

Pendekatan Fungsi Transfer Sebagai Input *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) dalam Peramalan Kecepatan Angin Rata-Rata Harian di Sumenep

Yulita Nurvitasari dan Irhamah

Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail : irhamah@statistika.its.ac.id

Abstrak— Angin merupakan aliran udara dari suatu tempat ke tempat yang lain. Kecepatan angin yang melebihi 40 km/jam dapat menyebabkan bencana, misalnya nelayan tidak dapat melaut akibat gelombang laut meninggi dan lain-lain. Besarnya kecepatan angin di daerah Sumenep menjadi hal yang sangat dipertimbangkan mengingat Sumenep merupakan daerah pesisir yang masyarakatnya juga sebagian besar menjadi nelayan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai kecepatan angin. Salah satu penelitian yang bisa dilakukan adalah peramalan terhadap besarnya kecepatan angin. Data yang digunakan adalah data sekunder dari BMKG di Sumenep periode Januari 2010 sampai Desember 2011. Data yang digunakan adalah data harian kecepatan angin (Y) dan tekanan udara(X). Data *in-sample* sebanyak 723 data, sedangkan data *out-sample* 7 data. Hasil analisis deskriptif untuk tekanan udara rata-rata harian di Sumenep mulai dari Januari 2010 sampai dengan Desember 2011 sebesar 1010,275 dan rata-rata kecepatan angin adalah 5,386 knot. Model Fungsi Transfer yang terbentuk adalah data kecepatan angin pada hari ini dipengaruhi oleh tekanan udara pada 13 hari dan 14 hari sebelumnya serta kecepatan angin satu hari sebelumnya. Model ANFIS dengan *membership function* 3 dan fungsi *Phi* paling cocok digunakan untuk meramalkan data kecepatan angin. Hasil perbandingan antara Metode Fungsi Transfer dengan Metode ANFIS input fungsi transfer, diketahui bahwa metode ANFIS dengan input fungsi transfer adalah metode yang paling cocok digunakan untuk meramalkan data Kecepatan Angin periode Januari 2010 sampai dengan Desember 2011.

Kata Kunci— Kecepatan angin, Tekanan Udara, Fungsi Transfer, ANFIS.

I. PENDAHULUAN

CUACA dan iklim yang tidak menentu yang sering terjadi Cakhir-akhir ini dapat memberikan dampak negatif pada kegiatan manusia. Salah satu unsur yang mempengaruhi cuaca dan iklim adalah angin. Besarnya kecepatan angin di daerah Sumenep menjadi hal yang sangat dipertimbangkan mengingat Sumenep merupakan daerah pesisir yang masyarakatnya juga sebagian besar menjadi nelayan. Selain itu, di Sumenep terdapat pelabuhan yang digunakan untuk aktivitas pelayaran antarpulau dan nelayan melakukan aktivitasnya.

Berbagai jenis metode sudah digunakan untuk meramal-

kan data kecepatan angin di Sumenep. Metode terbaik adalah ANFIS karena kelebihan ANFIS dalam kerjanya mempergunakan algoritma belajar hibrida dimana menggabungkan metode *Least Square Estimator* (LSE) pada tahap alur maju dan *error backpropagation* (EBP) pada tahap alur mundur, ANFIS merupakan jaringan adaptif yang berbasis pada sistem inferensi fuzzy. Akan tetapi pada penelitian sebelumnya, data yang digunakan hanya dari kecepatan angin saja padahal kecepatan angin juga dipengaruhi oleh faktor lain, yaitu tekanan udara. Oleh karena itu, dapat dirumuskan beberapa permasalahan, yaitu: Bagaimana karakteristik data kecepatan angin dan tekanan udara di Sumenep, model Fungsi Transfer untuk peramalan data kecepatan angin, penerapan metode ANFIS untuk peramalan data kecepatan angin serta perbandingan hasil peramalan antara metode Fungsi Transfer dan metode ANFIS untuk peramalan data kecepatan angin rata-rata di Sumenep dengan variabel input tekanan udara. Tujuan yang ingin dicapai adalah menjawab dari permasalahan. Pada penelitian ini metode yang dikaji ialah ANFIS dengan input Fungsi Transfer.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Time Series merupakan rangkaian observasi yang berurutan. Pada umumnya urutan tersebut berdasarkan waktu [1]. Data yang tidak stasioner dalam *mean* perlu dilakukan proses pembedaan (*differencing*). *Differencing* 1:

$$Z_t' = Z_t - Z_{t-1} = (1 - B)Z_t \quad (1)$$

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 .

1. Model *Autoregressive* orde p atau AR(p)

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \quad (2)$$

2. Model *Moving Average* orde q atau MA(q)

$$Z_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (3)$$

3. Model *Autoregressive Moving Average* atau ARMA(p, q)

$$\phi_p(B)Z_t = \theta_q(B)a_t \quad (4)$$

4. Model *autoregressive integrated moving average* atau ARIMA(p, d, q)

$$\phi_p(B)(1-B)^d Z_t = \theta_0 + \theta_q(B)a_t \tag{5}$$

Patokan dalam menentukan model ARIMA [1].

