

DESAIN DAN IMPLEMENTASI KECERDASAN BUATAN PADA *APPLICATION SERVER* SEBAGAI PENDUKUNG SISTEM PERINGATAN DINI UNTUK BENCANA BANJIR

DESIGN AND IMPLEMENTATION ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON *APPLICATION SERVER* AS AN ENDORSER OF FLOOD EARLY WARNING SYSTEM

SYSTEM

Muhammad Rifan

Prodi S1 Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Muhammad.rifan.azmar@gmail.com

Abstrak

Flood Early Warning System pada aliran sungai merupakan sistem yang berfungsi memberikan peringatan dini kepada penduduk wilayah di sekitar DAS (Daerah Aliran Sungai) apabila air sungai hampir meluap dan berpotensi besar terjadi banjir. Pada Tugas Akhir ini akan dibangun suatu Flood Early Warning System yang dapat mengetahui kondisi cuaca dipadukan dengan kondisi aliran air pada sungai, sehingga banjir di wilayah sekitar muara sungai dapat diprediksi sebelum ketinggian air memasuki kondisi darurat banjir. FEWS adalah sebuah perangkat lunak berbasis web yang menangani layanan penyimpanan dan pengolahan data atribut berupa kondisi cuaca, curah hujan dan ketinggian muka air sungai. FEWS akan memonitor kemudian memprediksi apakah kondisi yang terjadi akan menyebabkan meluapnya air sungai atau tidak. Dengan adanya sistem ini, diharapkan terciptanya sebuah Flood Early Warning System yang mampu memprediksi apabila akan terjadi banjir jauh sebelum banjir terjadi. Hasil dari Tugas Akhir ini adalah sebuah Web Application yang mampu mengagregasi keseluruhan data untuk mendukung Flood Early Warning System yang dapat mengambil kesimpulan apakah akan terjadi banjir atau tidak serta memberikan peringatan apabila akan terjadi banjir.

Kata Kunci : flood early warning system, web application, prediksi banjir

Abstract

Flood Early Warning System is a system that give an early warning to teh villagers around the river flow area if the water of the river will overflow. In this research will be built a Flood Early Warning System by combining weather and rainfall data with the high level of the river surface. The data will be gained from the integrated wirless sensor network and will be send to the server. The prediction will be obtained by measure the all parameter, so the river survace level can be predicted base on the rainfall scheme. And when the rainfallscheme can be predicted, the flood can be predicted before the water of the river reach the warning zone. With this system, the time for evacuation of villagers can be optimal and the villagers will have chance to make more preparation to face the flood disaster. The result of this project is a web application that can make the agregation of data and make a conclusion from the rainfall schame to make forecasting for the flood disaster.

Keywords : flood early warning system, web application, flood forecasting

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan Negara yang berada pada zona rawan bencana. Bencana sering menimbulkan banyak korban jiwa dan harta benda. Bencana bukanlah hal yang dapat ditolak keberadaannya, tetapi manusia harusnya mampu melakukan pendugaan atas kemungkinan terjadinya bencana sehingga dapat meminimalisasi dampak yang dapat ditimbulkannya. Suprpto (2011) menyatakan bahwa banjir merupakan bencana paling sering terjadi di Indonesia. Selama 2002-2010 telah terjadi 3.479 kali kejadian banjir di Indonesia.

Salah satu upaya untuk menghindari akibat yang ditimbulkan bencana banjir adalah dengan membangun sistem peringatan dini bencana banjir. Menurut Action contre la Faim – Indonesia Mission (2010), Sistem Peringatan

Dini merupakan sebuah tatanan penyampaian informasi hasil prediksi terhadap sebuah ancaman kepada masyarakat sebelum terjadinya sebuah peristiwa yang dapat menimbulkan risiko yang bertujuan untuk memberikan peringatan agar penerima informasi dapat segera siap siaga dan bertindak sesuai kondisi, situasi dan waktu yang tepat. Prinsip utama dalam Sistem Pendeteksian Dini adalah memberikan informasi cepat, akurat, tepat sasaran, mudah diterima, mudah dipahami, terpercaya dan berkelanjutan.

