

PEMODELAN KECEPATAN ANGIN DI KOTA SEMARANG MENGUNAKAN *ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS)

Alifah Zahlevi¹, Alan Prahutama², Abdul Hoyyi³

^{1,2,3}Departemen Statistika FSM UNDIP

Alan.prahutama@gmail.com

ABSTRACT

Semarang city is the one of the strategic areas located in the middle of the north coast of Java that has a tropical climate with the high humidity and temperature, so it often causes a high rainfall and strong wind. So that is way Semarang city is ever sustained the extreme weather like a Tropical Storm. Since January 2016 until 2017 there are 34 cases of Tornado and 24 incidents of fallen trees because of the gale. For helping the people to be allert the effect of the strong winds can be done by predicting the average of wind velocity by using *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) method which can predict the climate change that do not require the assumption of white noise and normal residual distribution. In addition ANFIS is a group of neural network with input that has been fuzzied on the first or second layer, but the weight of the artificial neural is not fuzzied. The identification result of stationaries obtained the plot of PACF on the first and second lag, with the result that these lag which will be a input variable on ANFIS model. The result of ANFIS by using cluster FCM, the third total membership show the smallest percentage of RMSE *in-sample* is 0,0048 on the first lag, and the smallest percentage of RMSE *out-sample* is 0,008 on the ANFIS model with the input lag 1 and three cluster.

Keywords : the average of wind velocity, ANFIS, RMSE

1. PENDAHULUAN

Kota Semarang berada di tengah-tengah pantai utara Jawa menjadikan kota Semarang beriklim tropis dengan suhu udara dan kelembaban udara yang tinggi, curah hujan yang tinggi dan disertai angin kencang (Badan Pusat Statistika atau BPS kota Semarang, 2009). Januari 2016, terdapat 34 kasus bencana puting beliung di wilayah Jawa Tengah dan 24 kejadian pohon tumbang yang disebabkan oleh angin kencang. Februari 2017, Badan Meteorologi dan Klimatologi Geofisika atau BMKG Semarang memperkirakan terjadi angin kencang disertai hujan di Jawa Tengah khususnya Semarang

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System atau ANFIS merupakan salah satu model peramalan iklim yang digunakan oleh BMKG dimana metode ini tidak membutuhkan asumsi *white noise* dan residual berdistribusi normal dimana sering tidak ditemui pada data. ANFIS adalah salah satu sistem hybrid yang menggabungkan *neural network* dan *fuzzy logic*. *Neuro fuzzy* termasuk kelompok jaringan syaraf dengan *input* yang difuzzykan pada lapisan pertama atau kedua, namun bobot-bobot pada jaringan syaraf tiruan tersebut tidak difuzzykan. ANFIS menggunakan sistem inferensi *fuzzy* model Takagi Sugeno Kang (TSK) yang terdiri dari satu lapisan *input*, tiga lapisan tersembunyi, dan satu lapisan output.

Langkah dalam menganalisis dapat dimulai dengan menentukan variabel *input* yang akan digunakan dengan melihat lag pada plot PACF. Dari variabel *input* tersebut maka ditentukan jumlah keanggotaan dan fungsi keanggotaan. Berdasarkan variabel *input* diperoleh model terbaik. Dari variabel *input* terbaik maka ditentukan jumlah keanggotaan terbaik dengan mengganti jumlah keanggotaan. Model yang diperoleh dari hasil variabel *input* dan jumlah keanggotaan terbaik dapat digunakan untuk menentukan model terbaik berdasarkan fungsi keanggotaan. Dari keseluruhan model tersebut diperoleh nilai RSME dimana nilai RMSE ini yang akan digunakan untuk memperoleh model terbaik dengan melihat nilai RMSE terkecil. Model terbaik akan digunakan untuk meramalkan.

