

PEMODELAN KECEPATAN ANGIN RATA-RATA DI SUMENEP MENGGUNAKAN *MIXTURE OF ANFIS*

¹Syarifah Diana Permai, ²Nur Iriawan, ³Irhamah

^{1,2,3}Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Noverber,
Surabaya

Alamat e-mail : ¹syarifah.diana@ymail.com

ABSTRAK

Angin memiliki dampak positif dan dampak negatif. Dampak positif dari angin yaitu memperlancar aktivitas pelayaran, membantu irigasi menggunakan kincir angin, pembangkit tenaga listrik dan lain sebagainya. Namun perubahan cuaca yang ekstrim akhir-akhir ini dapat menimbulkan angin kencang serta gelombang laut yang tinggi, sehingga menghambat pelayaran. Salah satu kabupaten yang mengalami dampak negatif ini adalah Sumenep, daerah pesisir di Pulau Madura. Oleh karena itu diperlukan pemodelan kecepatan angin rata-rata di Sumenep yang akurat. Dua metode yang diterapkan adalah *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dan *Mixture of ANFIS*. *Mixture of ANFIS* dilakukan melalui beberapa pembagian kelompok, yaitu dua, tiga, empat, lima dan enam kelompok. Evaluasi perbandingan kebaikan model dilakukan berdasarkan kriteria *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pemodelan kecepatan angin rata-rata menggunakan *mixture of ANFIS* dengan enam kelompok memiliki RMSE *in sample* dan *out-sample* lebih kecil daripada jumlah kelompok yang lain. *Mixture of ANFIS* memodelkan kecepatan angin rata-rata di Sumenep lebih baik dari ANFIS karena menghasilkan RMSE *in* dan *out sample* yang lebih kecil dari ANFIS.

Kata kunci : Kecepatan Angin, ANFIS, *Mixture of ANFIS*

PENDAHULUAN

Cuaca yang terjadi di Indonesia dalam satu tahun terakhir ini sangatlah fluktuatif. Dampak negatif dari perubahan cuaca yang tak menentu ini adalah terjadinya musim hujan dengan curah hujan di atas normal, timbulnya angin kencang bahkan berpotensi terjadinya angin puting beliung, disertai hujan lebat dan petir serta gelombang laut yang tinggi [2]. Salah satu daerah yang terkena dampak negatif adalah Kabupaten Sumenep. Semenjak September 2010 terjadi musim hujan di Kabupaten Sumenep, arah angin dari arah timur ke barat dengan kecepatan

antara 5 hingga 35 kilometer per-jam, dan ini terjadi hingga bulan Maret bahkan April 2011. Akibat cuaca ekstrim yang terjadi di perairan Sumenep, membuat aktivitas pelayaran dari pelabuhan Kalianget ke Jangkar (Situbondo) menjadi lumpuh pada awal Januari 2011 [7]. Bahkan gelombang laut di perairan Sumenep bisa mencapai tinggi antara 1,75 sampai 6 meter, kecepatan angin 50 hingga 60 kilometer/jam, menyebabkan tingginya gelombang laut. Sehingga pelayaran dari pelabuhan Kalianget sempat ditunda beberapa waktu. Oleh karena itu, perlu adanya prediksi yang memiliki keakurasian tinggi terhadap kecepatan

angin agar aktivitas manusia seperti pelayaran, penerbangan, penggerak kincir angin dan aktivitas-aktivitas lain yang bergantung pada kecepatan angin menjadi lancar. Karena ketersediaan angin di alam tidak dapat disimpan dan tidak dapat dengan mudah diatur agar sesuai dengan kebutuhan manusia [6].

ANFIS merupakan singkatan dari *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* atau *Adaptive Network Based Fuzzy Inference System*. ANFIS diartikan sebagai sistem inferensi *fuzzy* berbasis jaringan saraf adaptif. Parameter pada ANFIS, adalah fungsi keanggotaan premis dan konsekuensi. Proses dalam ANFIS adalah perubahan parameter fungsi keanggotaan masukan dan keluaran menggunakan algoritma perambatan balik atau algoritma *hybrid*. Algoritma *hybrid* yaitu menggabungkan antara algoritma alur mundur dan algoritma alur maju [8]. Algoritma alur maju menggunakan metode kuadrat terkecil (*Least Squares Estimate*), sedangkan algoritma alur mundur menggunakan *back-propagation*. Metode kuadrat terkecil digunakan untuk menentukan parameter konsekuensi, sedangkan langkah mundur digunakan untuk memperbaharui bobot premis. Arsitektur ANFIS model Sugeno order satu dapat dilihat pada Gambar 1 [5].

Metode *Mixture of* ANFIS diterapkan oleh [1] pada data CPU *load*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode *Mixture of* ANFIS memprediksi CPU *load* lebih baik daripada Model AR dan *Exponential Smoothing*. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah untuk menerapkan metode *Mixture of* ANFIS pada data kecepatan angin rata-rata di Sumenep. Selanjutnya melakukan perbandingan hasil peramalan metode ANFIS dengan *Mixture of* ANFIS.