Pada umumnya, FEWS (*Flood Early Warning System*) bekerja dengan cara mengukur ketinggian permukaan air di sungai kemudian mengklasifikasikan tinggi muka air menjadi kondisi low, medium, dan high. Apabila tinggi muka air mencapai kondisi yang ditetapkan, sistem akan memberikan peringatan kepada pihak berwenang. Kelemahan dari sistem ini adalah banjir baru dapat diprediksi apabila permukaan air sungai berada pada ketinggian yang hampir meluap. Hal ini menyebabkan peringatan yang diberikan bersifat mendadak sehingga masyarakat menjadi tidak sempat mempersiapkan diri dan menyelamatkan barang-barangnya dikarenakan waktu yang sangat singkat.

Pada penelitian ini dibangun suatu FEWS (*Flood Early Warning System*) yang ditingkatkan dengan mengkombinasikan masukan data tinggi muka air sungai, curah hujan dan cuaca. FEWS tersebut dapat memonitor kondisi cuaca, curah hujan dan ketinggian muka air sungai dengan menempatkan sensor cuaca dan sensor level ketinggian air di titik tertentu. Seluruh data yang diperoleh sensor akan dikirimkan ke server secara periodik. Sistem tersebut akan mengukur pengaruh hujan yang turun terhadap kenaikan muka air sungai. Sebelum ketinggian air sungai memasuki zona awas, sistem dapat memprediksi apakah kenaikan tersebut akan menyebabkan air sungai akan meluap atau tidak. Sehingga peringatan dapat disampaikan jauh sebelum banjir terjadi.

Secara umum Flood Early Warning System terdiri atas 3 subsistem, yaitu :

1. **Sistem Akuisisi data**, untuk mengumpulkan data cuaca dan muka air sungai secara kontinu.
2. **Sistem Agregasi data**, untuk melakukan pengumpulan dan pengolahan data dan melakukan prediksi banjir sebelum air kiriman datang ke muara sungai dan meluap.
3. **Sistem Visualisasi data**, untuk menampilkan kondisi cuaca dan debit air sungai secara real time dan memberikan peringatan apabila akan terjadi banjir.

Koordinasi dari ketiga subsistem ini akan menghasilkan sebuah FEWS (*Flood Early Warning System*) yang mampu memberikan prediksi dan peringatan sebelum banjir terjadi. Sehingga bisa memberi waktu kepada masyarakat untuk mempersiapkan segala sesuatunya untuk menghadapi banjir.

2. Dasar Teori

2.1. Karakteristik Curah Hujan Daerah Citarum

Wilayah Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu meliputi Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat, Kota Bandung, Kabupaten Subang, Kabupaten Sumedang dan Kabupaten Garut. Daerah Aliran Sungai Citarum bagian hulu terdiri dari Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) besar yaitu Sub DAS Cikapundung, Citarik, Cirasea, Cisangkuy, dan Ciwidey. (Rizki, 2012)

Karakteristik iklim di DAS Citarum Hulu adalah tipe monsun tropis dengan musim kemarau dari bulan Juli sampai September dan musim hujan dari bulan Oktober sampai Juni (Narulita, dkk, 2008). Variasi hujan tahunan rata-rata terendah pada 1986-2004 adalah 1458 mm di tahun 1997 dan tertinggi adalah 2350 mm di tahun 1998. (Tommi, 2011)