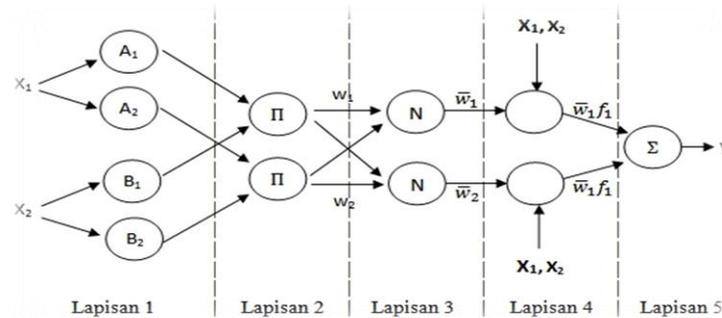
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ANFIS

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah salah satu sistem hybrid yang

menggabungkan *neural network* dan *fuzzy logic*. ANFIS merupakan arsitektur yang secara fungsional sama dengan *fuzzy rule based* model Sugeno. (Kusumadewi & Hartati, 2006). Pada arsitektur ANFIS digunakan dua aturan pada basis aturan model Sugeno (Jang, 1997) yaitu:

Rule I : If x_1 is A_1 and x_2 is B_1 Then $f_1 = c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + c_{10}$
 Rule II : If x_1 is A_2 and x_2 is B_2 Then $f_2 = c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + c_{20}$



Gambar 1. Struktur ANFIS

Jaringan ANFIS terdiri dari lapisan-lapisan sebagai berikut (Jang, 1997):

- Lapisan pertama berupa derajat keanggotaan yang diberikan oleh fungsi keanggotaan input. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah Gbell dimana $\{a, b, c\}$ adalah parameter-parameter, biasanya $b = 1$. Parameter-parameter pada lapisan ini disebut dengan *premise parameters*.

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}}$$

- Lapisan kedua berupa neuron tetap yang outputnya adalah hasil dari masukkan. Tiap-tiap node merepresentasikan predikat dari aturan ke- i . Lapsan ini disebut dengan *firing strength*.

$$w_i = \mu_{A_i} \cdot \mu_{B_i}$$

dimana μ_{A_i} adalah fungsi keanggotaan A pada aturan ke- i dan μ_{B_i} adalah fungsi keanggotaan B pada aturan ke- i .

- Lapisan ketiga disebut dengan *normalised firing strength*.

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}$$

- Lapisan keempat, tiap-tiap neuron pada lapisan keempat merupakan node adaptif terhadap suatu output. \bar{w}_i adalah *normalised firing strength* pada lapisan ketiga dan $\{c_{i1}, c_{i2}, c_{i0}\}$ adalah parameter-parameter pada neuron tersebut. Parameter-parameter pada lapisan tersebut disebut dengan *consequent parameters*.

$$\bar{w}_i y_i = \bar{w}_i (c_{i1}x_1 + c_{i2}x_2 + c_{i0})$$

- Lapisan kelima adalah node tetap yang merupakan jumlah dari semua masukan.

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

ANFIS dalam pengerjaannya menggunakan pembelajaran *hybrid* yang menggabungkan metode *Least Square Estimator* (LSE) dan *error backpropagation* (EBP). Pada langkah maju (*forward*), *input* jaringan akan merambat maju sampai pada lapisan keempat, dimana parameter-parameter c_{ij} akan diidentifikasi dengan menggunakan metode LSE. Sedangkan pada langkah mundur (*backward*), *error* akan merambat mundur dan parameter-parameter $\{a_i, b_i, c_i\}$ akan diperbaiki dengan menggunakan metode *gradient-descent*.

2.2 Pemilihan Model Terbaik

Salah satu cara untuk mengukur tingkat akurasi peramalan dapat dengan menggunakan RMSE atau *Root Mean Square Error*. *RMSE* merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan, juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan. Nilai *RMSE* rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan mendekati variasi nilai obeservasinya (Makridakis dan Hibon, 1995).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (X_i - F_i)^2}{m}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m e_i^2}{m}}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Sumber data untuk mendukung penelitian ini adalah data harian rata-rata kecepatan angin periode November 2016 sampai dengan April 2017 yang diperoleh dari laporan iklim harian yang terdapat pada website resmi BMKG yaitu dataonline.bmkg.go.id yang dibagi menjadi data *in-sample* dan data *out-sample*.

