

## Simulasi dan Prediksi Curah Hujan dan Produksi Tanaman Di Jawa Barat Menggunakan ANFIS

RUMINTA, TATI NURMALA

Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung Sumedang KM 21  
Jatinangor Sumedang 45363,

r\_ruminta@yahoo.com, tatinurmala@yahoo.com

### Abstrak

Simulasi data numerik untuk keperluan prediksi sangat penting untuk perencanaan dan antisipasi di masa datang, misalnya prediksi data curah hujan dan produksi tanaman. Ada berbagai model untuk mensimulasi dan prediksi data numerik, salah satu diantaranya yaitu model intelegensi buatan menggunakan *adaptive neuro-fuzzy inference system* (ANFIS). Sehubungan dengan hal itu telah dilakukan kajian simulasi dan prediksi curah hujan dan produksi tanaman di Jawa Barat menggunakan ANFIS. Penelitian menggunakan data curah hujan dan produksi tanaman di Jawa Barat. Metode analisis data adalah deskriptif eksplanatif yang merupakan jenis analisis kuantitatif. Data numerik dianalisis menggunakan ANFIS pada Software Matlab 8.0. Hasil kajian menunjukkan bahwa ANFIS dapat mensimulasi curah hujan dan produksi tanaman dengan sangat akurat dan berpotensi untuk dipergunakan sebagai salah satu model alternatif untuk memprediksi curah hujan dan produksi tanaman di Jawa Barat.

*Kata kunci:* ANFIS, data numerik, intelegensi buatan, pola curah hujan, produksi tanaman

### Abstract

*Simulation of numerical data for prediction purposes is very important for the planning and anticipation of the future, for example, prediction data of rainfall and agricultural production. There are various models to simulate and forecast the numerical data, one of which is a artificial intelligence model using ANFIS. In this connection it has studied a simulation and prediction of rainfall and crops production in West Java using ANFIS. The study uses data of rainfall and crop production. The method of this study is descriptive explanatory which is a type of quantitative analysis. Numerical data were analyzed using ANFIS of the Software Matlab 8.0. The study results showed that ANFIS can simulate rainfall and crop yield with highly accurate and has the potential to be used as one of the alternative model to predict rainfall and crop yield in West Java.*

*Keywords :* artificial intelligence, ANFIS, crop production, numeric data, rainfall pattern

## 1. PENDAHULUAN

Simulasi data numerik untuk keperluan prediksi sangat penting untuk perencanaan dan antisipasi di masa datang, misalnya prediksi data curah hujan dan produksi pertanian penting untuk perencanaan pengembangan pertanian di masa datang. Simulasi dan prediksi yang akurat dari curah hujan diperlukan untuk berbagai tujuan seperti manajemen kekeringan, operasi waduk, perlindungan lingkungan, dan operasi pasokan air. Ada sejumlah model matematika yang dikembangkan untuk simulasi dan prediksi data numerik tersebut seperti regression, autoregression (AR), moving average (MA), autoregression integrated moving average (ARIMA), neural networks (NN), adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), dan lain-lain.

Data numerik curah hujan dapat diekstrak menjadi model numerik yang dapat dipergunakan untuk berbagai keperluan, misalnya untuk keperluan irigasi dan regionalisasi (Boulet et al., 2000), evaluasi neraca air jangka panjang (Domingo et al., 2001), parameterisasi model hidrologi (Wooldridge dan Kalma, 2001), prediksi limpasan dan air tersedia (Toninelli et al., 2003). Contoh model numerik hasil ekstrak dari data numerik adalah model hidrometeorologi berbasis Neural Networks (Tokar dan Markus, 2000) dan berbasis Canadian Regional Climate Model (MacKay et al., 2003). Walaupun penerapan pendekatan linier (stokastik) sangat umum dalam mengkaji sistem fisis alamiah yang kompleks, seperti hidrometeorologi, perkembangan yang drastis dalam pengetahuan non-linier dan pertumbuhan yang cepat dari sejumlah alat untuk menganalisis data deret waktu non-linier telah membawa kemajuan penting dalam perkembangan metodologi analisis data (Sveinsson et al., 2002). Di antara sejumlah penemuan penting dalam perkembangan metodologi analisis data deret waktu, analisis Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) mempunyai peranan penting dalam berbagai bidang pengetahuan fisis alamiah, termasuk bidang hidrometeorologi dan pertanian.

ANFIS adalah jenis model kecerdasan buatan yang diklasifikasikan sebagai sistem model teoritis, dan mampu mensimulasi data yang kompleks dan non-linear bahkan data dalam kondisi langka (Kadhim, 2011). Model-model ini tidak mempertimbangkan karakteristik fisik dari parameternya dan dapat memetakan data dari input ke output menggunakan transfer fungsi (Mutlu et al., 2008). Penerapan ANFIS untuk berbagai aspek permodelan hidrometeorologis telah banyak dilakukan dalam sejumlah kajian pada beberapa tahun terakhir ini (Franc and Panigrahi, 1997; Mashudi, 2001; Ozelkan and Duckstein, 2001). Seperti telah diketahui, ANFIS sangat sesuai untuk permodelan sistem non-linier. Zhu (2000) dan Shapiro (2002) telah menunjukkan bahwa ANFIS merupakan metode permodelan terbaik untuk menganalisis data numerik, karena dalam proses training didasarkan pada minimalisasi nilai kesalahan atau root mean square error (RMSE) dari outputnya. Model ANFIS tersebut merupakan sistem yang paling baik untuk mengekstrak data numerik menjadi model numerik. Menurut penelitian Riyanto et al. (2000), ANFIS dapat memprediksi data deret waktu lebih akurat dibanding metode lainnya, seperti back propagation multilayer preceptron (BPMP) maupun autoregression (AR). Metode perhitungan ANFIS memberikan keuntungan dalam permodelan sistem fisis alamiah, terutama ketika hubungan fisis yang mendasarinya tidak dapat diketahui dengan pasti (Tokar and Markus, 2000; Cigizoglu, 2003; Nayak et al., 2004). Menurut Zhu (2000) dan Shapiro (2002), ANFIS merupakan model terbaik untuk analisis numerik dibanding model logika samar (fuzzy logic) lainnya, karena dalam proses pembelajarannya (training) didasarkan pada upaya memperkecil nilai kesalahan dari outputnya. Hasil penelitian lainnya menunjukkan ANFIS dapat mengidentifikasi model curah hujan lebih akurat dibanding ARIMA (Ruminta, 2001).