Penelitian terhadap kecenderungan hidrometeorologi telah dilakukan di DAS Citarum bagian hulu, Jawa Barat. Penelitian tersebut menggunakan data bulanan hasil observasi curah hujan, evapotranspirasi, kelembaban, dan limpasan dari Januari 1968 hingga Desember 2000. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kecenderungan (rasio *odd*) curah hujan, evapotranspirasi, kelembaban, dan limpasan masing-masing adalah -3,64; 3,88; 4,21; dan -1,11. Penurunan curah hujan dan limpasan terutama disebabkan oleh adanya penurunan pembentukan awan dan hujan sebagai akibat dari perubahan iklim global. Peningkatan evapotranspirasi dan kelembaban udara tersebut disebabkan oleh tingginya pemindahan uap air dari permukaan ke atmosfer melalui baik evaporasi maupun transpirasi. (Ruminta, dkk, 2001)

2.2. Metode Prediksi Curah Hujan Menggunakan ANFIS

Semua mekanisme yang terlibat di dalam proses hidrometeorologi adalah tidak linier, sehingga permodelan dinamikanya tidak mudah. Dalam hal ini walaupun penerapan pendekatan linier (stokastik) sangat umum dalam

mengkaji sistem fisis alamiah yang kompleks, seperti hidrometeorologi, namun perkembangan yang drastis dalam pengetahuan sistem nonlinier dan pertumbuhan yang cepat sejumlah metode untuk menganalisis model temporal sistem nonlinier, telah membawa kemajuan penting dalam perkembangan metodologi analisis hidrometeorologi (Ruminta, 2008). Diantara sejumlah penemuan penting dalam perkembangan metode analisis data deret waktu adalah analisis *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS).

Adaptive Neuro Fuzzy Inferences System (ANFIS) adalah arsitektur yang secara fungsional sama dengan *fuzzy rule base* model Sugeno. Arsitektur ANFIS juga sama dengan jaringan syaraf dengan fungsi radial dengan sedikit batasan tertentu. Bisa dikatakan bahwa ANFIS adalah suatu metode yang mana dalam melakukan penyetelan aturan digunakan yang terjadi pun akan ikut berubah. (Kusumadewi dkk., 2010)

Sebuah *Fuzzy System* tipe Sugeno mempunyai aturan dasar (Suwarman dkk):

- Bila x adalah A1 dan y adalah B1, maka (1)
- Bila x adalah A2 dan y adalah B2, maka (2)

Maka fungsi keanggotaan *fuzzy* adalah A1 ,B2, I = 1,2,be μ_{A1} , μ_{B1}

Dalam penghitungan, pilih hasil untuk T-norm:

Untuk menghitung aturan digunakan persamaan:

$$(\quad) (\quad) \dots\dots\dots (3)$$

Untuk menghitung konsekuensi dan implikasi yang terjadi digunakan persamaan:

$$(\quad) \frac{(\quad) (\quad) (\quad) (\quad)}{(\quad) (\quad)} \dots\dots\dots (4)$$

atau

$$(\quad) \dots\dots\dots (5)$$

Dapat juga dipisahkan dengan fase berdasarkan pendefinisian pertama:

$$\dots\dots\dots (6)$$

Maka f dapat ditulis sebagai :

$$\dots\dots\dots (7)$$

ANFIS pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada 1965, dengan melihat kenyataan bahwa manusia dapat membuat keputusan lebih baik berdasarkan informasi yang bukan numerik dan kurang pasti. Dalam perkembangan berikutnya, diperkenalkan konsep variabel linguistik. Variabel linguistik adalah suatu variabel yang nilainya merupakan kata atau kalimat dan bukan bilangan. Pada implementasi berikutnya, variabel linguistik ini dikombinasikan dengan aturan *IF-THEN*, sehingga konsep ini merupakan awal dari teori *fuzzy* (Suwarman & Permadhi, 2010).

ANFIS merupakan suatu teknik optimasi yang menggabungkan konsep *neural-network* dengan *fuzzy-logic*. *Neural-network* mengenal pola-pola dan menyesuaikan pola terhadap perubahan lingkungan, sedangkan *fuzzy-logic* menggabungkan pengetahuan manusia dan mencari kesimpulan untuk membuat suatu keputusan.