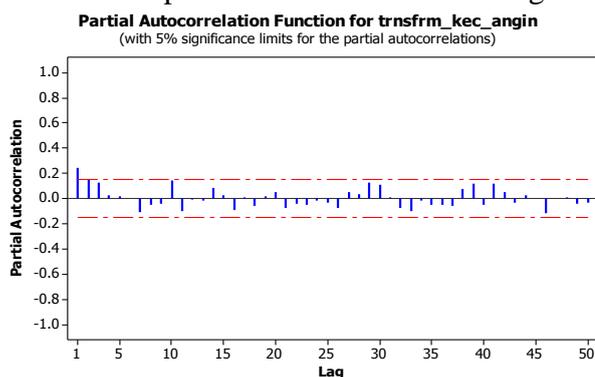
3.2 Tahapan Analisis

1. Menentukan plot PACF
2. Menentukan variabel *input* berdasarkan lag AR
3. Menentukan jumlah keanggotaan. Fungsi keanggotaan (*Membership Function*) yang digunakan adalah *Gbell*, *Gaussian*, *Triangle* dan *Trapezoidal* serta banyaknya iterasi
4. Melakukan proses ANFIS berupa fuzzifikasi, operasi logika fuzzy, pengaktifan derajat ternormalisasi, dan defuzzifikasi
5. Meramalkan data *out-sample* dan menghitung RMSE data *out-sample*
6. Menentukan model terbaik berdasarkan RMSE terkecil.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan ANFIS Berdasarkan Variabel *Input* dan Jumlah Keanggotaan 2

Berdasarkan plot PACF pada Gambar 3, terlihat bahwa *cut off* setelah lag 2 sehingga variabel *input* yang digunakan untuk pemodelan ANFIS adalah lag 1 dan lag 2.



Gambar 3. Plot PACF Rata-rata Kecepatan Angin

Berdasarkan analisis ANFIS diperoleh model terbaik yaitu model ANFIS *input* lag 1 dengan nilai RMSE *in-sample* terkecil sebesar 0,004845 dan RMSE *out-sample* terkecil sebesar 0,008008, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\hat{y}_t^{(1)} = c_{11}y_{t-1} + c_{10}$$

$$\hat{y}_t^{(2)} = c_{21}y_{t-1} + c_{20}$$

Tabel 1. Nilai Awal Parameter Premis dengan *input* Lag 1 dengan 2 cluster

Input Lag 1	
$a = 0,3145$	$a = 0,449$
$b = 2,001$	$b = 2,005$
$c = 0,4744$	$c = 0,8283$

Pada lapisan pertama diperoleh *output* berupa derajat keanggotaan pada tiap *input*. Parameter premis yang didapatkan melalui proses pembelajaran hibrid terdapat pada Tabel 1 sehingga fungsi *Gbell* yang terbentuk untuk mendapatkan derajat keanggotaan adalah :

$$f_{11}(y_{t-1}; a_{11}; b_{11}; c_{11}) = \frac{1}{1 + \left| \frac{y_{t-1} - 0,4744}{0,3145} \right|^{2(2,001)}}$$

$$f_{21}(y_{t-1}; a_{21}; b_{21}; c_{21}) = \frac{1}{1 + \left| \frac{y_{t-1} - 0,8283}{0,449} \right|^{2(2,005)}}$$

Nilai derajat keanggotaan tersebut akan digunakan sebagai *input* pada lapisan kedua yang akan menghasilkan *output* berupa nilai w_i sebanyak aturan yang terbentuk. Pada lapisan ketiga dilakukan normalisasi derajat pengaktifan aturan fuzzy atau disebut juga agregasi. Nilai w_i pada lapisan kedua akan menjadi *input* sehingga diperoleh \bar{w}_i . Selanjutnya dilakukan proses defuzzifikasi pada lapisan keempat untuk mendapatkan parameter linear yaitu parameter konsekuen. Pada lapisan keempat hasil yang diperoleh berupa parameter konsekuen yang meminimumkan *error*. Parameter konsekuen hasil iterasi melalui algoritma pembelajaran adalah sebagai berikut :

$$\hat{y}_t^{(1)} = -0,32y_{t-1} - 2,427$$

$$\hat{y}_t^{(2)} = -7,215y_{t-1} + 8,324$$

Berdasarkan aturan yang terbentuk dari parameter konsekuen tersebut, maka model ramalan rata-rata kecepatan angin Stasiun Meteorologi Ahmad Yani yang diperoleh dengan menggunakan ANFIS dengan jumlah keanggotaan 2 adalah :

$$\hat{y}_t = \bar{w}_1(-0,32y_{t-1} - 2,427) + \bar{w}_2(-7,215y_{t-1} + 8,324)$$

dimana,

$$\bar{w}_1 = \frac{w_1}{w_1 + w_2}, \quad \bar{w}_2 = \frac{w_2}{w_1 + w_2}$$

$$w_1 = \frac{1}{1 + \left| \frac{y_{t-1} - 0,4744}{0,3145} \right|^{2(2,001)}}, \quad w_2 = \frac{1}{1 + \left| \frac{y_{t-1} - 0,8283}{0,449} \right|^{2(2,005)}}$$