Curah hujan sangat mempengaruhi kegiatan pertanian dan produksi tanaman-tanaman pangan lahan kering di Jawa Barat. Namun demikian curah hujan mempunyai variabilitas yang besar baik secara spasial maupun temporal. Oleh karena itu seringkali curah hujan tersebut menjadi faktor pembatas dalam kegiatan pertanian dan produksi tanaman pangan lahan kering. Salah satu upaya agar curah hujan tersebut tidak menjadi faktor pembatas atau sedikitnya tidak menjadi kendala dalam kegiatan pertanian dan produksi tanaman adalah menyelaraskan semua kegiatan pertanian dengan karakteristik curah hujan yang ada (Oldeman, 1975). Dalam

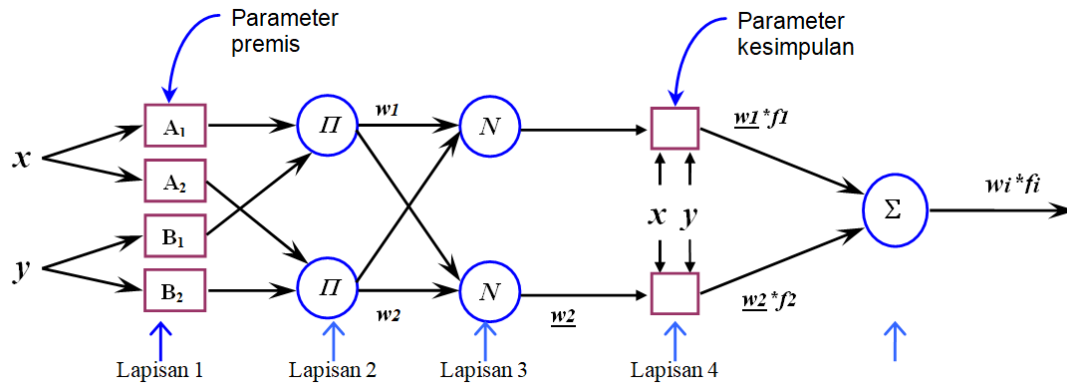
upaya menyalurkan kegiatan pertanian dengan karakteristik curah hujan yang ada tersebut harus didukung oleh basis informasi karakteristik curah hujan yang memadai. Informasi karakteristik curah hujan tersebut adalah perubahan pola curah hujan dan prediksinya di masa datang; kecenderungan jangka panjang curah hujan. Selanjutnya karakteristik curah hujan tersebut akan mempengaruhi perubahan ketersediaan air tanah, lama masa tanam, awal tanam, dan pola tanam serta pemilihan komoditi tanaman pangan lahan kering.

Menurut hasil penelitian Ruminta (2001), curah hujan di Indonesia termasuk wilayah Jawa Barat dipengaruhi oleh faktor global seperti fenomena Dipole Mode di Lautan Hindia yang digambarkan oleh indeks Dipole Mode atau DMI dan fenomena Osilasi Selatan di Samudra Pasifik ditunjukkan oleh indeks Osilasi Selatan atau SOI. Curah hujan di wilayah tersebut mempunyai korelasi yang signifikan dengan kejadian hujan sebelumnya (historis), DMI, dan SOI. Produksi tanaman pangan di Indonesia dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu luas lahan, produktivitas tanaman, curah hujan, dan penyinaran matahari. Bagaimana pola hubungan antara curah hujan atau produksi tanaman dengan faktor-faktor utama yang mempengaruhinya sangat penting dikaji untuk keperluan proyeksi atau prediksinya ke depan.

Pada artikel ini akan disajikan hasil simulasi dan prediksi curah hujan dan produksi tanaman pangan (padi dan jagung) di Jawa Barat menggunakan ANFIS. Bagaimana kelayakan dan tingkat ketelitian model ANFIS dalam mensimulasi dan prediksi curah hujan dan produksi tanaman pangan sebagai informasi untuk keperluan perencanaan pengembangan tata air dan pertanian di Jawa Barat.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode analisis data adalah deskriptif eksplanatif yang merupakan jenis analisis kuantitatif. Penelitian ini menggunakan data skunder yaitu data curah hujan, Dipole Mode Index (DMI), Southern Oscillation Index (SOI), penyinaran matahari, luas lahan, dan produktivitas tanaman pangan (padi dan jagung). Simulasi dan prediksi curah hujan menggunakan data curah hujan, Dipole Mode Index (DMI), Southern Oscillation Index (SOI), sedangkan simulasi dan prediksi produksi tanaman pangan menggunakan data curah hujan, penyinaran matahari, luas lahan, dan produktivitas tanaman pangan. Data numerik pada penelitian ini dianalisis menggunakan model numerik ANFIS. Analisis identifikasi model pola curah hujan dan model produksi tanaman padi didasarkan pada model ANFIS Sugeno. Analisis ANFIS dan visualisasi hasil penelitian menggunakan Software Matlab 8.0. Aplikasi ANFIS Sugeno untuk mensimulasi dan prediksi curah hujan dan produksi tanaman terdiri dari tiga tahap yaitu training, testing, dan prediksi (Jang, 1993; Zhu, 2000; Shapiro, 2002; Ruminta et al., 2007). Tahap pertama adalah training ANFIS yaitu menggambarkan data deret waktu dalam bentuk input dan output pada jejaring ANFIS untuk mendapatkan bobot simpul (node) antar penghubung dalam jejaring tersebut (Gambar 1). Tahap training menggunakan seluruh data curah hujan dan produksi tanaman serta data lainnya yang merupakan hasil pengamatan/ observasi. Tahap selanjutnya adalah tahap testing yaitu membandingkan output ANFIS (hasil simulasi) dengan data hasil observasi. Pada tahap testing menggunakan data hasil simulasi (output) ANFIS dan data observasi. Pada tahap ini kelayakan dari ANFIS dianalisis menggunakan nilai RMSE (root mean square error) dan MAPE (mean absolute percentage error). Model ANFIS yang baik ditunjukkan oleh nilai RMSE dan MAPE-nya yang kecil. Pada tahap testing juga diuji kelayakannya dengan uji Khi Square ( $\chi^2$ ), nilai tingkat ketelitian (precision) atau E, dan koefisien korelasi antara data simulasi ANFIS dengan data observasi. Tahap yang ketiga adalah tahap prediksi yaitu memprediksi curah hujan dan produksi tanaman pangan menggunakan model ANFIS yang layak dengan tingkat presisi yang tinggi yang telah melewati tahap testing. Pada tahap prediksi juga dianalisis perbedaan statistik antara data hasil prediksi model ANFIS dengan data pengamatan/ observasi.