Terdapat tiga tahap dalam pemodelan ARIMA ini, yaitu identifikasi model, penaksiran parameter, dan pemeriksaan diagnostik residual [2].

1. Identifikasi Model ARIMA

Tabel 1.
Pola ACF dan PACF[3]

ARIMA	ACF	PACF
AR(p)	Turun secara eksponensial menuju nol	Terpotong setelah lag p (lag 1,2,...,p) atau cuts off after lag p
MA(q)	Terpotong setelah lag q	Turun secara eksponensial menuju nol
AR(p) atau MA(q)	Terpotong setelah lag q	Terpotong setelah lag p
ARMA(p,q)	Turun secara eksponensial menuju nol setelah lag (q - p)	Turun secara eksponensial menuju nol setelah lag (p - q)

2. Estimasi Parameter Model ARIMA

Pada penelitian ini digunakan estimasi parameter dengan metode *maximum likelihood* yaitu suatu metode yang baik dan biasa digunakan dalam melakukan estimasi. Setelah melakukan estimasi parameter model, maka dilakukan uji signifikansi parameter.

3. Uji Kesesuaian Model ARIMA

Pengujian ini terdiri atas uji kecukupan model (residual memenuhi asumsi *white noise*) dan uji residual berdistribusi normal, dijelaskan sebagai berikut :

- a. Uji residual memenuhi asumsi *white noise*
- b. Uji residual berdistribusi normal

4. Kriteria Keباikan Model ARIMA

Apabila terdapat beberapa model yang sesuai, maka kriteria pemilihan model terbaik untuk data *in sample* digunakan kriteria *Akaike's Information Criterion* (AIC).

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

M = jumlah parameter yang ditaksir

Sedangkan untuk data *out sample* dapat digunakan :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{l=1}^m e_l^2}, l = 1, 2, \dots, m \tag{6}$$

Model Fungsi Transfer adalah suatu model yang menggambarkan nilai prediksi masa depan dari suatu time series didasarkan pada nilai-nilai masa lalu time series itu sendiri dan satu atau lebih variabel yang berhubungan dengan output series tersebut (Wei, 2006). Bentuk umum persamaan model fungsi transfer *single input* (x_t) dengan *single output* (y_t) adalah sebagai berikut.

$$y_t = \frac{\omega_s(B)B^b}{\delta_r(B)} x_t + \frac{\theta(B)}{\phi(B)} a_t \tag{7}$$

Keterangan :

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

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

b = periode sebelum deret input mulai berpengaruh terhadap output

s = lama periode deret output mulai dipengaruhi oleh deret input

r = lama periode deret output mulai dipengaruhi oleh masa lalunya

Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems (ANFIS) merupakan gabungan dari *Artificial Neural Network* (ANN) dan *Fuzzy Inference Systems* (FIS) ANFIS adalah jaringan adaptif yang berbasis pada sistem inferensi fuzzy. Misal aturan yang digunakan adalah dua aturan fuzzy *IF-THEN*, yaitu:

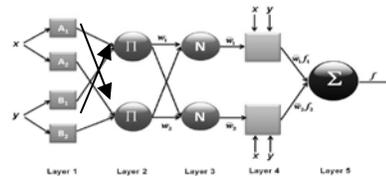
Rule 1 : if x₁ is A₁ and x₂ is B₁ then f₁ = p₁x₁ + q₁x₂ + r₁

Rule 2 : if x₁ is A₂ and x₂ is B₂ then f₂ = p₂x₁ + q₂x₂ + r₂

Rule 3 : if x₁ is A₁ and x₂ is B₂ then f₃ = p₃x₁ + q₃x₂ + r₃

Rule 4 : if x₁ is A₂ and x₂ is B₁ then f₄ = p₄x₁ + q₄x₂ + r₄

Arsitektur ANFIS Sugeno terdiri atas lima layer dan setiap layer terdapat dua macam node yaitu node adaptif (bersymbol kotak) dan node tetap (bersymbol lingkaran).

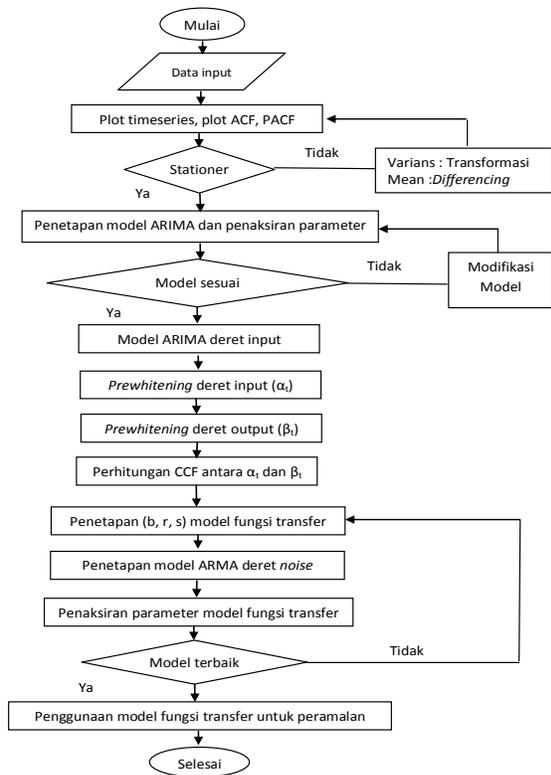


Gambar. 1. Arsitektur ANFIS Secara Umum.