Misalkan terdapat dua input, yaitu x_1 dan x_2 serta satu *output*, maka model *fuzzy* satu order sebagai berikut.

Rule 1: If x_1 is A_1 and x_2 is B_1 , then $f_1 = p_1 x_1 + q_1 x_2 + r_1$

Rule 2: If x_1 is A_2 and x_2 is B_2 , then $f_2 = p_2 x_1 + q_2 x_2 + r_2$

Rule 3: If x_1 is A_1 and x_2 is B_2 , then $f_3 = p_3 x_1 + q_3 x_2 + r_3$

Rule 4: If x_1 is A_2 and x_2 is B_1 , then $f_4 = p_4 x_1 + q_4 x_2 + r_4$

Secara umum apabila terdapat n input dan satu *output*, maka model ANFIS $n+1$ dimensi. Sebelum layer 1 yang terdapat pada Gambar 1 menunjukkan input yang digunakan dalam ANFIS yaitu dua input x_1 dan x_2 . Layer 1 menunjukkan proses fuzzifikasi dimana setiap simpul i dalam layer ini merupakan simpul aditif dengan fungsi berikut.

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x_1) \text{ untuk } i=1,2 \quad (1)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(x_2) \text{ untuk } i=3,4 \quad (2)$$

$O_{1,i}$ merupakan tingkat keanggotaan atau derajat keanggotaan dari himpunan *fuzzy* $A(A_1, A_2, B_1, B_2)$ dengan x_1 dan x_2 adalah input untuk simpul ke- i . A_i dan B_{i-2} adalah *linguistic label*. Sedangkan μ_A merupakan fungsi keanggotaan untuk A yang sesuai dengan parameter fungsi keanggotaan untuk fungsi Gaussian, yaitu sebagai berikut.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^2} \quad (3)$$

dimana a_i , b_i dan c_i adalah parameter premis. Layer 2 atau *rule* layer, setiap simpul dalam layer ini merupakan *fixed* yang diberi label Π dan merepresentasikan setiap rule, sebagai berikut.

$$O_{2,1} = w_1 = \mu_{A_1}(x_1) \mu_{B_1}(x_2) \quad (4)$$

$$O_{2,2} = w_2 = \mu_{A_2}(x_1) \mu_{B_1}(x_2) \quad (5)$$

$$O_{2,3} = w_3 = \mu_{A_1}(x_1) \mu_{B_2}(x_2) \quad (6)$$

$$O_{2,4} = w_4 = \mu_{A_2}(x_1) \mu_{B_2}(x_2) \quad (7)$$

Pada layer 3 atau *normalization layer* dengan nilai simpul ke- i dalam layer ini merupakan ratio dari *rule* layer ke- i

dengan penjumlahan semua *rule* seperti rumus berikut.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1+w_2+w_3+w_4}, i = 1,2,3,4 \quad (8)$$

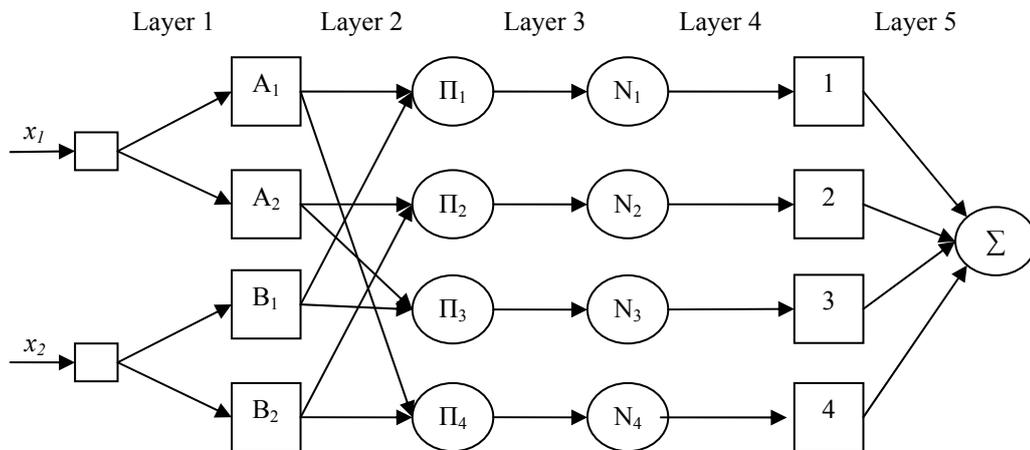
Layer defuzzifikasi atau layer 4 mempunyai *output* dari setiap simpul yang disebut dengan nilai *weighted consequent* dengan rumus berikut.

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x_1 + q_i x_2 + r_i) \quad (9)$$

dimana $i = 1, 2, 3, 4$ dan \bar{w}_i merupakan *output* pada layer 3 sedangkan $\{p_i, q_i,$

$r_i\}$ adalah parameter dari simpul ini yang disebut dengan *consequent parameters*. Overall *output* dari layer 5 yang disebut dengan *summation layer* yang merupakan *fixed* simpul dengan simbol Σ . *Output* pada layer ini merupakan penjumlahan seluruh *output* pada layer 4 yang dirumuskan berikut.