Fuzzy Inference System merupakan proses perhitungannya berdasarkan himpunan *fuzzy*, aturan “jika-maka” dan operator logika *fuzzy*. FIS memetakan input yang diketahui ke output dengan menggunakan logika *fuzzy*.

Ada beberapa macam FIS, antara lain Model *Fuzzy* Tsukamoto, Model *Fuzzy* Sugeno dan Model *Fuzzy* Mamdani. FIS yang digunakan dalam penelitian ini adalah Model *Fuzzy* Sugeno. Bentuk peraturan Model *Fuzzy* Sugeno adalah :

“jika x adalah A dan y adalah B , maka $z=f(x,y)$ ”

Dimana A dan B himpunan *fuzzy* dalam *antecedent* dan $z=f(x,y)$ adalah fungsi *consequent*. Pada umumnya $f(x,y)$ adalah polinomial input variabel x dan y . Tetapi dapat juga sembarang fungsi selama fungsi yang dispesifikasi oleh *antecedent*. Jika $f(x,y)$ adalah polinomial tingkat pertama, maka hasil *fuzzy inference systems* disebut “model *fuzzy* Sugeno tingkat pertama”. Type Sugeno ini digunakan dalam ANFIS.

ANFIS Sugeno adalah tipe model perhitungan yang mengadopsi konsep jaringan neural biologis. Perhitungan Anfis didasarkan pada proses pembelajaran. Jejaring model ANFIS Sugeno terbentuk dari sejumlah simpul antar penghubung yang tersusun ke dalam lima lapisan yaitu satu lapisan input, tiga lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan satu lapisan output. Pada lapisan input tidak dilakukan perhitungan tetapi digunakan untuk mendistribusikan input ke dalam jejaring ANFIS. Dalam jejaring tersebut, informasi disampaikan melalui lapisan input kemudian masuk ke lapisan tersembunyi dan akhirnya sampai ke lapisan output.

ANFIS merupakan suatu teknik optimasi yang menggabungkan Neural Network dan Fuzzy Logic. Neural Network mengenal pola dan menyesuaikan terhadap perubahan pola. Sedangkan *fuzzy logic* menggabungkan pengetahuan manusia dan menarik kesimpulan untuk membuat suatu keputusan. ANFIS terbukti dapat memprediksi time-series yang bersifat chaotic (Jang, 1997).

Penerapan ANFIS untuk berbagai aspek permodelan hidrometeorologis telah banyak dilakukan dalam sejumlah kajian (Mashudi, 2001). Seperti telah diketahui, ANFIS sangat cocok untuk mengkaji permodelan sistem nonlinier. (Zhu, 2000) dan (Shapiro, 2002) telah menunjukkan bahwa ANFIS merupakan metode pemodelan terbaik untuk menganalisis data numerik, karena dalam proses training didasarkan minimalisasi nilai kesalan atau *Root Mean Square Error* (RMSE) dari outputnya. Menurut penelitian (Riyanto, 2000) ANFIS dapat memprediksi data deret waktu lebih akurat dibanding metode lainnya, seperti Black Propagation Multiplayer Preception (BPMP) maupun autoregresi. Metode perhitungan ANFIS memberikan keuntungan dalam permodelan sistem fisis ilmiah, terutama ketika hubungan fisis yang mendasarinya tidak dapat diketahui dengan pasti (Nayak, 2004).

2.3. Prediksi Curah Hujan dan Banjir

Studi yang telah dilakukan di daerah aliran Sungai Citarum adalah peramalan kebutuhan air bagi pembangkit listrik di Waduk Saguling, Cirata, dan Jatiluhur dengan menggunakan jaringan *Neural* (Mashudi, 2001). Hasil studinya menunjukkan bahwa jaringan *neural* cukup potensial untuk dipergunakan dalam memprediksi kebutuhan air bagi pembangkit listrik di ketiga waduk.