III. METODOLOGI

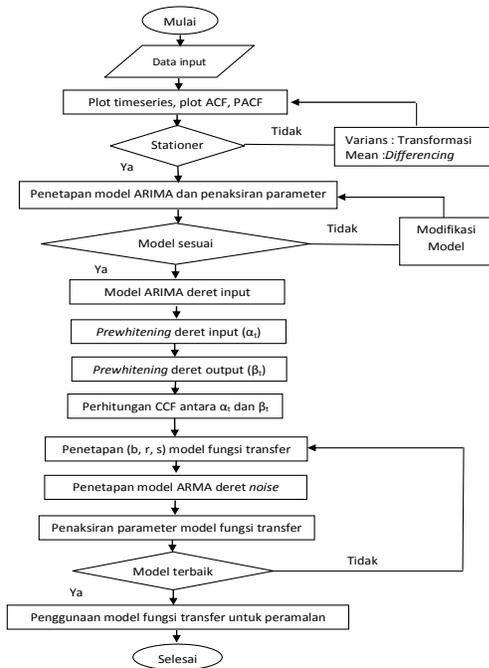
Sumber Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di Sumenep. Data yang digunakan adalah data harian kecepatan angin (Y) dan tekanan udara (X) mulai periode Januari 2010 sampai dengan Desember 2011. Data *training* (*in-sample*) yang digunakan sebanyak 723 data sedangkan data *checking* (*out-sample*) sebanyak 7 data.

A. Tahapan Metode Fungsi Transfer



Gambar. 2. Diagram Alir Fungsi Transfer.

B. Tahapan Metode ANFIS



Gambar. 3. Diagram Alir ANFIS.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Data Tekanan dan Kecepatan Angin Rata-rata Harian di Sumenep

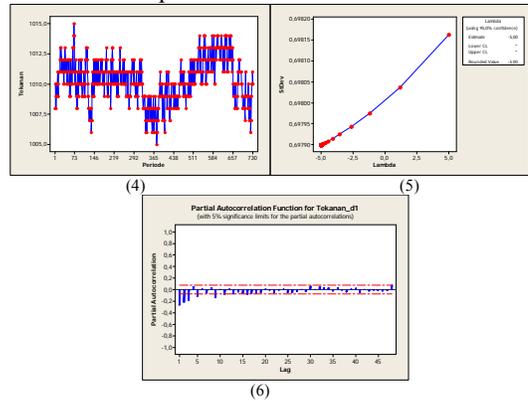
Analisis deskriptif dilakukan untuk mendeskripsikan data kecepatan angin dan tekanan udara dari Januari -Desember 2011 sehingga dapat lebih mudah dipahami dan dijelaskan. Hasil analisis deskriptif yang diperoleh ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2.
Statistik Deskriptif Data Kecepatan Angin dan Tekanan

	Mean	St Dev	Minimum	Maximum
Kecepatan Angin	5,386167	1,93	1	17
Tekanan Udara	1010,275	1,188125	1005	1015

Analisis deskriptif tekanan udara rata-rata harian di Sumenep sebesar 1010,275 dan rata-rata kecepatan angin harian dari Januari 2010-Desember 2011 adalah 5,386 knot.

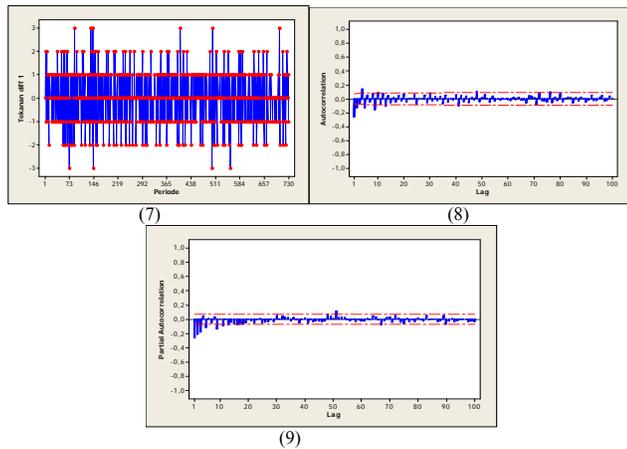
Tahap awal pembentukan model fungsi transfer adalah identifikasi model deret *input* yaitu tekanan udara. Syarat utama yang harus dipenuhi dalam pemodelan *time series* adalah stasioner. Kestasioneran dalam varians dapat dilihat dari plot *box-cox* dari data sedangkan kestasioneran dalam *mean* bisa dilihat dari plot ACF.