Sedangkan untuk model dengan variabel *input* lag 2 dan lag 1 dan 2 diperoleh nilai RMSE yang lebih besar dari nilai RMSE dengan variabel *input* lag 1 sebagai berikut :

Tabel 2. Nilai RMSE *input* Lag 1, Lag 2, Lag 1 dan 2 dengan 2 cluster

RMSE	Lag 1	Lag 2	Lag 1 dan 2
<i>In-sample</i>	0.004845	0.004883	0.004849
<i>Out-sample</i>	0.008008	0.013482	0.014125

4.2 Pemodelan ANFIS Variabel *Input* Berdasarkan Jumlah Keanggotaan

Berdasarkan analisis ANFIS diperoleh model terbaik yaitu model ANFIS *input* lag 1 dengan jumlah keanggotaan 3 dengan nilai RMSE *in-sample* terkecil sebesar 0,004831 dan RMSE *out-sample* terkecil sebesar 0,008001, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\hat{y}_t^{(1)} = c_{11}y_{t-1} + c_{10}$$

$$\hat{y}_t^{(2)} = c_{21}y_{t-1} + c_{20}$$

$$\hat{y}_t^{(3)} = c_{31}y_{t-1} + c_{30}$$

Tabel 3. Nilai Awal Parameter Premis dengan *input* Lag 1 dengan 3 cluster

Input Lag 1		
$a = -0,02522$	$a = 0,1112$	$a = 0,1407$
$b = 2,004$	$b = 2,005$	$b = 1,999$
$c = 0,3883$	$c = 0,6996$	$c = 1,002$

Pada lapisan pertama diperoleh *output* berupa derajat keanggotaan pada tiap *input*. Parameter premis yang didapatkan melalui proses pembelajaran hibrid terdapat pada Tabel 3 sehingga fungsi *Gbell* yang terbentuk untuk mendapatkan derajat keanggotaan adalah :

$$f_{11}(y_{t-1}; a_{11}; b_{11}; c_{11}) = \frac{1}{1 + \left| \frac{y_{t-1} - 0,3883}{-0,02522} \right|^{2(2,004)}}$$

$$f_{21}(y_{t-1}; a_{21}; b_{21}; c_{21}) = \frac{1}{1 + \left| \frac{y_{t-1} - 0,6996}{0,1112} \right|^{2(2,005)}}$$

$$f_{31}(y_{t-1}; a_{31}; b_{31}; c_{31}) = \frac{1}{1 + \left| \frac{y_{t-1} - 1,002}{0,1407} \right|^{2(1,999)}}$$

Nilai derajat keanggotaan tersebut akan digunakan sebagai *input* pada lapisan kedua yang akan menghasilkan *output* berupa nilai w_i sebanyak aturan yang terbentuk. Pada lapisan ketiga dilakukan normalisasi derajat pengaktifan aturan fuzzy atau disebut juga agregasi. Nilai w_i pada lapisan kedua akan menjadi *input* sehingga diperoleh \bar{w}_i . Selanjutnya dilakukan proses defuzzifikasi pada lapisan keempat untuk mendapatkan parameter linear yaitu parameter konsekuen. Pada lapisan keempat hasil yang diperoleh berupa parameter konsekuen yang meminimumkan *error*. Parameter konsekuen hasil iterasi melalui algoritma pembelajaran adalah sebagai berikut :

$$\hat{y}_t^{(1)} = 0,1169y_{t-1} + 0,2591$$

$$\hat{y}_t^{(2)} = 0,1849y_{t-1} + 0,5309$$

$$\hat{y}_t^{(3)} = 0,3361y_{t-1} - 2,427$$

Berdasarkan aturan yang terbentuk dari parameter konsekuen tersebut, maka model ramalan rata-rata kecepatan angin Stasiun Meteorologi Ahmad Yani yang diperoleh dengan menggunakan ANFIS dengan jumlah keanggotaan 2 adalah :