GAMBAR 1. Arsitektur ANFIS

Kelayakan model hasil identifikasi ANFIS diuji dengan menggunakan RMSE (Root Mean Square Error) dan MAPE (Mean Absolute Percentage Error) (Salehfar et al., 2000) yang dinyatakan oleh persamaan (1) dan (2),

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y'_t - Y_t)^2} \quad (1)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N \frac{(Y'_t - Y_t)^2}{Y_t} \right] 100\% \quad (2)$$

di mana  $Y_t$  adalah output model ANFIS;  $Y_t$  adalah data hasil observasi; dan  $N$  adalah banyaknya data deret waktu yang dianalisis.

Kelayakan model hasil indentifikasi ANFIS Sugeno juga dapat diuji dengan menggunakan nilai  $\chi^2$  yang dinyatakan oleh persamaan (3). Model numerik akan menjadi layak untuk dipergunakan menduga curah hujan dan produksi pertanian, jika nilai  $\chi^2_{hitung} \leq \chi^2_{tabel}$  pada taraf nyata dan derajat bebas masing-masing  $\alpha$  dan  $l_p$ ,

$$\chi^2 = N(N+2) \sum_{l=1}^N \frac{\rho_{(e)l}^2}{N-l} \quad (3)$$

di mana  $l$  adalah banyaknya lag autokorelasi (biasanya  $l = \frac{N}{4}$ );  $\rho_{(e)l}$  adalah autokorelasi galat pada lag ke- $l$ ; dan  $N$  adalah banyaknya data deret waktu yang dianalisis. Sementara itu tingkat ketelitian (*precision*) model atau kualitas model hasil identifikasi ANFIS dikaji menggunakan nilai  $E$  yang dinyatakan pada persamaan (4).

$$E = 1 - \frac{\sigma_c^2}{\sigma_o^2} \quad (4)$$

dimana  $\sigma_o$  adalah variasi data observasi dan  $\sigma_c$  adalah variasi perbedaan antara data hasil observasi dan data hasil output model. Prediksi curah hujan dan produksi tanaman pangan dilakukan menggunakan model temporal hasil identifikasi ANFIS dari data numerik yang telah diuji kelayakannya. Hasil prediksi curah hujan dan produksi tanaman pangan tersebut diverifikasi dengan data hasil observasi. Dalam prediksi tersebut dipergunakan persamaan 5,

$$F_t = O_5 = \sum_i \bar{\omega}_i f_i = \frac{\sum_i \omega_i f_i}{\sum_i \omega_i} = \frac{\omega_1 f_1 + \omega_2 f_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (5)$$

di mana  $F_t$  adalah output hasil prediksi;  $\bar{w}$  adalah nilai normalisasi; dan  $f$  adalah himpunan logika samar.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

**3.1. Simulasi dan Prediksi Curah Hujan.** Model curah hujan (bulanan atau tahunan) di wilayah Jawa Barat dapat dibangkitkan (disimulasi) dengan baik dari data numerik curah hujan historis dan data fenomena global seperti Dipole Mode di Lautan Hindia yang diindikasikan oleh data indeks Dipole Mode atau DMI dan Osilasi Selatan yang diindikasikan oleh data indeks Osilasi Selatan atau SOI (Gambar 2). Pada proses simulasi, model curah hujan bulanan atau tahunan mempunyai bias sangat kecil yang ditunjukkan oleh nilai RMSE maupun MAPE yang sangat kecil. Model curah hujan tersebut mempunyai presisi (E) dan koefisien korelasi yang sangat tinggi (Tabel 1). Hasil ini mengindikasikan bahwa model curah hujan tersebut mempunyai potensi yang baik untuk dipergunakan memprediksi curah hujan ke depan. Pada proses simulasi, kurva data observasi berhimpit dengan data hasil simulasi, hal ini menunjukkan bahwa analisis ANFIS sangat akurat dalam merekonstruksi model curah hujan bulanan maupun tahunan di wilayah Jawa Barat. Model tersebut selanjutnya dipergunakan untuk memprediksi curah hujan bulanan atau tahunan selama 6 tahun ke depan seperti ditunjukkan masing-masing pada Gambar 3 dan 4. Data simulasi dari model curah hujan dengan data hasil pengamatan/observasi mempunyai perbedaan (bias) yang relatif kecil sehingga secara visual tidak kelihatan karena hampir berhimpit (Gambar 3 dan 4).