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}, i = 1,2,3,4 \quad (10)$$



Gambar 1 ANFIS Model Sugeno Order Satu

Teknik optimasi menggunakan algoritma pembelajaran pada data *training* untuk mendapatkan parameter yang paling baik. Algoritma pembelajaran untuk ANFIS adalah algoritma *hybrid* yang meminimumkan error [10]. Satu input dan *output* pada data yang diolah dengan ANFIS, diiterasi menggunakan alur maju mulai layer satu sampai dengan layer terakhir dan melalui LSE didapatkan *consequent parameter*. Sedangkan perhitungan error didapatkan dari alur mundur sehingga diperoleh parameter premis atau parameter non linier [6].

Metode *Mixture of ANFIS* diterapkan oleh [1], pada prediksi CPU load. Nilai prediksi dari metode *Mixture of ANFIS* mengkombinasikan antara *mixture* dari nilai prediksi ANFIS pada tiap cluster dengan probabilitas *state*

transition antar cluster dalam waktu ke- t .

Probabilitas cluster *state* dari cluster j' ke cluster j dimana $j' = 1, 2, \dots, j$ didefinisikan sebagai berikut.

$$P(CS_t = j) = \sum_{j'=1}^{j'=j} a_{j'j} \times P(CS_{t-1} = j') \quad (11)$$

dimana probabilitas $a_{j'j}$ jika $j \neq j'$ didefinisikan dengan teorema Bayes seperti berikut.

$$a_{j'j}(t) = P(y_t \in C_j | y_{t-1} \in C_{j'}) = P(y_{t-1} \in C_{j'} | y_t \in C_j) \times P(y_t \in C_j) \quad (12)$$

menghitung *output* yang merupakan hasil prediksi *Mixture of ANFIS* melalui rumus berikut.

$$\hat{y}(t) = \sum_{j=1}^{j=j'} \hat{y}_j(t) \times P(CS_t = j) \quad (13)$$

Dimana $\hat{y}(t)$ merupakan prediksi cluster ke- j .

Kajian mengenai kecepatan angin rata-rata pernah dilakukan oleh [5] terhadap kecepatan angin di Juanda dan Sumenep yang menunjukkan bahwa metode AI (*Artificial Intelligence*) seperti Algoritma Genetika untuk identifikasi ARIMA menghasilkan MSE lebih kecil daripada *correlogram*. Penelitian kecepatan angin rata-rata di Sumenep menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang diperoleh kesimpulan bahwa peramalan menggunakan ANFIS menghasilkan akurasi yang lebih tinggi daripada ARIMA [3]. Hasil penelitian [1] menunjukkan bahwa metode *Mixture of ANFIS* memprediksi CPU *load* lebih baik daripada Model AR dan *Exponential Smoothing*. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah untuk menerapkan metode *Mixture of ANFIS* pada data kecepatan angin rata-rata di Sumenep. Selanjutnya melakukan perbandingan hasil peramalan metode ANFIS dengan *Mixture of ANFIS*.

METODOLOGI PENELITIAN

Sumber Data dan Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu data kecepatan angin yang diukur oleh Badan Meteorologi dan Geofisika Kalianget, Sumenep dari bulan Januari 2009 sampai dengan Desember 2010, sehingga total terdapat 730 data. Data training atau *in sample* yang digunakan yaitu data kecepatan angin rata-rata dari bulan Januari 2009 sampai dengan November 2010 sehingga terdapat 699 data *in sample*. Sedangkan data testing atau *out sample* adalah data bulan Desember 2010, sehingga terdapat 31 data.

Metode Analisis

Tahapan analisis pada penelitian ini sebelum dilakukan analisis menggunakan Metode ANFIS terlebih dahulu data dianalisis dengan

menggunakan ARIMA. Input pada metode ANFIS berasal dari AR dari model terbaik ARIMA. Pada analisis ANFIS di penelitian ini ditentukan sebanyak dua *membership function* (mf) dengan tipe Gaussian sehingga diperoleh nilai RMSE *in sample* dan *out of sample* [9]. Selanjutnya dilakukan analisis dengan metode *Mixture of ANFIS*, dimana pada penelitian ini dilakukan *mixture* untuk dua cluster sampai dengan enam cluster sehingga akan diperoleh model terbaik *Mixture of ANFIS* dari nilai RMSE *in sample* dan *out of sample* terkecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan pemodelan data, maka terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan data secara deskriptif untuk mengetahui karakteristik data. Kemudian dilakukan analisis dengan ARIMA untuk menentukan input pada ANFIS. Selanjutnya dilakukan pemodelan data kecepatan angin di Sumenep menggunakan ANFIS dan *Mixture of ANFIS*. Hasil pemodelan dan peramalan pada kedua metode akan dibandingkan untuk memperoleh pemodelan dan peramalan terbaik.

Analisis Deskriptif

Hasil analisis statistika deskriptif dari kecepatan angin rata-rata di Sumenep pada bulan Januari 2009 sampai Desember 2010 dapat dilihat pada Tabel 1.