$\hat{y}_t = \bar{w}_1(0,1169y_{t-1} + 0,2591) + \bar{w}_2(0,1849y_{t-1} + 0,5309) + \bar{w}_3(0,3361y_{t-1} - 2,427)$ dimana,

$$\bar{w}_1 = \frac{w_1}{w_1 + w_2 + w_3}, \quad \bar{w}_2 = \frac{w_2}{w_1 + w_2 + w_3}, \quad \bar{w}_3 = \frac{w_3}{w_1 + w_2 + w_3}$$

$$w_1 = \frac{1}{1 + \left| \frac{y_{t-1} - 0,3883}{-0,02522} \right|^{2(2,004)}}, \quad w_2 = \frac{1}{1 + \left| \frac{y_{t-1} - 0,6996}{0,1112} \right|^{2(2,005)}}$$

$$w_3 = \frac{1}{1 + \left| \frac{y_{t-1} - 1,002}{0,1407} \right|^{2(1,999)}}$$

4.3 Pemodelan ANFIS Variabel *Input* dan Jumlah Keanggotaan 3 Berdasarkan Fungsi Keanggotaan

4.3.1 Fungsi *Gaussian*

Berdasarkan analisis ANFIS diperoleh model terbaik yaitu model ANFIS *input* lag 1 dengan jumlah keanggotaan 3 dengan nilai RMSE *in-sample* terkecil sebesar 0,004831 dan RMSE *out-sample* terkecil sebesar 0,008001, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\hat{y}_t^{(1)} &= c_{11}y_{t-1} + c_{10} \\ \hat{y}_t^{(2)} &= c_{21}y_{t-1} + c_{20} \\ \hat{y}_t^{(3)} &= c_{31}y_{t-1} + c_{30}\end{aligned}$$

Tabel 4. Nilai Awal Parameter Premis dengan *input* Lag 1 dengan Jumlah Keanggotaan 3 dan Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

Input Lag 1		
$\sigma_{11} = 0,03159$	$\sigma_{12} = 0,06103$	$\sigma_{13} = 0,02617$
$\mu_{11} = 0,5548$	$\mu_{12} = 0,6034$	$\mu_{13} = 0,7076$

Pada lapisan pertama diperoleh *output* berupa derajat keanggotaan pada tiap *input*. Parameter premis yang didapatkan melalui proses pembelajaran hibrid terdapat pada Tabel 4 sehingga fungsi *Gbell* yang terbentuk untuk mendapatkan derajat keanggotaan adalah :

$$\begin{aligned}f_{11}(y_{t-1}; \sigma_{11}; \mu_{11}) &= \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_{t-1} - 0,5548}{0,03159}\right)^2\right\} \\ f_{12}(y_{t-1}; \sigma_{12}; \mu_{12}) &= \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_{t-1} - 0,6034}{0,06103}\right)^2\right\} \\ f_{13}(y_{t-1}; \sigma_{13}; \mu_{13}) &= \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_{t-1} - 0,7076}{0,02617}\right)^2\right\}\end{aligned}$$

Nilai derajat keanggotaan tersebut akan digunakan sebagai *input* pada lapisan kedua yang akan menghasilkan *output* berupa nilai w_i sebanyak aturan yang terbentuk. Pada lapisan ketiga dilakukan normalisasi derajat pengaktifan aturan fuzzy atau disebut juga agregasi. Nilai w_i pada lapisan kedua akan menjadi *input* sehingga diperoleh \bar{w}_i . Selanjutnya dilakukan proses defuzzifikasi pada lapisan keempat untuk mendapatkan parameter linear yaitu parameter konsekuen. Pada lapisan keempat hasil yang diperoleh berupa parameter konsekuen yang meminimumkan *error*. Parameter konsekuen hasil iterasi melalui algoritma pembelajaran adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\hat{y}_t^{(1)} &= 0,352y_{t-1} + 0,5763 \\ \hat{y}_t^{(2)} &= 0,4598y_{t-1} + 0,2473 \\ \hat{y}_t^{(3)} &= 0,3204y_{t-1} + 0,453\end{aligned}$$