Gambar. 4. Tekanan Udara dari Januari 2010 - Desember 2011. Gambar. 5. Plot *Box Cox* untuk Tekanan Udara di Sumenep. Gambar. 6. Plot Plot ACF Data Tekanan (*Training*).

Nilai λ sebesar -5,00 dengan batas bawah dan batas atas yang tidak terbatas. Oleh karena itu, pada penelitian ini data *in-sample* dari variabel tekanan udara tidak memerlukan transformasi. Plot ACF tersebut menunjukkan bahwa data belum stasioner dalam mean. Secara visual plot ACF cenderung turun lambat menuju nol sehingga perlu dilakukan *differencing* non musiman yaitu *differencing* 1.

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa data tekanan udara rata-rata setelah dilakukan *differencing* 1 non musiman sudah stasioner dalam mean. Gambar 8 menjelaskan plot ACF yang mana dapat dilihat *lag* 1, 2, 4, 5 dan 9 keluar batas signifikansi. Pada Gambar 9 yaitu Plot PACF diketahui *lag* 1, 2, 3, 5 dan 9 keluar dari batas signifikansi.



Gambar. 7. Plot Time Series Data Training Setelah Differencing 1. Gambar. 8. Plot ACF Tekanan Udara Differencing 1. Gambar. 9. Plot PACF Tekanan Udara Differencing 1.

Tabel 5. Model ARIMA Dugaan Pada Tekanan Udara

Model	Model Dugaan
I	ARIMA ([1,2,4],1,[2])
II	ARIMA ([1,4],1,[2,3,9,13])

Terdapat 2 model ARIMA yang diduga sesuai dengan pola data tekanan udara, yaitu model ARIMA ([1,2,4],1,[2]) dan ARIMA ([1,4],1, [2,3,9,13]). Berikut adalah hasil parameter yang signifikan dan memenuhi asumsi white noise dan mengikuti distribusi normal pada residual.

Tabel 4.

Uji Signifikansi Parameter Model Data Tekanan Udara

Model ARIMA	Parameter	Estimasi	P-value	Keputusan
([1,2,4],1,[2])	θ_2	0,83100	0,0001	Signifikan
	ϕ_1	-0,31963	0,0001	Signifikan
	ϕ_2	0,47361	0,0001	Signifikan
	ϕ_4	0,15577	0,0001	Signifikan
([1,4],1,[2,3,9,13])	θ_2	0,36674	0,0001	Signifikan
	θ_3	0,12858	0,0002	Signifikan
	θ_9	0,15091	0,0001	Signifikan
	θ_{13}	0,09718	0,0049	Signifikan
	ϕ_1	-0,37144	0,0001	Signifikan
	ϕ_4	0,10415	0,0042	Signifikan

Berdasarkan informasi Tabel 5 residual model yang terbentuk telah memenuhi asumsi white noise untuk model ARIMA ([1,2,4],1,[2]) dan ARIMA ([1,4],1,[2,3,9,13]). Kedua model ARIMA tersebut juga telah memenuhi kenormalan data.

Tabel 5.

Uji White Noise & Kenormalan Residual Model Data Tekanan Udara

Model ARIMA	Uji White Noise		Uji Kenormalan
	Hingga Lag	P-value	
([1,2,4],1,[2])	12	0,1209	>0,1500
	24	0,1026	
	36	0,1637	
	48	0,1255	
([1,4],1,[2,3,9,13])	12	0,4243	>0,1500
	24	0,8173	
	36	0,6234	
	48	0,2742	

Model yang dipilih sebagai model terbaik dilihat berdasarkan nilai AIC paling kecil. Tabel dibawah merupakan AIC *in-sample* dari masing-masing model.

Tabel 6.

Kriteria Pemilihan Model Terbaik

Model ARIMA	AIC	SBC	RMSE
([1,2,4],1,[2])	1998,423	2016,751	2,3238
([1,4],1,[2,3,9,13])	1992,554	2020,046	2,2747

Berdasarkan Tabel 6 nilai AIC dan RMSE model Data Tekanan Udara memperlihatkan bahwa model ARIMA terbaik adalah model yang memiliki nilai AIC dan RMSE paling kecil adalah model ARIMA ([1,4],1,[2,3,9,13]). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$(1 - \phi_1 B - \phi_4 B^4)x_t = (1 - \theta_2 B^2 - \theta_3 B^3 - \theta_9 B^9 - \theta_{13} B^{13})\alpha_t$$

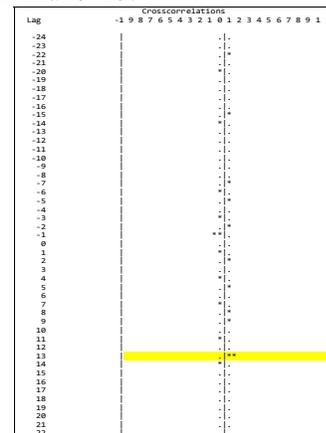
dimana : $x_t = (1 - B)X_t = X_t - X_{t-1}$