Kecepatan angin rata-rata di Kalianget Sumenep selama dua tahun yaitu 2009 dan 2010 memiliki karakteristik yang berbeda setiap bulannya. Rata-rata dari kecepatan angin rata-rata setiap hari di Kalianget Sumenep pada tahun 2009 dan 2010 yang paling tinggi yaitu Bulan Agustus sebesar 8,355 knot dan 6,645 knot.

Tabel 1 Statistika Deskriptif Kecepatan Angin Rata-Rata Harian di Sumenep

Tahun	Bulan	Mean	Varian	Min	Max
2009	Jan	7,097	10,49	2	15
	Feb	7,143	24,349	2	22
	Mar	2,093	1,09	1	5
	Apr	3,867	4,189	1	7
	Mei	4,387	3,512	2	9
	Jun	6,467	2,12	4	10
	Jul	7,742	4,398	4	12
	Ags	8,355	2,437	5	13
	Sep	7,1	3,472	4	11
	Okt	7,258	3,798	3	12
	Nov	5,767	9,702	2	11
	Des	3,613	4,045	1	13
2010	Jan	6,065	14,262	2	15
	Feb	2,929	0,884	2	5
	Mar	2,871	0,783	2	5
	Apr	2,533	0,74	1	5
	Mei	3,871	3,583	1	8
	Jun	4,8	3,752	1	8
	Jul	5,935	6,262	2	11
	Ags	6,645	2,903	4	10
	Sep	5,233	4,668	1	9
	Okt	4,516	4,125	2	10
	Nov	3,8	1,2	2	6
	Des	5,452	6,656	1	14

Pada tahun 2009, bulan Juni sampai Oktober memiliki rata-rata kecepatan angin rata-rata yang cukup tinggi, terlihat dari nilai mean yang bernilai antara 6 knot sampai 8 knot. Bulan Februari 2009 memiliki varians paling besar yaitu 24,349 yang diakibatkan karena nilai minimum kecepatan angin rata-rata sebesar 2 knot, sedangkan nilai maksimumnya sebesar 22 knot. Kecepatan angin rata-rata yang cukup rendah pada tahun 2009 terjadi di bulan Maret sampai Mei dengan rata-rata sebesar 2 knot sampai 5 knot.

Tahun 2010 memiliki kecepatan angin rata-rata berkisar antara 2 knot sampai 7 knot. Maksimum kecepatan angin rata-rata sebesar 15 knot terjadi pada bulan Januari sehingga keragaman data pada bulan itu cukup tinggi yaitu sebesar 14,262. Kecepatan angin rata-rata minimum sebesar 2 knot terjadi bulan April. Pada bulan Februari sampai April kecepatan angin yang berhembus cukup stabil karena nilai varian kurang

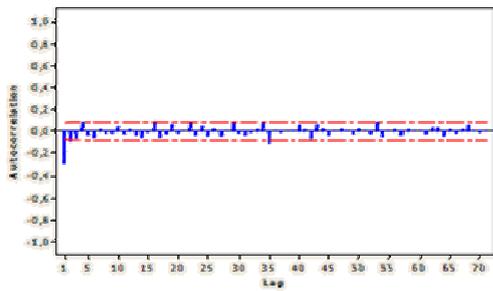
dari satu dan rata-ratanya kurang lebih 2 knot dengan maksimum kecepatan angin rata-rata sebesar 5 knot. Perbedaan karakteristik kecepatan angin rata-rata tahun 2009 dan 2010 menunjukkan cuaca yang anomali.

Pemodelan ANFIS

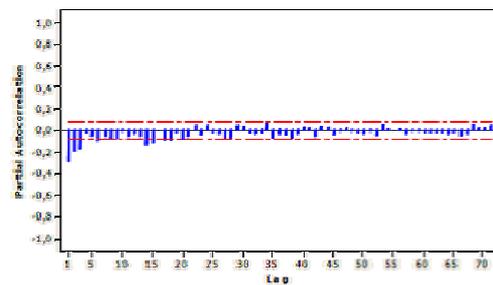
Sebelum analisis menggunakan ANFIS, maka terlebih dahulu data dianalisis dengan ARIMA untuk menentukan input pada ANFIS. Identifikasi stasioneritas data dalam varian menggunakan *Box-Cox plot* dimana diperoleh nilai *rounded value* sebesar 0,5. Hal ini mengartikan bahwa data kecepatan angin rata-rata di Kalianget Sumenep tidak stasioner terhadap varian, sehingga data ditransformasi akar. Selanjutnya identifikasi stasioneritas terhadap mean dengan menggunakan *ACF plot* menunjukkan bahwa nilai ACF turun sedikit demi sedikit atau turun lambat sampai dengan lag ke- 30. Hal ini menunjukkan bahwa data transformasi tidak stasioner terhadap mean, maka data yang telah ditransformasi tersebut perlu di-*differencing* sebanyak satu kali. Setelah itu data hasil transformasi dan differencing diidentifikasi modelnya menggunakan ACF dan PACF *plot*. Hasil ACF dan PACF plot disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Berdasarkan plot ACF dan PACF maka diperoleh beberapa model dugaan untuk ARIMA. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan signifikansi parameter terhadap semua kemungkinan model ARIMA dan pemeriksaan white noise serta normal.