Berdasarkan aturan yang terbentuk dari parameter konsekuen tersebut, maka model ramalan rata-rata kecepatan angin Stasiun Meteorologi Ahmad Yani yang diperoleh dengan menggunakan ANFIS dengan jumlah keanggotaan 2 adalah :

$$\begin{aligned}\hat{y}_t &= \bar{w}_1(0,352y_{t-1} + 0,5763) + \bar{w}_2(0,4598y_{t-1} + 0,2473) \\ &\quad + \bar{w}_3(0,3204y_{t-1} + 0,453)\end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned}\bar{w}_1 &= \frac{w_1}{w_1 + w_2 + w_3}, \quad \bar{w}_2 = \frac{w_2}{w_1 + w_2 + w_3}, \quad \bar{w}_3 = \frac{w_3}{w_1 + w_2 + w_3} \\ w_1 &= \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_{t-1} - 0,5548}{0,03159}\right)^2\right\}, \quad w_2 = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_{t-1} - 0,6034}{0,06103}\right)^2\right\} \\ w_3 &= \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_{t-1} - 0,7076}{0,02617}\right)^2\right\}\end{aligned}$$

4.3.2 Fungsi Triangular

Berdasarkan analisis ANFIS diperoleh model terbaik yaitu model ANFIS *input* lag 1 dengan jumlah keanggotaan 3 dengan nilai RMSE *in-sample* terkecil sebesar 0,004831 dan RMSE *out-sample* terkecil sebesar 0,008001, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\hat{y}_t^{(1)} &= c_{11}y_{t-1} + c_{10} \\ \hat{y}_t^{(2)} &= c_{21}y_{t-1} + c_{20} \\ \hat{y}_t^{(3)} &= c_{31}y_{t-1} + c_{30}\end{aligned}$$

Tabel 5. Nilai Awal Parameter Premis dengan *input* Lag 1 dengan Jumlah Keanggotaan 3 dan Fungsi Keanggotaan *Triangular*

Input Lag 1		
$a_{11}=0,1708$	$a_{12}=0,5074$	$a_{133}=0,7236$
$b_{11}=0,4219$	$b_{12}=0,6218$	$b_{13}=1$
$c_{11}=0,8156$	$c_{12}=0,9953$	$c_{13}=1,276$

Pada lapisan pertama diperoleh *output* berupa derajat keanggotaan pada tiap *input*. Parameter premis yang didapatkan melalui proses pembelajaran hibrid terdapat pada Tabel 5 sehingga fungsi *Gbell* yang terbentuk untuk mendapatkan derajat keanggotaan adalah :

$$\begin{aligned}f_{11}(y_{t-1}; a_{11}; b_{11}; c_{11}) &= \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,1708}{0,4219 - 0,1708}, \frac{0,8156 - y_{t-1}}{0,8156 - 0,4219}\right), 0\right) \\ f_{12}(y_{t-1}; a_{12}; b_{12}; c_{12}) &= \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,5074}{0,6218 - 0,5074}, \frac{0,9953 - y_{t-1}}{0,9953 - 0,6218}\right), 0\right) \\ f_{13}(y_{t-1}; a_{13}; b_{13}; c_{13}) &= \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,7236}{1 - 0,7236}, \frac{1,276 - y_{t-1}}{1,276 - 1}\right), 0\right)\end{aligned}$$

Nilai derajat keanggotaan tersebut akan digunakan sebagai *input* pada lapisan kedua yang akan menghasilkan *output* berupa nilai w_i sebanyak aturan yang terbentuk. Pada lapisan ketiga dilakukan normalisasi derajat pengaktifan aturan fuzzy atau disebut juga agregasi. Nilai w_i pada lapisan kedua akan menjadi *input* sehingga diperoleh \bar{w}_i . Selanjutnya dilakukan proses defuzzifikasi pada lapisan keempat untuk mendapatkan parameter linear yaitu parameter konsekuen. Pada lapisan keempat hasil yang diperoleh berupa parameter konsekuen yang meminimumkan *error*. Parameter konsekuen hasil iterasi melalui algoritma pembelajaran adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\hat{y}_t^{(1)} &= 2,579y_{t-1} - 0,6798 \\ \hat{y}_t^{(2)} &= 0,1749y_{t-1} + 0,3622 \\ \hat{y}_t^{(3)} &= 0,3536y_{t-1} + 0,3536\end{aligned}$$