Curah hujan minimum, rerata, dan maksimum maupun standar deviasi antara data pengamatan dan data prediksi berbeda cukup kecil. Namun demikian, dari nilai statistik tersebut model curah hujan tahunan relatif lebih akurat dibanding prediksi model curah hujan bulanan (Tabel 2). Pada model curah hujan, ada pola yang jelas antara curah hujan dan DMI yaitu jika nilai DMI bergerak naik atau turun dari titik nol berkaitan curah hujan naik, sebaliknya jika nilai DMI menuju titik nol maka curah hujan turun (Gambar 5) . Sementara itu untuk nilai SOI turun berkaitan dengan meningkatnya curah hujan di wilayah Jawa Barat. Jadi pola SOI berbanding terbalik dengan curah hujan tahunan di wilayah tersebut (Gambar 5). Dari pola hubungan tersebut mengindikasikan bahwa curah hujan di wilayah Jawa Barat sangat dipengaruhi oleh fenomena global di bagian barat yaitu Dipole Mode Lautan Hindia dan fenomena di bagian timur yaitu ENSO.

Hasil simulasi dan prediksi curah hujan ini mengkonfirmasi hasil-hasil penelitian sebelumnya bahwa model intelegensi buatan ANFIS dapat mensimulasi dan mempredksi data numerik dari berbagai bidang dengan akurasi yang sangat tinggi seperti penelitian yang dilakukan oleh Bisht et al. (2009), Hour et al. (2013), Al-Zubaidi et al. (2013), dan Majdar dan Vafakhah (2015).

Tabel 1. Nilai statistik simulasi curah hujan dari model ANFIS

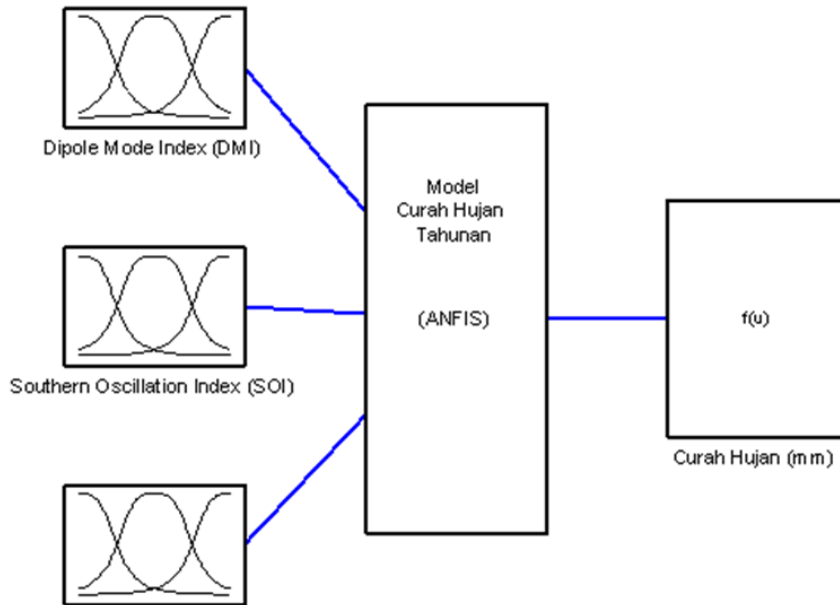
Model ANFIS	Simulasi		Presisi (E) (%)	Korelasi (r)
	RMSE	MAPE		
Curah Hujan Tahunan	0.1273	0.0014	99.96	0.992*
Curah Hujan Bulanan	5.6925	0.7966	92.33	0.985*

\* = Signifikan

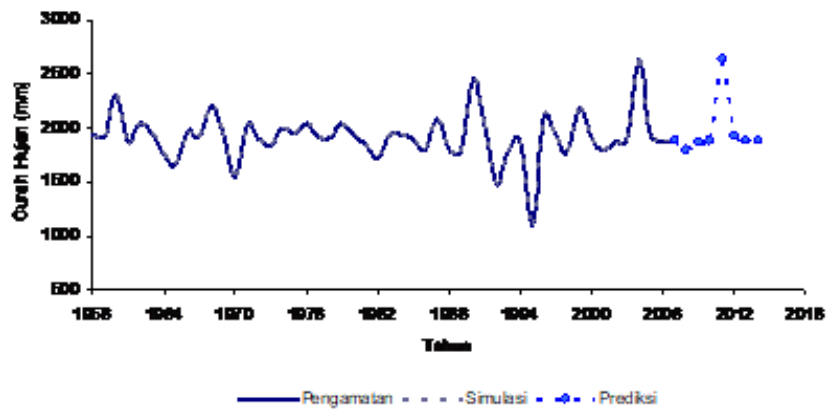
Tabel 2. Nilai statistik prediksi curah hujan dari model ANFIS.

Model ANFIS	Data Pengamatan				Data Prediksi			
	Minimum	Rerata	Maksimum	Standar Deviasi	Minimum	Rerata	Maksimum	Standar Deviasi
CH Tahunan	1092.500	1917.496	2303.600	227.2144	1793.300	1968.963	2637.600	272.7534
CH Bulanan	59.7985	159.4965	428.4025	70.32561	65.8303	175.0526	301.488	82.54189

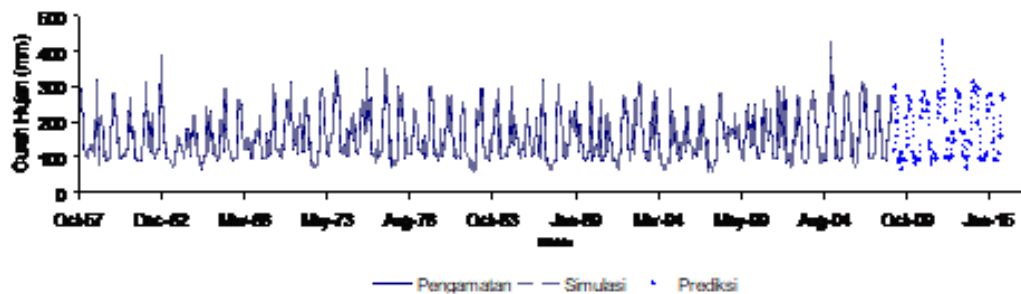
Ket. : CH : Curah Hujan (mm)