Persamaan matematis untuk deret α_t dan β_t diberikan sebagai berikut.

$$\alpha_t = X_t - X_{t-1} + 0,37144 X_{t-1} - 0,37144 X_{t-2} - 0,19415 X_{t-4} - 0,19415 X_{t-5} + 0,36674 \alpha_{t-2} + 0,12858 \alpha_{t-3} + 0,15091 \alpha_{t-9} + 0,09718 \alpha_{t-13}$$

$$\beta_t = Y_t - Y_{t-1} + 0,37144 Y_{t-1} - 0,37144 Y_{t-2} - 0,19415 Y_{t-4} - 0,19415 Y_{t-5} + 0,36674 \beta_{t-2} + 0,12858 \beta_{t-3} + 0,15091 \beta_{t-9} + 0,09718 \beta_{t-13}$$

Pada Gambar 10 ditunjukkan pola cross correlation function lag ke-13 adalah signifikan yang artinya tekanan udara berpengaruh terhadap kecepatan angin, dari hal tersebut maka ditetapkan nilai b=13.



Gambar.10. CCF Data Kecepatan Angin dengan Tekanan Udara.

Dugaan sementara untuk lama deret output secara terus-menerus dipengaruhi nilai-nilai baru deret input dinyatakan dalam nilai s=0 karena setelah lag ke-13 tidak ada lagi lag yang signifikan. Sementara itu, deret output berkaitan dengan nilai-nilai masa lalunya dinyatakan oleh nilai r=0.

Tabel 7.

Estimasi dan Signifikansi Parameter Orde (b, s, r)

Model	b=13 ; r=0 ; s=0	
	Estimasi	P-value
ω_{13}	0.14482	0.0285

Tahap akhir dari model fungsi transfer antara tekanan udara dan kecepatan angin pemodelan secara menyeluruh dengan memasukkan model variabel input ARIMA, dugaan nilai b,s,r dan model deret noise ARMA. Tabel 8 menunjukkan bahwa dari model ARMA yang diprediksi untuk model deret noise b=13; r=0; s=0 yaitu model ARMA ([1,2,6],[3,7,8]) dan ARMA ([6,7,8],[1,2,3]).

Tabel 4.8
Estimasi dan Signifikansi Parameter Model ARMA Deret *Noise* $b=13; s=0; r=0$ dari Fungsi Transfer

Model ARMA	Parameter	Estimasi	P-value	Keputusan
([1,2,6],[3,7,8])	θ_3	0,27305	<0,0001	Signifikan
	θ_7	0,12604	0,0009	Signifikan
	θ_8	0,21336	<0,0001	Signifikan
	ϕ_1	-0,39356	<0,0001	Signifikan
	ϕ_2	-0,29293	<0,0001	Signifikan
	ϕ_6	-0,11673	0,0025	Signifikan
([6,7,8],[1,2,3])	ω_{13}	0,12042	0,063	Tidak Signifikan
	θ_1	0,3805	<0,0001	Signifikan
	θ_2	0,15315	0,0001	Signifikan
	θ_3	0,09767	0,0115	Signifikan
	ϕ_6	-0,11178	0,0033	Signifikan
	ϕ_7	-0,08049	0,0310	Signifikan
	ϕ_8	-0,17515	<0,0001	Signifikan
	ω_{13}	0,12956	0,0415	Signifikan

Pada model ARMA ([1,2,6],[3,7,8]) terdapat parameter yang tidak signifikan adalah ω_{13} karena *p-value* yang dimiliki adalah 0,063 atau lebih besar dari $\alpha=0,05$. Sedangkan model ARMA([6,7,8],[1,2,3]) menunjukkan bahwa semua parameter sudah signifikan pada model karena *p-value* yang dimiliki lebih kecil dari $\alpha=0,05$.

Tabel 9.
Uji *White Noise* & Kenormalan Residual Model Deret *Noise*

Model ARMA	Uji <i>White Noise</i>		Uji Kenormalan
	Lag	P-value	
([6,7,8],[1,2,3])	12	0,3350	0,0907
	24	0,3792	
	26	0,2323	
	48	0,4196	

Tabel 9 menunjukkan bahwa untuk model deret *noise* ARMA ([6,7,8],[1,2,3]), semua residual sudah memenuhi asumsi *white noise*. Asumsi selanjutnya yang harus dipenuhi adalah *crosscorrelation* residual (\hat{a}_t) dengan deret *input* (\hat{e}_t) memenuhi asumsi *white noise*. Hasil dari pengujian asumsi tersebut adalah seperti Tabel 10.