Hasil pengujian signifikansi parameter terhadap semua kemungkinan model ARIMA dan pemeriksaan white noise serta normal diperoleh model ARIMA (2,1,1) dan ARIMA ([1,3],1,1), sedangkan yang memenuhi semua asumsi adalah ARIMA ([1,2,4],1,1).



Gambar 2 ACF Plot Data Differencing



Gambar 3 PACF Plot Data Differencing

AIC yang paling minimum sebesar 658,1931 pada ARIMA([1,2,4],1,1) dan SBC minimum sebesar 676,224 terdapat pada model ARIMA(2,1,1) sedangkan RMSE *in sample* paling kecil bernilai 1,800534 dimana nilai minimum tersebut terdapat pada model ARIMA ([1,2,4],1,1), sehingga terdapat banyak kemungkinan input AR pada ANFIS.

Oleh karena itu, dilakukan pemodelan terhadap beberapa input. Hasil analisis ANFIS menunjukkan RMSE paling kecil pada ANFIS menggunakan input data transformasi dan differencing pada lag ke-1 dan lag ke-3. (Z^*_{t-1} dan Z^*_{t-3}). Banyaknya *membership function* yang digunakan adalah dua buah dan tipe *membership function*nya yaitu Gaussian, maka terdapat dua parameter pada Gaussian, yaitu mean (c) dan standart deviasi (σ). berikut nilai parameter-parameter non linier dan linier setelah algoritma LSE dan *backpropogation*.

Tabel 2 Parameter Non Linier ANFIS Input Z^*_{t-1} dan Z^*_{t-3}

MF	Parameter	Input	
		Z^*_{t-1}	Z^*_{t-3}
1	c	-1,779	-1,404
	σ	0,7677	1,489
2	c	2,543	2,336
	σ	0,7261	1,811

Tabel 3 Parameter Linier ANFIS Input Z^*_{t-1} dan Z^*_{t-3}

Aturan	p	q	r
1	-0,4953	-0,1376	-0,1791
2	-0,1175	-0,03373	0,1639
3	-3,243	1,743	5,71
4	2,648	3,862	-7,575

Model ANFIS yang terbentuk dinyatakan seperti berikut.

$$+ \\ + \\ +$$

Berdasarkan hasil prediksi kecepatan angin rata-rata di Kalianget Sumenep menggunakan ANFIS dengan input data transformasi dan differencing Z^*_{t-1} dan Z^*_{t-3} diperoleh nilai error minimum pada epoch sebanyak 170. RMSE residual pada data *in sample* sebesar 3,81142 sedangkan *out sample* diperoleh RMSE sebesar 3,71321.

Pemodelan Mixture of ANFIS

Data kecepatan angin di Sumenep dari bulan Januari 2009 sampai dengan November 2010 dikelompokkan menjadi dua, tiga, empat, lima dan enam kelompok menggunakan metode pengelompokkan *Fuzzy C-Means* (FCM). Setelah dikelompokkan, maka masing-masing kelompok dianalisis menggunakan ANFIS. Kemudian, hasil ANFIS tiap kelompok digabungkan menjadi satu, inilah yang dinamakan *Mixture of ANFIS*.

Proses dilakukan dimulai dari pembagian kelompok dengan FCM, masing-masing kelompok diidentifikasi stasioneritas, identifikasi model

ARIMA, pemilihan model ARIMA terbaik, penentuan input ANFIS, prediksi ANFIS. Selanjutnya dilakukan perhitungan probabilitas *state transition* dan prediksi *mixture of ANFIS*.

Hasil pengelompokan data kecepatan angin rata-rata menggunakan FCM dengan dua kelompok adalah seperti Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 Data Kelompok 1

Urutan waktu	Data
2	2
3	3
4	3
...	...
697	3
698	4
699	4

Tabel 5 Data Kelompok 2

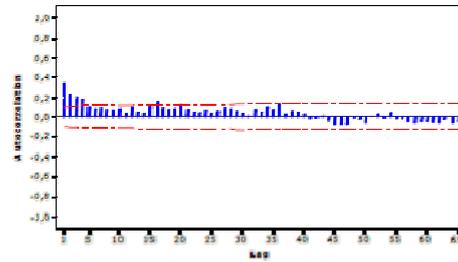
Urutan waktu	Data
1	7
8	6
9	8
...	...
679	6
680	6
681	6

Data pada Tabel 4 dan Tabel 5 kemudian dianalisis menggunakan *Mixture of ANFIS*. Berikut ini hasil analisis *Mixture of ANFIS* dengan dua cluster. Pembagian dua cluster dengan metode FCM menghasilkan kelompok 1 yaitu kecepatan angin rendah terdapat sebanyak 411 data. Kelompok 2 yaitu kecepatan angin tinggi terdapat 288 data. Selanjutnya dilakukan analisis ANFIS pada masing-masing kelompok.