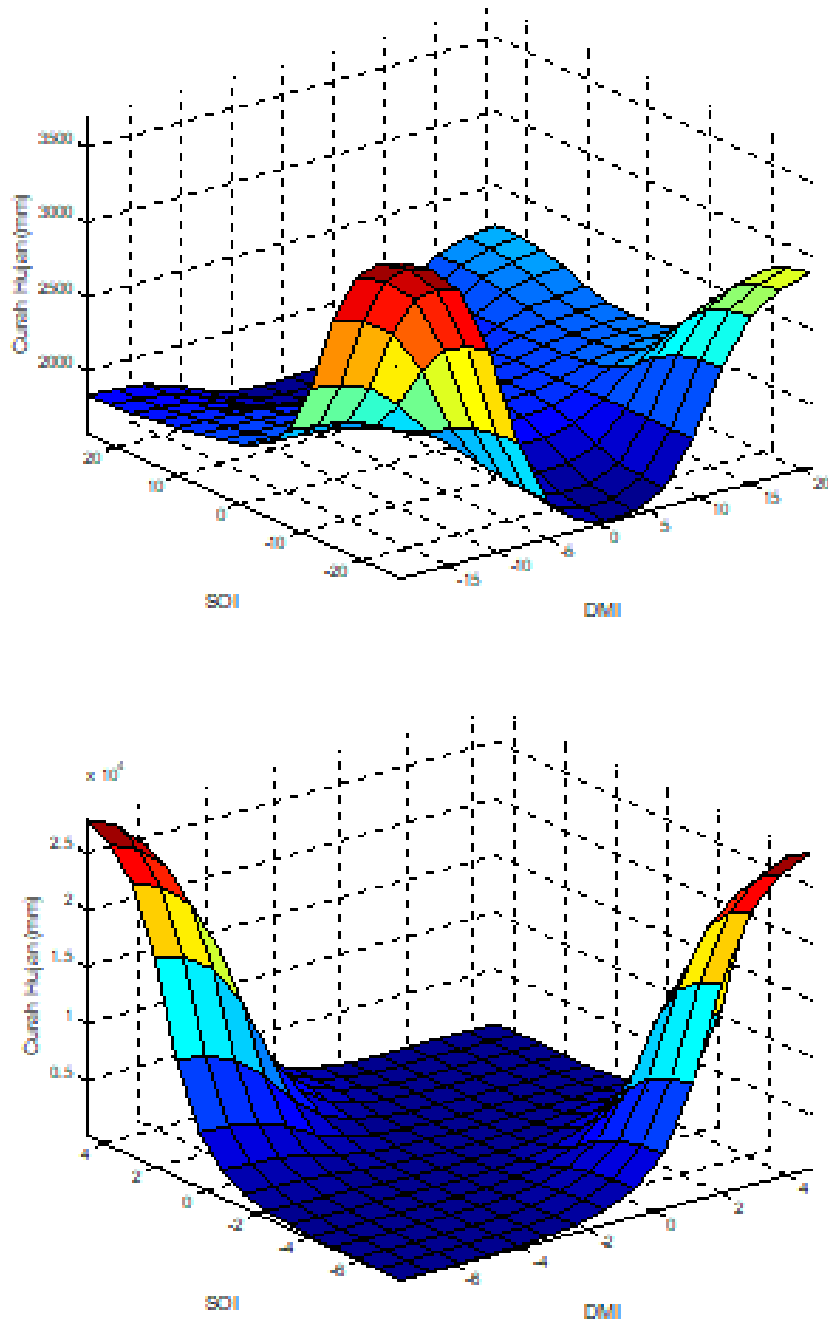
Gambar 2. Sistem input dan output model curah hujan tahunan



Gambar 3. Model simulasi dan prediksi curah hujan tahunan (plot pengamatan dan simulasi hampir berhimpit sehingga tidak bisa dibedakan secara visual)



Gambar 4. Model Simulasi dan prediksi curah hujan bulanan (plot pengamatan dan simulasi hampir berhimpit sehingga tidak bisa dibedakan secara visual)



Gambar 5. Respon input-output model curah hujan tahunan (atas) dan bulanan (bawah)

**3.2. Simulasi dan Prediksi Produksi Pangan.** Model produksi tanaman pangan (padi dan jagung) di wilayah Jawa Barat dapat dibangkitkan dengan baik dari data numerik curah hujan, lama penyinaran, luas lahan dan produktivitas tanaman pangan (Gambar 6). Pada proses simulasi, model produksi tanaman pangan baik padi maupun jagung mempunyai bias sangat kecil yang ditunjukkan oleh nilai RMSE maupun MAPE yang sangat kecil. Model produksi tanaman pangan tersebut juga mempunyai presisi (E) dan koefisien korelasi yang sangat tinggi (Tabel 3). Hasil ini mengindikasikan bahwa model produksi tanaman pangan tersebut mempunyai potensi yang baik untuk dipergunakan memprediksi produksi tanaman padi dan jagung

ke depan. Pada proses simulasi, kurva data observasi berhimpit dengan dengan data hasil simulasi sehingga secara visual tidak bisa dibedakan, hal ini menunjukkan bahwa analisis ANFIS sangat akurat atau mempunyai bias yang sangat kecil dalam merekonstruksi model produksi tanaman pangan di wilayah Jawa Barat. Nilai prediksi dari model produksi tanaman pangan dengan data hasil pengamatan mempunyai perbedaan yang relatif kecil. Produksi tanaman pangan minimum, rerata, dan maksimum maupun standar deviasi antara data pengamatan dan data hasil prediksi berbeda cukup kecil (Tabel 4).

Tabel 3. Nilai statistik simulasi produksi tanaman pangan dari model ANFIS

Model ANFIS	Training Simulasi		Presisi (E) (%)	Korelasi (r)
	RMSE	MAPE		
Padi	20.0679	0.0622	99.95	0.998*
Jagung	8.11121	0.0491	99.93	0.996*

\* = Signifikan

Tabel 4. Nilai statistik prediksi produksi tanaman pangan dari model ANFIS.