Berdasarkan aturan yang terbentuk dari parameter konsekuen tersebut, maka model ramalan rata-rata kecepatan angin Stasiun Meteorologi Ahmad Yani yang diperoleh dengan menggunakan ANFIS dengan jumlah keanggotaan 2 adalah :

$$\hat{y}_t = \bar{w}_1(2,579y_{t-1} - 0,6798) + \bar{w}_2(0,1749y_{t-1} + 0,3622) + \bar{w}_3(0,3536y_{t-1} + 0,3536)$$

dimana,

$$\begin{aligned}\bar{w}_1 &= \frac{w_1}{w_1 + w_2 + w_3}, \quad \bar{w}_2 = \frac{w_2}{w_1 + w_2 + w_3}, \quad \bar{w}_3 = \frac{w_3}{w_1 + w_2 + w_3} \\ w_1 &= \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,1708}{0,4219 - 0,1708}, \frac{0,8156 - y_{t-1}}{0,8156 - 0,4219}\right), 0\right) \\ w_2 &= \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,5074}{0,6218 - 0,5074}, \frac{0,9953 - y_{t-1}}{0,9953 - 0,6218}\right), 0\right)\end{aligned}$$

$$w_3 = \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,7236}{1 - 0,7236}, \frac{1,276 - y_{t-1}}{1,276 - 1}\right), 0\right)$$

4.3.3 Fungsi Trapezoidal

Berdasarkan analisis ANFIS diperoleh model terbaik yaitu model ANFIS *input* lag 1 dengan jumlah keanggotaan 3 dengan nilai RMSE *in-sample* terkecil sebesar 0,004831 dan RMSE *out-sample* terkecil sebesar 0,008001, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\hat{y}_t^{(1)} &= c_{11}y_{t-1} + c_{10} \\ \hat{y}_t^{(2)} &= c_{21}y_{t-1} + c_{20} \\ \hat{y}_t^{(3)} &= c_{31}y_{t-1} + c_{30}\end{aligned}$$

Tabel 6. Nilai Awal Parameter Premis dengan *input* Lag 1 dengan Jumlah Keanggotaan 3 dan Fungsi Keanggotaan Trapezoidal

Input Lag 1		
$a_{11} = 0,2537$	$a_{12} = 0,5015$	$a_{13} = 0,8065$
$b_{11} = 0,3643$	$b_{12} = 0,6051$	$b_{13} = 0,9171$
$c_{11} = 0,4941$	$c_{12} = 0,8065$	$c_{13} = 1,083$
$d_{11} = 0,5747$	$d_{12} = 0,9171$	$d_{13} = 1,193$

Pada lapisan pertama diperoleh *output* berupa derajat keanggotaan pada tiap *input*. Parameter premis yang didapatkan melalui proses pembelajaran hibrid terdapat pada Tabel 6 sehingga fungsi *Gbell* yang terbentuk untuk mendapatkan derajat keanggotaan adalah :

$$\begin{aligned}f_{11}(y_{t-1}; a_{11}; b_{11}; c_{11}; d_{11}) &= \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,2537}{0,3643 - 0,2537}, 1, \frac{0,5747 - y_{t-1}}{0,5747 - 0,4941}\right), 0\right) \\ f_{12}(y_{t-1}; a_{12}; b_{12}; c_{12}; d_{12}) &= \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,5015}{0,6051 - 0,5015}, 1, \frac{0,9171 - y_{t-1}}{0,9171 - 0,8065}\right), 0\right) \\ f_{13}(y_{t-1}; a_{13}; b_{13}; c_{13}; d_{13}) &= \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,8065}{0,9171 - 0,8065}, 1, \frac{1,193 - y_{t-1}}{1,193 - 1,083}\right), 0\right)\end{aligned}$$

Nilai derajat keanggotaan tersebut akan digunakan sebagai *input* pada lapisan kedua yang akan menghasilkan *output* berupa nilai w_i sebanyak aturan yang terbentuk. Pada lapisan ketiga dilakukan normalisasi derajat pengaktifan aturan fuzzy atau disebut juga agregasi. Nilai w_i pada lapisan kedua akan menjadi *input* sehingga diperoleh \bar{w}_i . Selanjutnya dilakukan proses defuzzifikasi pada lapisan keempat untuk mendapatkan parameter linear yaitu parameter konsekuen. Pada lapisan keempat hasil yang diperoleh berupa parameter konsekuen yang meminimumkan *error*. Parameter konsekuen hasil iterasi melalui algoritma pembelajaran adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\hat{y}_t^{(1)} &= 2,579y_{t-1} - 0,6798 \\ \hat{y}_t^{(2)} &= 0,1833y_{t-1} + 0,5295 \\ \hat{y}_t^{(3)} &= 0,3536y_{t-1} + 0,3536\end{aligned}$$