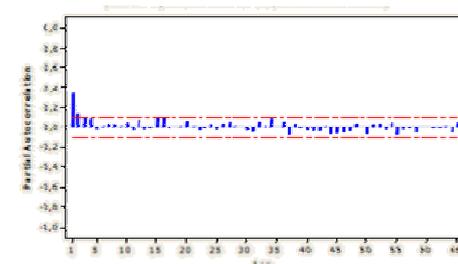
a. Kelompok 1

Sebelum dianalisis dengan ANFIS, data kelompok 1 dianalisis menggunakan ARIMA untuk menentukan input pada ANFIS. Hasil identifikasi stasioneritas pada kelompok 1 menggunakan *time series plot*, *box-cox* dan ACF menunjukkan bahwa data telah stasioner terhadap varians dan mean. Selanjutnya identifikasi model ARIMA menggunakan ACF dan PACF

plot yang disajikan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 4 ACF Plot Kelompok 1



Gambar 5 PACF Plot Kelompok 1

Hasil identifikasi model ARIMA menunjukkan *plot* ACF lag-lag yang keluar adalah lag ke-1, 2, 3, 4 dan lag ke-15. Sedangkan pada *plot* PACF lag yang signifikan adalah lag ke-1 dan 2. Berdasarkan hasil tersebut, maka dilakukan pemodelan ARIMA. Hasil analisis menggunakan ARIMA diperoleh ARIMA(1,0,1), yang parameter pada model tersebut signifikan dan white noise, tetapi tidak normal seperti Tabel 6.

Tabel 6 ARIMA Kelompok 1

Model	ARIMA(1,0,1)	
Konstanta	3,316	(< 0,0001)
ϕ_1	0,52839	(< 0,0001)
θ_1	0,77996	(< 0,0001)
Var estimate	1,033348	
Std error	1,016537	
AIC	1182,839	
SBC	1194,895	
White Noise	Ya	
Normal	Tidak	(0,0382)

*Nilai yang berada di dalam kurung adalah *p-value*

Berdasarkan analisis ARIMA, diperoleh model ARIMA (1,0,1) seperti Tabel 6, maka AR yang digunakan sebagai input dalam ANFIS adalah data kecepatan angin rata-rata lag ke-1 (Z_t-1). Jika menggunakan MF type Gauss

maka terdapat dua parameter yaitu mean (μ) dan standart deviasi (σ). Hasil analisis ANFIS dengan input Z_{t-1} menghasilkan parameter non linier dan linier yang disajikan di Tabel 7 dan 8.

Tabel 7 Parameter Non Linier Kelompok 1

MF	Parameter	Input Z_{t-1}
1	C	1,191
	Σ	1,571
2	C	5,619
	Σ	0,5147

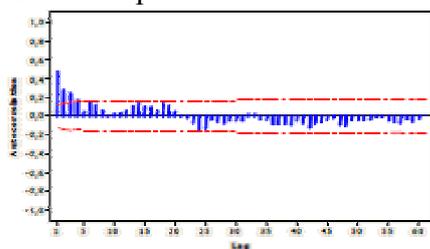
Tabel 8 Parameter Linier Kelompok 1

Aturan	Parameter	
	P	q
1	0,2191	2,457
2	-8,985	48,78

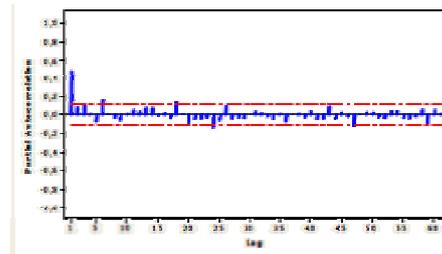
Analisis ANFIS pada kelompok 1 meng-hasilkan masing-masing empat parameter non linier dan parameter linier. Model ANFIS kelompok 1 yaitu sebagai berikut.

b. Kelompok 2

Berdasarkan identifikasi stasioneritas menggunakan *time series plot* dan *box-cox* pada kelompok 2 menunjukkan data kecepatan angin tidak stasioner terhadap varians, karena *rounded value* sebesar -1, selain itu nilai lower dan upper tidak memuat angka 1 dimana nilainya antara -1,62 dan -0,52. Oleh karena itu data harus ditransformasi. Identifikasi model ARIMA dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6 yaitu *plot ACF* dan *PACF* kelompok 2.



Gambar 5 ACF Plot Kelompok 2



Gambar 6 PACF Plot Kelompok 2

Pada plot ACF lag yang signifikan adalah lag ke-1, 2, 3 dan ke-4. Sedangkan plot PACF menunjukkan lag-lag ke-1, 6 dan 18 yang *cut off*. Oleh karena itu ada beberapa model ARIMA yang nantinya dapat dipilih menjadi input pada ANFIS. Berdasarkan uji signifikansi parameter model ARIMA ([6],0,4), ARIMA ([1,6],0,0) dan ARIMA ([1,6,8],0,0) menunjukkan semua parameter signifikan, sehingga pemilihan model ARIMA didasarkan pada kriteria model terbaik seperti Tabel 9.