Tabel 10.
Crosscorrelation Residual dengan Deret *Input*

Model ARMA	Lag	P-value
([6,7,8],[1,2,3])	11	0,9934
	23	0,6393
	35	0,6570
	47	0,8509

Tabel 10 menjelaskan bahwa residualnya telah *white noise*. Sehingga secara matematis model deret *noise* ARMA ([6,7,8],[1,2,3]) dengan keterkaitan antara deret *input* dengan deret *output* terjadi pada lag-13 dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\eta_t = \frac{(1 - 0,38505B^1 - 0,15315B^2 - 0,09767B^3)a_t}{(1 + 0,11178B^6 + 0,08049B^7 + 0,17515B^8)}$$

Perbandingan tersebut dapat diukur dengan menggunakan RMSE.

Tabel 11.
Fitting Data Out-sample dengan Hasil Ramalan

Model Variabel <i>Input</i>	Dugaan (b,s,r)	Model Deret <i>Noise</i>	RMSE
-----------------------------	----------------	--------------------------	------

ARIMA ((1,4],0,[2,3,9,13])	(13,0,0)	ARMA ((6,7,8],[1,2,3])	2,0365
----------------------------	----------	------------------------	--------

Berdasarkan informasi Tabel 11, model dengan dugaan $b=13$ $r=0$ $s=0$ memberikan nilai RMSE sebesar 2,0365. Model fungsi transfer terbaik diberikan dalam persamaan sebagai berikut.

$$Y_t = Y_{t-1} + 0,12956 X_{t-13} + 0,12956 X_{t-14} + \frac{(1 - 0,38505 B^1 - 0,15315 B^2 - 0,09767 B^3)a_t}{(1 + 0,11178 B^6 + 0,08049 B^7 + 0,17515 B^8)}$$

Peramalan menggunakan ANFIS, ditentukan dari jumlah *membership function* dan jenis *membership function* yang digunakan. Misalkan *Gaussian* dengan jumlah MF sebanyak 2 dan iterasi sejumlah 50 kali. Penentuan variabel input pada ANFIS berdasarkan pada model Fungsi Transfer kecepatan angin dengan data *in-sample*. Variabel input yaitu X_{t-13} , X_{t-14} dan Y_{t-1} dimana X_t adalah data tekanan udara ke- t dan Y_t merupakan kecepatan angin ke- t .

Pada fungsi *Gaussian*, total *premise parameter* yang ditaksir untuk 8 kelompok data adalah sebanyak 12 nilai taksiran *premise parameter* awal.

Tabel 12.
Taksiran Awal *Premise Parameter* Pada Metode ANFIS

Himpunan <i>Fuzzy</i>	Parameter MF Gaussian (Premis Awal)	
	σ_i	c_i
A_1	4,62	1005
A_2	4,50	1015
B_1	4,50	1005
B_2	4,18	1015
C_1	4,38	1,006
C_2	6,59	17,31

Nilai-nilai parameter pada Tabel 12 digunakan untuk menentukan derajat keanggotaan himpunan *fuzzy* sehingga dapat dilakukan proses *fuzzyfication* yaitu mengubah data input X_{t-13} , X_{t-14} dan Y_{t-1} menjadi himpunan *fuzzy*. Tahapan selanjutnya adalah menghitung *firing strength* (w_{it}) yang merupakan cerminan dari aturan (*rule*) pada Tabel 13.

Tahapan berikutnya adalah *defuzzification* yang merupakan output dari *layer* ke-4. Fungsi $f_{i,t}$ merupakan kesimpulan dari aturan keanggotaan *fuzzy* dengan nilai-nilai parameter yang diuraikan pada Tabel 14.

Tahap terakhir dari tahap pembentukan model peramalan ANFIS di *layer* ke-5. Model peramalan ANFIS dengan input fungsi transfer untuk kecepatan angin adalah.

$$\hat{y}_t = \bar{w}_{1,t}(-0,85 X_{t-13} - 0,030 X_{t-14} - 2,086 Y_{t-1} - 851,4) + \bar{w}_{2,t}(3,29 X_{t-13} + 3,092 X_{t-14} - 4,539 Y_{t-1} + 251,4) + \bar{w}_{3,t}(-0,98 X_{t-13} - 0,094 X_{t-14} + 3,21 Y_{t-1} - 839,72) + \bar{w}_{4,t}(4,93 X_{t-13} + 5,129 X_{t-14} + 5,765 Y_{t-1} - 338,0) + \bar{w}_{5,t}(-2,75 X_{t-13} - 2,651 X_{t-14} + 0,377 Y_{t-1} - 116,7) + \bar{w}_{6,t}(12,23 X_{t-13} + 12,49 X_{t-14} + 3,161 Y_{t-1} - 253,6) + \bar{w}_{7,t}(-0,15 X_{t-13} - 0,025 X_{t-14} - 3,127 Y_{t-1} - 142,2)$$

Tabel 13.
Nilai *firing strength* dan aturan keanggotaan *fuzzy* pada model ANFIS untuk meramal