Berdasarkan aturan yang terbentuk dari parameter konsekuen tersebut, maka model ramalan rata-rata kecepatan angin Stasiun Meteorologi Ahmad Yani yang diperoleh dengan menggunakan ANFIS dengan jumlah keanggotaan 2 adalah :

$$\begin{aligned}\hat{y}_t &= \bar{w}_1(2,579y_{t-1} - 0,6798) + \bar{w}_2(0,1833y_{t-1} + 0,5295) \\ &\quad + \bar{w}_3(0,3536y_{t-1} + 0,3536)\end{aligned}$$

dimana,

$$\bar{w}_1 = \frac{w_1}{w_1 + w_2 + w_3}, \quad \bar{w}_2 = \frac{w_2}{w_1 + w_2 + w_3}, \quad \bar{w}_3 = \frac{w_3}{w_1 + w_2 + w_3}$$

$$w_1 = \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,2537}{0,3643 - 0,2537}, 1, \frac{0,5747 - y_{t-1}}{0,5747 - 0,4941}\right), 0\right)$$

$$w_2 = \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,5015}{0,6051 - 0,5015}, 1, \frac{0,9171 - y_{t-1}}{0,9171 - 0,8065}\right), 0\right)$$

$$w_3 = \max\left(\min\left(\frac{y_{t-1} - 0,8065}{0,9171 - 0,8065}, 1, \frac{1,193 - y_{t-1}}{1,193 - 1,083}\right), 0\right)$$

4.4 Ukuran Ketepatan Model

Berdasarkan Tabel 7, terlihat bahwa nilai RMSE pada Lag 1 dengan jumlah keanggotaan 3 dan fungsi keanggotaan *Gbell*, *Triangular*, *Trapezoidal* dan *Gaussian* memiliki nilai RMSE yang sama sehingga model terbaik adalah model ANFIS dengan *input* Lag 1 dan jumlah keanggotaan 3.

Tabel 7. Nilai RMSE *input* Lag 1 dengan 3 cluster

RMSE	Lag 1 dengan jumlah keanggotaan 3			
	<i>Gbell</i>	<i>Gaussian</i>	<i>Triangular</i>	<i>Trapezoidal</i>
<i>In-sample</i>	0.004831	0.004831	0.004831	0.004831
<i>Out-sample</i>	0.008001	0.008001	0.008001	0.008001

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dengan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) secara keseluruhan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan *input* lag diperoleh model ANFIS terbaik dengan variabel *input* lag 1 dengan jumlah keanggotaan 2 dan fungsi keanggotaan *Gbell*. Nilai RMSE *in-sample* dan *out-sample* terkecil sebesar 0.004845 dan 0.008008.
2. Berdasarkan jumlah keanggotaan dan fungsi keanggotaan diperoleh model ANFIS terbaik dengan variabel *input* lag 1 dengan jumlah keanggotaan 3 dan fungsi keanggotaan *Gaussian*, *Gbell*, *Triangular* dan *Trapezoidal*. Nilai RMSE *in-sample* dan *out-sample* terkecil sebesar 0.004831 dan 0.008001.
3. Dari hasil ramalan dengan menggunakan model ANFIS didapatkan rata-rata kecepatan angin yang cukup berbeda karena *error* yang di peroleh masih sangat besar. Hal ini menunjukkan bahwa peralaman rata-rata kecepatan angin harian di Kota Semarang dengan menggunakan metode ANFIS tidak terlalu bagus.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [BMKG] Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika Kota Semarang. 2016. *Informasi Cuaca Bandar Udara Ahmad Yani Semarang*. Semarang : Stasiun Meteorologi Kelas II Ahmad Yani.
- [BPS] Badan Pusat Statistika Kota Semarang. 2016. *Kota Semarang dalam Angka Semarang Municipality in Figures 2016*. Semarang : BPS Kota Semarang.
- Jang, JSR., CT Sun, dan E Mizutani. 1997. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing : A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. London : Prentice-Hall, Inc.
- Kusumadewi, S., dan Hartati, S. 2006. *Neuro Fuzzy : Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Makridakis, S., and Hibon, M. 1995. *Evaluating Accuracy (or Error) Measure*. INSEAD Working Paper. Vol. 9518. Hal 2-3.
- Nasir, A.A. dan Koesmaryono. 1990. *Pengantar Ilmu Iklim Untuk Peranian*. Bogor : Pustaka Jaya.