Tabel 9 ARIMA Kelompok 2

Model	ARIMA ([6],0,4)	ARIMA ([1,6],0,0)	ARIMA ([1,6,18],0,0)
Variance	0,00054	0,000542	0,000535
Std error	0,023126	0,023288	0,023129
AIC	-1345,96	-1344,99	-1347,61
SBC	-1323,98	-1334	-1332,96
White Noise	Ya	Ya	Tidak
Normal	Ya (>0,15)	Ya (>0,15)	Ya (>0,15)
RMSE	0,38851	0,39325	0,39011

Berdasarkan kriteria pemilihan model terbaik, didapatkan nilai RMSE yang paling minimum adalah ARIMA([6],0,4). Oleh karena itu, data yang digunakan sebagai input pada ANFIS adalah data hasil transformasi lag ke-6 atau X_{t-6} . Berikut ini Tabel 10 dan 11 adalah hasil parameter non linier dan linier yang optimum.

Tabel 10 Parameter Non Linier Kelompok 2

MF	Parameter	Input X_{t-6}
1	C	0,03863
	Σ	0,0757
2	C	0,1409
	Σ	0,05444

Tabel 11 Parameter Linier Kelompok 2

Aturan	Parameter	
	<i>P</i>	<i>Q</i>
1	-2,597	0,2724
2	-0,1287	0,2414

Satu input dan dua membership function menghasilkan dua aturan yang dengan empat parameter linier seperti pada Tabel 11. Model ANFIS untuk kelompok 2 dapat ditulis seperti persamaan berikut.

$$\hat{y} = \bar{w}_1(-2,597 X_{t-6} + 0,272) - 0,129X_{t-6} + 0,241$$

c. Mixture of ANFIS Dua Kelompok

Pada saat pengelompokan data kecepatan angin rata-rata di Sumenep menggunakan FCM membagi data menjadi dua kelompok. Namun ketika data prediksi masing-masing kelompok di-mix, maka data dikembalikan berdasarkan urutan waktu yang sesuai. Inilah proses *mixture* pada dua kelompok. Langkah selanjutnya, setelah data kedua kelompok di-mix, maka dilakukan perhitungan probabilitas *state transition* untuk mendapatkan probabilitas cluster state sehingga diperoleh prediksi dari *mixture of ANFIS*. Berikut ini Tabel 12 menyajikan hasil perhitungan probabilitas cluster state.

Tabel 12 Probabilitas Cluster State Dua Kelompok

P(CS _t = 1)	0,70712
P(CS _t = 2)	0,46854

Berdasarkan Tabel 12 dapat dilihat bobot pada kelompok 1 sebesar 0,70712 dan bobot untuk kelompok 2 adalah 0,46856. Selanjutnya diperoleh nilai prediksi *mixture of ANFIS* dengan cara mengalikan nilai prediksi masing-masing kelompok dengan nilai bobot masing-masing kelompok.

Tabel 13 Prediksi Kecepatan Angin Rata-Rata Menggunakan *Mixture of ANFIS* Dua Kelompok

Urutan Waktu	Kelompok	Prediksi <i>Mixture of ANFIS</i>
1	2	3,626257697
2	1	2,341284377
3	1	2,024176253
4	1	2,231855649
5	1	2,231855649
...
695	1	2,56135089
696	1	2,024176253
697	1	2,231855649
698	1	2,231855649
699	1	2,56135089

Setelah diperoleh nilai prediksi *mixture of ANFIS* seperti pada Tabel 13, selanjutnya dihitung residual hasil *mixture of ANFIS* dan diperoleh Nilai RMSE *in sample* pada residual *mixture* dua kelompok sebesar 3,3271.

d. Perbandingan Mixture of ANFIS dengan 2, 3, 4, 5 dan 6 Cluster

Analisis *Mixture of ANFIS* dengan 3, 4, 5 dan 6 cluster dilakukan dengan cara yang sama seperti mixer 2 cluster tersebut. Berikut ini hasil rangkuman deskriptif dari residual dan RMSE pada tiap *mixture* dengan cluster yang berbeda-beda.

Tabel 14 Statistika Deskriptif Residual *Mixture*

Cluster	Mean	Min	Maks	RMSE
2	2,4041	-1,7157	18,494	3,3271
3	1,9054	-1,358	16,246	3,1313
4	1,9283	0,5742	15,469	2,9924
5	1,5063	0,6035	20,86	2,5258
6	1,08	1,4059	20,272	2,3883

Berdasarkan perbandingan residual yang dihasilkan dari metode *mixture of ANFIS* dengan 2, 3, 4, 5 dan 6 cluster seperti Tabel 14 menunjukkan bahwa rata-rata residual paling mendekati nol adalah *mixture* enam cluster. Selain itu dari hasil kriteria pemilihan model yaitu RMSE menunjukkan bahwa nilai

RMSE paling kecil adalah *mixture* enam cluster dengan nilai RMSE sebesar 2,3883.