Hasil korelasi antara hasil prediksi dan data observasi memperkuat bahwa ANFIS dapat digunakan untuk memprediksi curah hujan. Dan dari hasil analisis regresi terlihat juga bahwa *standard error* di semua stasiun berada di bawah rata-rata. Hal ini memperlihatkan bahwa ANFIS dapat mengikuti pola curah hujan di Pulau Jawa Bagian Barat, dan dapat memprediksi curah hujan 10 bulan ke depan (Suwarman & Permadhi, 2010).

Prediksi dengan menggunakan ANFIS dapat digunakan untuk waktu cuaca jangka pendek pola sebaran temperatur dan inframerah yang mencerminkan keadaan cuaca pada 2-6 jam kedepan (Wijaya, 2003). Studi lain menunjukkan prediksi debit citarum dengan metode ANFIS menggunakan data pentad (Ruminta, 2012) berdasarkan inputan selang waktu $t-1$, dapat meramalkan data observasi dengan akurat, model ANFIS sangat potensial untuk memprediksi debit sungai citarum.

3. Pembahasan

3.1. Data

Dalam penelitian ini digunakan data curah hujan harian di 4 stasiun di daerah Citarum Hulu, yaitu Stasiun Cikapundung, Stasiun Cisangkuy, Stasiun Cemara Bandung, Stasiun Ujung Berung, Dayeuh Kolot dan data muka air sungai DAS Citarum daerah dayeuh kolot dari tahun 2004-2013. Untuk verifikasi hasil model ANFIS digunakan data tahun 2014 di masing-masing stasiun.

Hasil ramalan curah hujan digunakan untuk memprediksi muka air daerah Baleendah di tahun 2015. Data observasi didapatkan dari Puslitbang SDA Bandung. Data harian observasi diubah menjadi data pentad dan data bulanan digunakan sebagai inputan data curah hujan dan debit.

3.2. Karakteristik Iklim Daerah Citarum

3.2.1 Komposit Bulanan Curah Hujan

Melihat Karakteristik iklim daerah Citarum digunakan *composite* data untuk melihat pola curah hujan selama periode 10 tahun di 4 stasiun. Data curah hujan bulanan dirata-ratakan kemudian dibandingkan dengan curah hujan rata-rata di masing-masing stasiun. Sehingga terlihat pola curah hujan dari 4 stasiun yang memiliki pola yang sama untuk memprediksi curah hujan dan muka air.

3.2.2 Cumulative Distribution Function (CDF)

Cumulative Distribution Function (CDF) dilakukan untuk menghitung probabilitas dari kejadian. Jika F adalah CDF dan x dan y adalah hasil, maka

$$F(x) = P(Y \leq x)$$

$$F(y) = P(Y \leq y)$$

$$F(x) - F(y) = P(y < Y \leq x)$$

Perhitungan CDF dilakukan berdasarkan hubungan dengan *Parametric Distribution Function* (PDF) (Zwillinger, 2000). Untuk data yang diskrit, dilakukan perhitungan dengan persamaan

$$F(x) = \sum_{y \leq x} f(y)$$

Sedangkan untuk data yang bentuknya kontinu, digunakan persamaan

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(y) dy$$

3.2.3 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

ANFIS merupakan suatu teknik optimasi yang menggabungkan konsep *neural-network* dengan *fuzzy-logic*. *Neural-network* mengenal pola-pola dan menyesuaikan pola terhadap perubahan lingkungan, sedangkan *fuzzy logic* menggabungkan pengetahuan manusia dan mencari kesimpulan untuk membuat suatu keputusan.

Aplikasi ANFIS terhadap data deret waktu komponen hidrometeorologi terdiri dari tiga tahap. 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. Pada tahap training input digunakan oleh sistem ANFIS untuk menghasilkan output yang kemudian dibandingkan dengan data hasil observasi. Training ANFIS yang paling baik diperoleh jika RMSE (*Root Mean Square Error*) mempunyai nilai paling kecil dan nilai korelasi yang mendekati nilai 1. Ketika tahap training telah selesai, ANFIS digunakan untuk testing data, melihat nilai *error* dari hasil training data yang telah dilakukan, kemudian tahap terakhir *checking* data, untuk melihat hubungan nilai *error* dari *training* data. Dari hubungan ini dapat dilihat nilai *epoch* yang tepat untuk training data.