<i>Firing Strength</i>	Formula	Aturan (<i>rule</i>)
$w_{1,t}$	$\mu_{A_1}(X_{t-13})\mu_{B_1}(X_{t-14})$ $\mu_{C_1}(Y_{t-1})$	If (X_{t-13} is A_1) and (X_{t-14} is B_1) and (Y_{t-1} is C_1) then $f_{1,t} = p_1 X_{t-13} + q_1 X_{t-14} + r_1 Y_{t-1} + s_1$
$w_{2,t}$	$\mu_{A_1}(X_{t-13})\mu_{B_1}(X_{t-14})$ $\mu_{C_2}(Y_{t-1})$	If (X_{t-13} is A_1) and (X_{t-14} is B_1) and (Y_{t-1} is C_2) then $f_{2,t} = p_2 X_{t-13} + q_2 X_{t-14} + r_2 Y_{t-1} + s_2$
$w_{3,t}$	$\mu_{A_1}(X_{t-13})\mu_{B_2}(X_{t-14})$ $\mu_{C_1}(Y_{t-1})$	If (X_{t-13} is A_1) and (X_{t-14} is B_2) and (Y_{t-1} is C_1) then $f_{3,t} = p_3 X_{t-13} + q_3 X_{t-14} + r_3 Y_{t-1} + s_3$
$w_{4,t}$	$\mu_{A_1}(X_{t-13})\mu_{B_2}(X_{t-14})$ $\mu_{C_2}(Y_{t-1})$	If (X_{t-13} is A_1) and (X_{t-14} is B_2) and (Y_{t-1} is C_2) then $f_{4,t} = p_4 X_{t-13} + q_4 X_{t-14} + r_4 Y_{t-1} + s_4$
$w_{5,t}$	$\mu_{A_2}(X_{t-13})\mu_{B_1}(X_{t-14})$ $\mu_{C_1}(Y_{t-1})$	If (X_{t-13} is A_2) and (X_{t-14} is B_1) and (Y_{t-1} is C_1) then $f_{5,t} = p_5 X_{t-13} + q_5 X_{t-14} + r_5 Y_{t-1} + s_5$
$w_{6,t}$	$\mu_{A_2}(X_{t-13})\mu_{B_1}(X_{t-14})$ $\mu_{C_2}(Y_{t-1})$	If (X_{t-13} is A_2) and (X_{t-14} is B_1) and (Y_{t-1} is C_2) then $f_{6,t} = p_6 X_{t-13} + q_6 X_{t-14} + r_6 Y_{t-1} + s_6$
$w_{7,t}$	$\mu_{A_2}(X_{t-13})\mu_{B_2}(X_{t-14})$ $\mu_{C_1}(Y_{t-1})$	If (X_{t-13} is A_2) and (X_{t-14} is B_2) and (Y_{t-1} is C_1) then $f_{7,t} = p_7 X_{t-13} + q_7 X_{t-14} + r_7 Y_{t-1} + s_7$
$w_{8,t}$	$\mu_{A_2}(X_{t-13})\mu_{B_2}(X_{t-14})$ $\mu_{C_2}(Y_{t-1})$	If (X_{t-13} is A_2) and (X_{t-14} is B_2) and (Y_{t-1} is C_2) then $f_{8,t} = p_8 X_{t-13} + q_8 X_{t-14} + r_8 Y_{t-1} + s_8$

Tabel 14.
Nilai parameter $f_{i,t}$ pada model ANFIS

$f_{i,t}$	Parameter (Premis Akhir)			
	p_i	q_i	r_i	s_i
$f_{1,t}$	-0,85	0,0030	2,086	851,4
$f_{2,t}$	3,29	-3,092	4,539	-251,4
$f_{3,t}$	-0,98	0,9469	-3,210	39,72
$f_{4,t}$	4,93	-5,129	-5,765	338
$f_{5,t}$	-2,75	2,651	-0,3773	116,7
$f_{6,t}$	12,23	-12,49	-3,127	253,6
$f_{7,t}$	-0,15	0,0024	3,127	142,2
$f_{8,t}$	2,44	-2,543	4,279	51,54

Tahap terakhir dari tahap pembentukan model peramalan ANFIS di *layer* ke-5. Model peramalan ANFIS dengan input fungsi transfer untuk kecepatan angin adalah.

$$\hat{y}_t = \bar{w}_{1,t}(-0,85 X_{t-13} - 0,030 X_{t-14} - 2,086 Y_{t-1} - 851,4) + \bar{w}_{2,t}(3,29 X_{t-13} + 3,092 X_{t-14} - 4,539 Y_{t-1} + 251,4) + \bar{w}_{3,t}(-0,98 X_{t-13} - 0,094 X_{t-14} + 3,21 Y_{t-1} - 839,72) + \bar{w}_{4,t}(4,93 X_{t-13} + 5,129 X_{t-14} + 5,765 Y_{t-1} - 338,0) + \bar{w}_{5,t}(-2,75 X_{t-13} - 2,651 X_{t-14} + 0,377 Y_{t-1} - 116,7) + \bar{w}_{6,t}(12,23 X_{t-13} + 12,49 X_{t-14} + 3,161 Y_{t-1} - 253,6) + \bar{w}_{7,t}(-0,15 X_{t-13} - 0,025 X_{t-14} - 3,127 Y_{t-1} - 142,2)$$

Tabel 15.

