmf
36.	gbellmf
37.	gbellmf
38.	gbellmf
39.	gbellmf
40. OutMFTypes	linear
41.	linear
42.	linear
43.	linear
44.	linear
45.	linear
46.	linear
47.	linear
48. InMFParams	[3.933 2.104 0.1794 0]
49.	[3.972 2.089 8.305 0]
50.	[4.023 2.054 0.2346 0]
51.	[3.954 2.037 8.35 0]
52.	[0.2015 2.108 0.1404 0]
53.	[0.1842 2.128 1.01 0]
54. OutMFParams	[-0.04294 0.03111 0.3401 -0.0422]
55.	[3.257 1.205 18 -13.44]
56.	[0.2154 0.0004244 1.811 -0.1113]
57.	[3.156 -1.496 -22.26 7.709]
58.	[-0.3898 -0.3242 3.47 1.567]
59.	[11.78 1.909 -52.35 -43.69]
60.	[1.017 -1.547 -3.309 3.333]
61.	[-4.984 0.4545 40.2 -2.637]
62. Rule Antecedent	[1 1 1]
63.	[1 1 2]
64.	[1 2 1]
65.	[1 2 2]
66.	[2 1 1]
67.	[2 1 2]
68.	[2 2 1]
69.	[2 2 2]
62. Rule Consequent	1
63.	2
64.	3
65.	4
66.	5
67.	6
68.	7
69.	8
62. Rule Weight	1
63.	1
64.	1
65.	1
66.	1

67.	1
68.	1
69.	1
62. Rule Connection	1
63.	1
64.	1
65.	1
66.	1
67.	1
68.	1
69.	1

## BIODATA PENULIS



Penulis dalam Tugas Akhir ini bernama Rizka Fauzia (Zizi), lahir di Nganjuk pada tanggal 11 Agustus 1993. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Darsono dan Ibu Siti Amini. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari TK Bustanul Athfal III Nganjuk, SDN Payaman III Nganjuk, SMPN 1 Nganjuk, SMAN 2 Nganjuk, dan yang terakhir menempuh pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya jurusan Statistika melalui

jalur Kemitraan dan Mandiri pada tahun 2011 dengan NRP 1311100126. Selama di ITS penulis terlibat aktif dalam organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa ITS (BEM ITS) sebagai staff Kementerian Dalam Negeri pada periode 2012-2013. Selain itu, penulis merupakan anggota Badan Pengawas Dana Kampanye (BPKD) saat pemilu Presiden BEM ITS pada tahun 2014. Pada masa kuliah penulis juga pernah melakukan kerja praktek di PT Kereta Api Indonesia (PT. KAI) Daop 8 Surabaya sebagai upaya pengaplikasian ilmu statistika di dunia nyata. Untuk menyelesaikan pendidikan di jenjang sarjana ini, penulis mengambil Tugas Akhir dengan tema komputasi peramalan dengan judul **“Peramalan Ketinggian Gelombang Laut berdasarkan Kecepatan Angin dengan Metode Fungsi Transfer dan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)”**. Jika pembaca ingin memberikan kritik dan saran serta ingin berdiskusi lebih lanjut, maka dapat menghubungi melalui alamat email : rizkafauziaa@gmail.com