3.2.4 Prediksi Curah Hujan

Dalam penelitian ini dilakukan prediksi curah hujan di masing-masing stasiun (Ciwidey, Ciparay, Bandung, dan Ujung Berung), menggunakan input data berupa data pentad dan data bulanan, dengan menggunakan 5

skenario percobaan yaitu panjang input data *training* yang berbeda-beda setiap skenario yang dilakukan. Data inputan masing-masing stasiun dari tahun 2004-2013 untuk training yang terdiri dari 3 inputan data. Dari penelitian ini akan dilihat perbandingan dengan menggunakan prediksi dengan inputan data pentad dan data bulanan.

3.2.4.1 Data Pentad

Dalam penelitian ini digunakan 5 skenario percobaan *training* ANFIS dengan data pentad :

1. Panjang data 362, menggunakan data dari tahun 2008-2013;
2. Panjang data 435, menggunakan data dari tahun 2007-2013;
3. Panjang data 500, menggunakan data dari tahun 2006-2013;
4. Panjang data 580, menggunakan data dari tahun 2005-2013;
5. Panjang data 650, menggunakan data dari tahun 2004-2013;

Prediksi curah hujan dengan ANFIS, dalam penelitian ini terdiri dari 4 kolom matrik data *training*; 3 input data dan 1 data output. Inputan data pentad terdiri dari pentad sebelumnya dengan selang per pentad (pentad-1, pentad-2, pentad-3).

3.2.4.2 Data Bulanan

Dalam penelitian ini digunakan 5 skenario percobaan *training* ANFIS dengan data bulanan :

1. Panjang data 72, menggunakan data dari tahun 2008-2013;
2. Panjang data 84, menggunakan data dari tahun 2007-2013;
3. Panjang data 96, menggunakan data dari tahun 2006-2013;
4. Panjang data 108, menggunakan data dari tahun 2005-2013;
5. Panjang data 120, menggunakan data dari tahun 2004-2013;

Prediksi curah hujan dengan ANFIS, dalam penelitian ini terdiri dari 4 kolom matrik data *training*; 3 input data dan 1 data output. Inputan data bulanan terdiri dari bulan sebelumnya dengan selang per bulan (bulan-1, bulan-2, bulan-3).

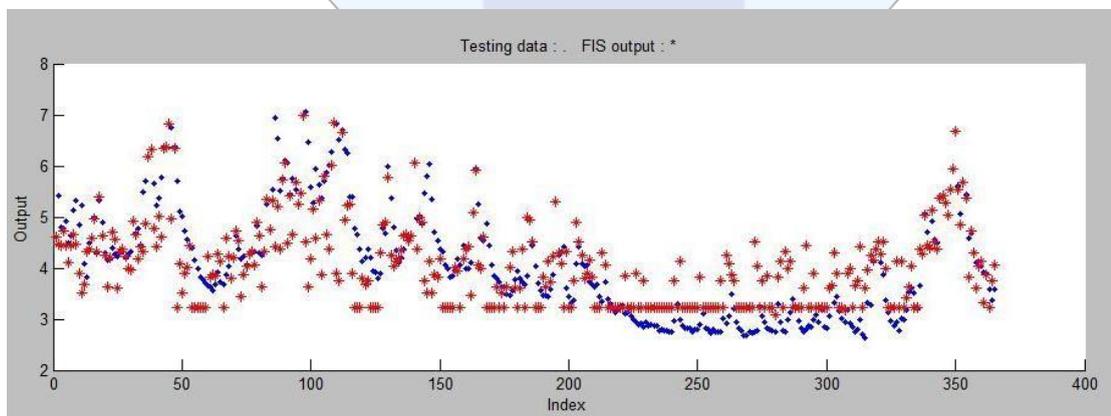
3.2.5 Verifikasi Hasil Prediksi Curah Hujan

Hasil prediksi curah hujan pentad dibandingkan dengan curah hujan observasi.