Perbandingan ANFIS dan *Mixture of ANFIS*

Berdasarkan pembahasan sebelumnya yaitu analisis kecepatan angin rata-rata di Sumenep menggunakan ANFIS dan *Mixture of ANFIS* diperoleh RMSE pada masing-masing metode. Tabel 15 berikut merupakan hasil perbandingan metode ANFIS dan *Mixture of ANFIS* berdasarkan kriteria RMSE.

Tabel 15 Perbandingan ANFIS dan *Mixture*

Metode Kriteria	ANFIS	<i>Mixture of ANFIS</i>
RMSE <i>in sample</i>	3,81142	2,3883
RMSE <i>out of sample</i>	3,71321	2,6777

Tabel 15 menunjukkan bahwa nilai RMSE baik *in sample* ataupun *out sample* metode *Mixture of ANFIS* dengan enam cluster lebih kecil daripada ANFIS dengan input Z_{t-1} dan Z_{t-3} . Hal ini menunjukkan bahwa metode *Mixture of ANFIS* lebih akurat dalam memprediksi kecepatan angin rata-rata di Sumenep.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan, analisis kecepatan angin rata-rata di Sumenep menggunakan ANFIS dengan dua input Z_{t-1} dan Z_{t-3} , dua *membership function* dengan tipe Gauss menghasilkan empat aturan dan 20 parameter. RMSE residual pada data *in sample* sebesar 3,81142. Nilai error minimum di-peroleh dengan epoch sebanyak 170. Nilai RMSE minimum pada analisis kecepatan angin rata-rata di Sumenep menggunakan *mixture of ANFIS* sebesar 2,3883 diperoleh ketika banyaknya cluster enam. Nilai residual dengan frekuensi paling banyak bernilai

disekitar nol. Sehingga hasil analisis kecepatan angin rata-rata dengan *mixture of ANFIS* lebih akurat daripada menggunakan ANFIS, karena nilai RMSE *in sample* dan *out sample*nya lebih kecil.

Penelitian selanjutnya yang dapat dikembangkan adalah dengan menggunakan banyaknya *membership function* yang berbeda serta *type membership function* yang lain, sehingga diperoleh pemodelan menggunakan *mixture of ANFIS* yang bisa dibandingkan dengan hasil pada penelitian ini. *Forecasting* menggunakan *Mixture of ANFIS* dapat dilakukan dengan langkah, yaitu diawali dengan meramalkan cluster untuk kecepatan angin pada waktu ke $t+k$, misalkan cluster j . Apabila pada waktu sebelumnya berada dalam cluster yang sama atau dari tahun ke tahun berada dalam cluster yang tetap yaitu cluster j , maka yang digunakan untuk meramalkan kecepatan angin pada waktu ke $t+k$ menggunakan model cluster j . Sedangkan bila terjadi perubahan cluster pada tahun-tahun sebelumnya, maka peramalan kecepatan angin menggunakan probabilitas *state transition*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Benhammadi, F., Bey, K. B., Mokhtari, A., dan Gessoum, Z. 2010. *Mixture of ANFIS System For CPU Load Prediction In Metacomputing Environment*. Future Generation Computer System hal. 1003- 1011.
- [2] Daryono. 2010. *Cuaca Ekstrim Dampak La Nina*. [http://daryonobmkg.wordpress.com] diakses pada tanggal 1 Maret 2011 Pukul 10.05
- [3] Faulina, R. 2011. *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System untuk*

-
-
- Peramalan Kecepatan Angin Rata-Rata Harian di Sumenep*. Laporan Tugas Akhir Program Sarjana Jurusan Statistika FMIPA. Surabaya : ITS.
- [4] Irhamah, Prasetyo, D.D., dan Fithriasari, K. 2010. *Pengembangan Model Ramalan Kecepatan Angin Menggunakan Hybrid Time Series dan Algoritma Genetika*. Penelitian Produktif ITS – 2010. Surabaya : ITS.
- [5] Jang, R., Jyh-Shing. 1993. *ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System*. Transactions on Systems, Man and Cybernetics Vol. 23 No. 3.
- [6] James, N., dan Castellanos, F. 2009. *Average Hourly Wind Speed Forecasting with ANFIS*. 11-th Americas Conference on Wind Engineering. San Juan-Puerto Rico.
- [7] Kabar bisnis. 2011. *Cuaca ekstrem, Pelayaran Kalianget-Jangkar lumpuh*.
[http://www.kabarbisnis.com/umum/transportasi/2817377-Cuaca_ekstrem_Pelayaran_Kalianget_Jangkar_lumpuh.html] diakses pada tanggal 9 Februari 2011 Pukul 12.40.
- [8] Kusumadewi, S., dan Hartati, S. 2006. *Neuro-Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [9] Naba, E. A. 2009. *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan Matlab*. Yogyakarta : Andi.
- [10] Widodo, T. S. 2005. *Sistem Neuro Fuzzy untuk Pengolahan Informasi, Pemodelan, dan Kendali*. Yogyakarta : Graha Ilmu.