Nilai RMSE untuk Peramalan dengan Metode ANFIS Menggunakan Jumlah *Membership Function* dan 3

Fungsi Keanggotaan	MF 2	MF 3
Gauss	1,6871	1,4911
Gbell	1,6505	1,4419
Trapesium	1,5375	1,4999
Phi	1,5961	1,4101

Secara keseluruhan Metode ANFIS dengan *membership function* 3 dan fungsi *Phi* paling cocok digunakan untuk meramalkan data kecepatan angin periode Januari 2010 sampai dengan Desember 2011.

Untuk mengetahui metode yang paling cocok digunakan pada data Kecepatan Angin bisa diketahui dari nilai RMSE terkecil pada data *Out-samplynya*. Hasil nilai RMSE bisa dilihat pada Tabel 16 berikut.

Tabel 16.
Perbandingan Hasil Ramalan Kecepatan Angin (Knot) Data *Out sample* Metode Fungsi Transfer dengan Metode ANFIS *input* Fungsi Transfer

Tanggal	Aktual	Fungsi Transfer	ANFIS
25 Desember 2011	5	2,657238	2,818459
26 Desember 2011	4	3,283363	3,260089
27 Desember 2011	6	3,631743	3,846418
28 Desember 2011	5	3,737097	3,673492
29 Desember 2011	4	3,386802	3,502064
30 Desember 2011	2	3,369021	3,397876
31 Desember 2011	3	3,505601	2,891598
RMSE		1,4982	1,4101

Tabel 16 menunjukkan bahwa metode ANFIS *input* fungsi transfer memiliki nilai RMSE yang lebih kecil. Oleh karena itu, metode yang paling cocok digunakan untuk meramalkan data Kecepatan Angin dengan pengaruh Tekanan Udara adalah Metode ANFIS *input* fungsi transfer.

V. KESIMPULAN

1. Analisis deskriptif untuk tekanan udara rata-rata harian di Sumenep sebesar 1010,275 dan rata-rata kecepatan angin rata-rata harian dari Januari 2010 sampai dengan Desember 2011 adalah 5,386 knot. Kecepatan angin terbesar adalah 17 knot atau sekitar 31,49 km/jam.
2. Model Fungsi Transfer yang terbentuk adalah:
$$Y_t = Y_{t-1} + 0,12956X_{t-13} + 0,12956X_{t-14} + \frac{(1 - 0,38505B^1 - 0,15315B^2 - 0,09767B^3)a_1}{(1 + 0,11178B^6 + 0,08049B^7 + 0,17515B^8)}$$
3. Model ANFIS pada kombinasi jenis fungsi dan jumlah *membership function* 2 dan 3, dengan *membership function* 2 dan fungsi *Trapesium* menunjukkan nilai RMSE yang lebih kecil dibandingkan dengan 3 fungsi lainnya. Sedangkan pada *membership function* 3 dan fungsi *Phi* menunjukkan nilai RMSE yang lebih kecil dibandingkan dengan 3 fungsi lainnya. Secara keseluruhan Metode ANFIS dengan *membership function* 3 dan fungsi *Phi* paling cocok digunakan untuk meramalkan data kecepatan angin periode Januari 2010 sampai dengan Desember 2011.
4. Metode Fungsi Transfer dengan Metode ANFIS dengan *input* fungsi transfer, diketahui bahwa metode ANFIS dengan *input* fungsi transfer memiliki nilai RMSE yang lebih kecil. Oleh karena itu, metode yang paling cocok digunakan untuk meramalkan data Kecepatan Angin adalah Metode ANFIS dengan *input* fungsi transfer. Hasil peramalan tujuh hari kedepan dengan menggunakan metode ANFIS dengan *input* fungsi transfer adalah.

Tanggal	Kecepatan Angin (Knot)	Kecepatan Angin (Km/Jam)
01 Januari 2012	3,076841	5,698309
02 Januari 2012	3,603783	6,674206
03 Januari 2012	3,834833	7,10211
04 Januari 2012	3,646568	6,753444
05 Januari 2012	4,114749	7,620515
06 Januari 2012	4,46173	8,263125
07 Januari 2012	4,8643	9,008683

Nilai ramalan yang diperoleh menggunakan ANFIS dengan variabel input fungsi transfer. Nilai ramalannya tidak melebihi 40 km/jam jadi masih dalam keadaan aman apabila digunakan untuk melakukan aktivitas di pelabuhan Kalianget, Sumenep.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. W. S. Wei, *Time Series Analysis, Univariate and Multivariate Methods*, Canada: Addison Wesley Publishing Company. (2006).
- [2] B. L. Bowerman dan R. T. O'Connell, *Forecasting and Time Series: An Applied Approach*, 3rd edition, Belmont, California : Duxbury Press (1993).
- [3] S. Makridakis, S. C. Wheelwright dan V. E. McGee, *Metode dan Aplikasi Peramalan, Jilid 1 Edisi Kedua (terjemahan)*. Jakarta : Bina Rupa Aksara (1999).