3.2.6 Prediksi Banjir

Setelah dilakukan training prediksi banjir dengan masukan data curah hujan dari 3 stasiun (Cikapundung, Cisangkuy, dan Ujung Berung) kemudian dilakukan prediksi tinggi muka air di daerah dayeuh kolot, dengan masukan data testing tahun 2013 dari 3 stasiun. Data curah hujan di 3 stasiun digunakan sebagai masukan prediksi tinggi muka air di daerah dayeuh kolot.

Pada pengujian ini digunakan data training berupa data curah hujan harian, dengan data curah hujan tahun 2013 sebagai data testing.



Gambar 1. Pengujian Desember 2013

Titik Biru merupakan data testing, sedangkan titik merah merupakan data keluaran prediksi. Pada pengujian kali ini, dari 365 sampel data, diperoleh nilai *Average testing error* sebesar 0.72678. Nilai tersebut mengartikan dari 365 sampel data diperoleh nilai kebenaran sebanyak 265 sampel. Maka diperoleh nilai akurasi sebagai berikut.

$$\frac{\sum}{\sum}$$

4. Kesimpulan

Hasil penelitian untuk memprediksi curah hujan dan banjir tersebut dapat memberikan beberapa kesimpulan penting sebagai berikut.

- Model dinamika temporal hidrometeorologi dapat diidentifikasi secara akurat oleh ANFIS. Meskipun di satu kejadian ada peluang error yang cukup besar dikarenakan sumber data curah hujan yang dijadikan masukan belum mencakup seluruh anak sungai yang mengalir di sungai Citarum Dayeuh Kolot.
- Model temporal hasil identifikasi ANFIS layak dipergunakan untuk memprediksi curah hujan dan tinggi muka air sungai, karena hasil prediksi dapat memberikan nilai kesalahan (RMSE) yang cukup kecil sebesar 0,0954 dan nilai akurasi 97% serta hasil prediksi akumulasi data dalam satu tahun sebesar 72.60274%. Oleh karena itu hasil penelitian dapat menjadi pertimbangan dalam sistem prediksi banjir.

Daftar Pustaka :

- Cita – citarum*. 2009. Diambil kembali dari Citarum : <http://www.citarum.org>.
- Jang, J. 1993. ANFIS : Adaptive Neuro Fuzzy Inference System.
- Dharma, Dody. 2010. "Pembangunan Application Server dan API untuk Sistem Surveilans Malaria Berbasis Remote Procedure Calls". Bandung : ITB.
- Fauziah, Syifa. 2013. "Analisis Karakteristik dan Intensitas Hujan Kota Surakarta". Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Albar, Edrus. 2010. "Sistem Monitoring Remote Station EWS pada Daerah Aliran Sungai". Surabaya : ITS.
- Arifudin, Niam Rizka. 2014. "Stasiun Cuaca dan Sistem Informasi Cuaca untuk Nelayan". Bandung : ITB.
- Entin. 2008. "Kecerdasan Buatan". Surabaya : ITS.
- Chang, Yu Chuan. 2008. Fuzzy Interpolative Reasoning for Sparse Fuzzy-Rule-Based Systems Based on the Areas of Fuzzy Sets. IEEE
- Lee, Keum Chang. 2008. Fuzzy Reasoning Method Based on Voting Techniques for Building Fuzzy Systems. Hongkong : IEEE.
- C, M Cherian. 2010. Design and Implementation of a Fuzzy Based Tsunami Warning System. India : Sri Venkateswara Collage of Engineering.
- Precipitation: hail, rain, freezing rain, sleet and snow - University of Illinois Dr. Chowdhury's Guide to Planet Earth. The Water Cycle. a b Sosrodarsono S, Takeda K. 1976. Hidrologi Untuk Pengairan. Jakarta: Pradnya Paramita.