Model ANFIS	Data Pengamatan (1000 ton)				Data Prediksi (1000 ton)			
	Minimum	Rerata	Maksimum	Standar Deviasi	Minimum	Rerata	Maksimum	Standar Deviasi
Padi	877.688	998.076	1082.086	62.364	941.9	1001.07	1062.1	47.108
Jagung	27.391	45.295	68.656	12.824	54.944	61.433	68.656	5.638

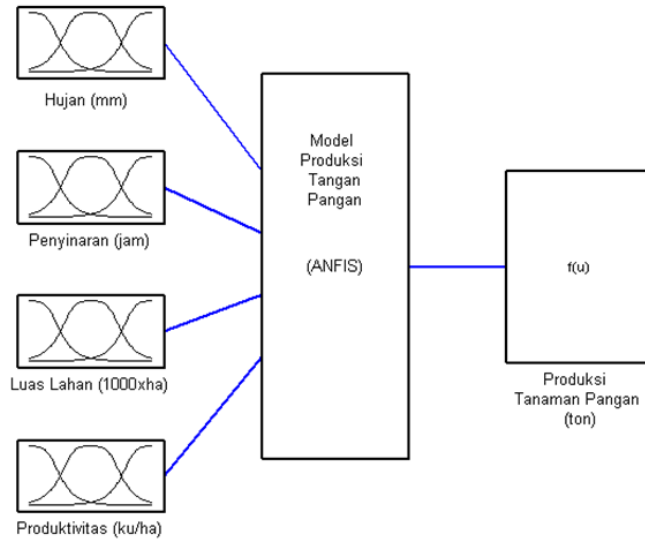
Model tersebut selanjutnya dipergunakan untuk memprediksi produksi tanaman pangan tahunan selama 6 tahun ke depan seperti ditunjukkan pada Gambar 7 dan pola hubungan antara input-output model produksi tanaman pangan ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil kajian menunjukkan bahwa model produksi tanaman pangan di wilayah Jawa Barat cukup bervariasi walaupun umumnya mempunyai trend naik. Model produksi tanaman padi menunjukkan bahwa produksi padi di Jawa Barat mengalami perubahan yang sangat variatif. Hal ini tentu berkaitan dengan adanya fakta bahwa tanaman padi lebih peka terhadap perubahan pola curah hujan di wilayah tersebut sehingga produksi sangat tergantung pada fluktuasi curah hujan. Penurunan produksi padi di wilayah Jawa Barat pada tahun 1993, 1997, dan 2003 berkaitan dengan adanya fenomena EL Nino atau Osilasi Selatan. Sementara itu model produksi tanaman jagung menunjukkan pola naik secara signifikan.

Hasil simulasi dan prediksi produksi tanaman juga mengkonfirmasi hasil-hasil penelitian sebelumnya bahwa model intelegensi buatan ANFIS dapat mensimulasi dan memprediksi data numerik pada berbagai bidang dari tempat lain dengan akurasi yang sangat tinggi seperti hasil penelitian yang dilakukan oleh Kumar et al. (2005), Shu dan Ouarda (2008), Wang et al. (2009), Vafakhah (2012), Wang dan Ning (2015), dan Ramesh et al. (2015).

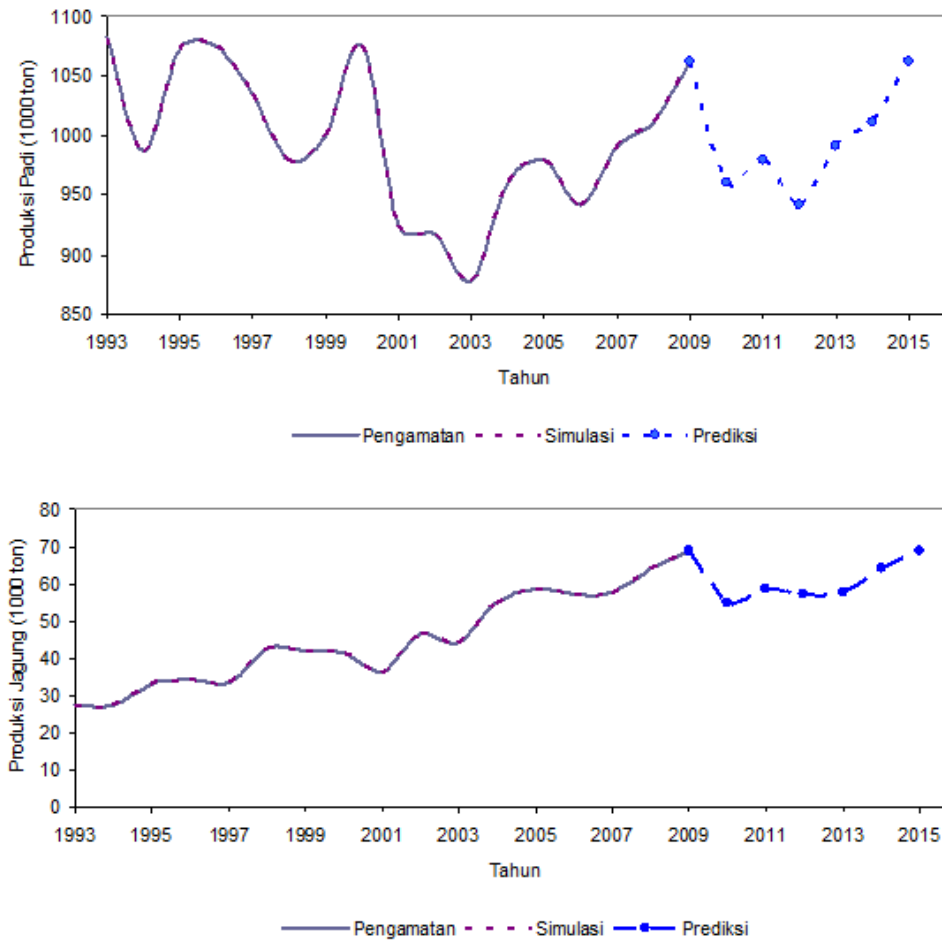
#### 4. SIMPULAN

Hasil penelitian ini mengkonfirmasi validitas model intelegensi buatan ANFIS bahwa model ANFIS dapat mengekstrak dan mensimulasi data numerik menjadi model numerik dengan akurat. Model ANFIS dapat mensimulasi model curah hujan maupun produksi tanaman pangan di wilayah Jawa Barat dengan sangat akurat yang ditunjukkan oleh nilai presisi dan korelasi sangat tinggi. Model ANFIS juga dapat memprediksi curah hujan dan produksi tanaman dengan akurat sehingga berpotensi untuk dipergunakan sebagai salah satu model alternatif untuk memprediksi curah hujan dan produksi pertanian di Jawa Barat

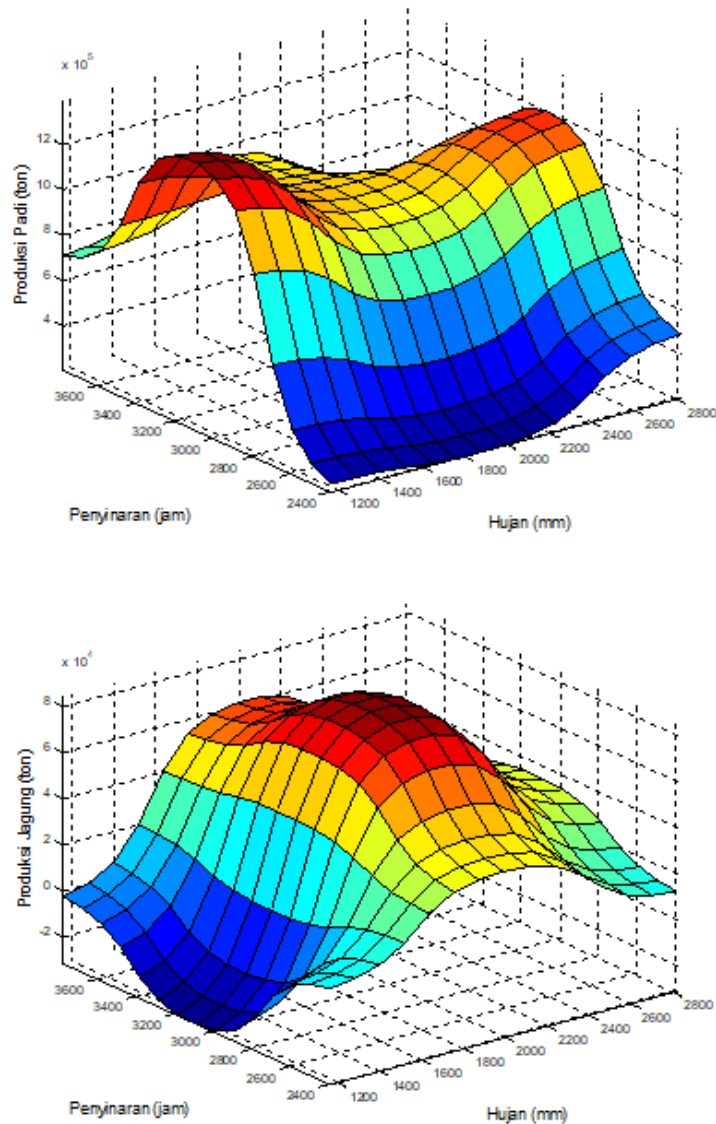




Gambar 6. Sistem input dan output model produksi tanaman pangan (padi dan jagung)



Gambar 7. Model simulasi dan prediksi produksi tanaman padi (atas) dan jagung (bawah) (plot pengamatan dan simulasi hampir berhimpit sehingga tidak bisa dibedakan secara visual)



Gambar 8. Respon input dan output model produksi tanaman padi (atas) dan jagung (bawah)

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahour, M., A. Nouri, M.S. Sadeghian. 2013. The Study of Artificial Neural Network (ANN) Efficiency with Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) in Dissolved oxygen Simulation of River Water. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences Bull. Env. Pharmacol. Life Sci., Vol .2 (9): 30-38.
- [2] Al-Zubaidi, S., J.A.Ghani, and C.H CheHaron. 2013. Prediction of Surface Roughness When End Milling Ti6Al4V Alloy Using Adaptive Neurofuzzy Inference System. Modelling and Simulation in Engineering, Vol. 2013.
- [3] Bisht, D.C.S., M.M. Raju, M.C. Joshi. 2009. Simulation of Water Table Elevation Fluctuation using Fuzzy-Logic and ANFIS. Computer Modelling and New Technologies, Vol.13 (2): 1623.
- [4] Boulet, G., Chehbouni, A., Braud, I., Vauclin, M., Haverkamp, R., and Zammit, C. 2000. A Simple Water and Energy Balance Model Designed for Regionalization and Remote Sensing Data Utilization. J. Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 105(1-3): 117-132.
- [5] Cigizoglu, H.K. 2003. Estimation, Forecasting, and Extrapolation of River Flows by Artificial Neural Networks. Hydrology Science Journal, Vol. 48(3): 349-361.

- [6] Domingo, L., Villagarcia, M., Boer, M., Arboledas, L.A., and Puigdefabregas, J. 2001. Evaluating the Long-term Water Balance of Arid Zone Stream Bed Vegetation Using Evapotranspiration Modeling and Hillslope Runoff Measurements. *J. Hydrology*, 243(1-2), 17-30.
- [7] Franc, J.L. and Panigrahi, S. 1997. Artificial Neural Network Models of Wheat Leaf Wetness. *J. Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 88(1-4): 57-65.
- [8] Jang, J.S.R. 1993. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 23(3): 665-685.
- [9] Kadhim, H.H. 2011. Self learning of ANFIS inverse control using iterative learning technique. *Int. J. Comp. App.*, Vol. 21(8): 24-29.
- [10] Kumar A.R., K.P. Sudheer, S.K. Jain. and P.K. 2005. Rainfall-runoff modelling using artificial neural networks: comparison of network types. *Hydrol. Process.*, Vol.19: 1277-1291.
- [11] Lau, K.M., C.H. Ho, and L.S. Kang. 1997. Anomalous Atmospheric Hydrologic Processes Associated with ENSO, Mechanisms of Hydrologic Cycle-Radiation Interaction. *J. Climate*, Vol. 11 : 800-815.
- [12] MacKay, M.D., Seglenieks, F., Verseghy, D., Soulis, E.D., Snelgrove, K.R., Walker, A., and Szeto, K. (2003). Modeling Mackenzie Basin Surface Water Balance During CAGES with the Canadian Regional Climate Model. *J. Hydrometeorology*, Vol. 4(4): 748-767.
- [13] Majdar, H.A. and M. Vafakhah. 2015. Monthly River Flow Prediction using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (A Case Study: Gharasu Watershed, Ardabil Province-Iran). *ECOPERSIA*, Vol. 3(4): 1175-1188 Mashudi, M.R. 2001. Forecasting Water Demand Using Neural Networks in the Operation of Reservoirs in the Citarum Cascade,
- [14] West Java, Indonesia. Dissertation, The Faculty of The Engineering Management and Systems Engineering Department, The George Washington University.
- [15] Mutlu, E., Chaubey, I., Hexmoor, H. and Bajwa, S.G. 2008. Comparison of artificial neural network models for hydrologic predictions at multiple gauging stations in an agricultural watershed. *Hydrol. Process*. Vol. 22(26): 5097-5106.
- [16] Nayak, P.C., K.P. Sudheer, D.M. Rangan, and K.S. Ramasastri. 2004. A neuro Fuzzy Computing Technique for Modeling Hydrological Time Series. *J. Hydrology*, Vol. 291: 52-66.
- [17] Oldeman, J. R. 1975. An agro-climatic map of Java. C. R. J. Agr. Bogor. Contr. Centr. Res. Inst. Agric. Bogor, No.16/1975.
- [18] Ozelkan, E.C. and Duckstein, L. 2001. Fuzzy Conceptual Rainfall-Runoff Models. *J. Hydrology*, Vol. 253(1-4): 41-68.
- [19] Ramesh, K., A. P. Kesarkar, J. Bhate, M.V. Ratnam, and A. Jayaraman. 2015. Adaptive neuro-fuzzy inference system for temperature and humidity prole retrieval from microwave radiometer observations. *Atmos. Meas. Tech.*, Vol. 8, 369384.
- [20] Riyanto, B., F. Febrianto, and C. Machbub. 2000. Adaptive network based Fuzzy Inference System for forecasting daily gasoline demand. Proceedings of the Sixth AEESEAP Triennial conference, Kuta, Bali, Indonesia, August 2325, 2000.
- [21] Roads, J.O. and A. Betts. 1999. NCEP-NCAR and ECMWF Reanalysis Surface Water and Energy Budgets for the Mississippi River Basin. *J. Hydrometeorology*, Vol. 1(1): 88-94.
- [22] Ruminta, 2001. Pendugaan Curah Hujan di Wilayah Sumatra Dengan Menggunakan ANFIS. Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- [23] Ruminta, Bayong, T.H.K., T.H. Liong, dan I. Soekarno. 2007. Kecenderungan Hidrometeorologi di Daerah Aliran Sungai Citarum. *Padjadjaran Journal of Life and Physical Sciences*, Vol. 9(1): 23-37.
- [24] Salehfar, H, N. Bengiamin, and J. Huang. 2000. A Systematic approach to linguistic fuzzy modeling based on input-output data. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference. J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, Eds., University of North Dakota, U.S.A.
- [25] Shapiro, A F. 2002. From Neural Networks, Fuzzy Logic, and Genetic Algorithms to ANFIS and Beyond. A Proposal for the American Risk and Insurance Association 2002 Annual Meeting, University Park, USA.
- [26] Shu, C. and T.B. Ouarda. 2008. Regional flood frequency nalysis at ungauged sites using the adaptive neuro-fuzzy inference system. *J. Hydrol.*, Vol. 349(1): 31-43.
- [27] Sveinsson, O.G.B., Salas, J.D., Boes, D.C., and Pielke, R.A. (2002). Modeling Dynamics of Long-term Variability of Hydroclimatic Processes. *J. Hydrometeorology*, Vol. 4(3): 489-505.
- [28] Tokar, A.S. and M. Markus. 2000. Precipitation-Runoff Modeling Using Artificial Neural Networks and Conceptual Models. *J. Hydrologic Engineering*, Vol. 5(2): 156-161.
- [29] Toninelli, V., D.G. Salvucci, and M. Mancini. 2003. Parameter Estimation Technique for a Water Balance Model and Application to Measured Data. *Hydrology Days*, 192-206.
- [30] Vafakhah, M. 2012. Application of artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system models to short-term streamflow forecasting. *Can. J. Civil. Eng.*, Vol. 39(4): 402-414.
- [31] Wang, W., K.W. Chau, C.T. Chang, and L.A. Qui. 2009. comparison of performance of several artificial intelligence methods for forecasting monthly discharge time series. *J. Hydrol.*, Vol. 374 (3-4): 294-306.
- [32] Wang, J.S. and C.X. Ning. 2015. ANFIS Based Time Series Prediction Method of Bank Cash Flow Optimized by Adaptive Population Activity PSO Algorithm. *Information*, Vol. 6, 300-313.

- [33] Wooldridge, S.C. and J.D. Kalma. 2001. Regional-Scale Hydrological Modelling Using Multiple-Parameter Landscape Zones and a Quasi-distributed Water Balance Model. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 5(1): 5974.
- [34] Yang, F., A. Kumar, K., Schlesinger, M.E., and Wang, W. (2003). Intensity of Hydrological Cycle in Warmer Climate. *J. Climate*, Vol. 16(14): 2419-2423.
- [35] Zhu, Y. (2000) : ANFIS : Adaptive Neuro Fuzzy Inference System, EE Dept., Univ. of Missouri, Rolla.