

**MODEL PERAMALAN INFLOW WADUK PLTA KOTO PANJANG
MENGUNAKAN PENDEKATAN ADAPTIVE NEURO FUZZY
INFERENCE SYSTEM**

**¹Ria Utami, ²Imam Suprayogi, ²Yohanna Lilis Handayani
¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km. 12,5 Sp. Baru Panam, Pekanbaru 28293
e-mail : riautami.t.sipil09@gmail.com, website: <http://ce.unri.ac.id>**

ABSTRAK

Many studies has shown that the ANFIS model has good prediction performance results for forecasting hydrological phenomena such as reservoir inflow. The existence of the success, it is necessary to research the reliability of the ANFIS models when applied to existing reservoirs in Riau Province, namely Koto Panjang Hydropower Reservoir.

The results of the ANFIS models in the development phase of this study indicate that the scheme 4 (4 inputs) with the ROI value of 0.02 is the best scheme so that the scheme is used to build the model of ANFIS. The cross validation on ANFIS models provide the best performance prediction with correlation coefficient (R) between the prediction values and the observational value is 0.90.

Keywords: Inflow, Koto Panjang Hydropower Reservoir, ANFIS, Cross Validation .

PENDAHULUAN

Prediksi inflow adalah sebuah kunci dalam perencanaan komponen, desain, operasi, pengembangan dan pemeliharaan sumber daya air yang tersedia. Model prediksi inflow memiliki banyak manfaat dalam aplikasi SDA seperti pengontrol banjir, mencegah kekeringan dan mengoptimalkan operasi waduk untuk keberlanjutan sistem PLTA (Magar dkk., 2011).

Banyak penelitian telah membuktikan bahwa model ANFIS memiliki performa hasil ramalan yang baik untuk meramalkan fenomena hidrologi berupa inflow waduk salah satunya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Lin dkk., (2005)

Lin dkk., (2005) telah berhasil mengembangkan model ANFIS untuk meramalkan debit jangka panjang di PLTA Manwan. PLTA ini menggunakan Sungai Lancangjiang yang berawal dari dataran tinggi Qinghai-Tibet dan berakhir di Laut Cina Selatan sebagai sumber daya airnya. Hasil penelitian Lin menunjukkan bahwa

model ANFIS memberikan kinerja prediksi yang baik dengan korelasi antara nilai prediksi dan pengamatan adalah 0,89 dan 0,92.

PLTA Koto Panjang merupakan salah satu pemasok listrik utama di Provinsi Riau yang mampu menghasilkan daya listrik sebesar 114 MW. Namun karena adanya kerusakan pada *catchment area* PLTA Koto Panjang mengakibatkan pada musim kemarau terjadi penurunan elevasi yang drastis sehingga turbin tidak bisa menghasilkan daya listrik. Untuk mengoptimalkan produksi listrik, maka harus dilakukan penambahan inflow waduk melalui program Teknologi Modifikasi Cuaca atau yang disebut TMC (Siregar, 2013). Selama ini pelaksanaan TMC selalu dilakukan pada saat akan memasuki musim kemarau tanpa adanya ketetapan waktu pelaksanaannya dan TMC selalu dilakukan pada saat turbin sudah tidak bisa menghasilkan daya listrik. Hal ini terjadi dikarenakan tidak adanya perkiraan jumlah inflow waduk berikutnya yang akan tersedia pada waduk PLTA untuk beroperasi. Pelaksanaan program ini juga membutuhkan biaya yang besar. Oleh karena itu, diperlukan suatu model yang dapat memprediksi besarnya inflow rata-rata harian pada waduk ini agar TMC bisa dilakukan pada saat yang tepat.

Merujuk pada keberhasilan beberapa peneliti dalam menggunakan ANFIS sebagai model peramalan inflow waduk, maka dirasa perlu untuk menguji keandalan model ANFIS untuk memprediksi inflow Waduk PLTA Koto Panjang mengingat pentingnya informasi adanya inflow yang cukup pada waduk ini setiap harinya agar PLTA Koto Panjang bisa terus beroperasi.

TINJAUAN PUSTAKA

ANFIS merupakan gabungan antara logika *fuzzy* dengan jaringan saraf tiruan. Menurut Jang, dkk (1997), misalkan ada 2 *input* x , y dan satu *output* z . Ada 2 aturan pada basis aturan ANFIS sbb.

Aturan 1 : if x is A_1 and y is B_1

$$\text{then } f_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

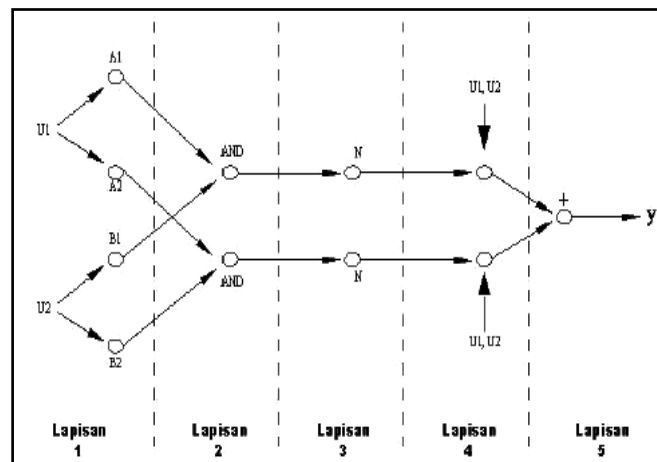
Aturan 2 : if x is A_2 and y is B_2

$$\text{then } f_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

Jika w predikat untuk kedua aturan adalah w_1 dan w_2 , maka dapat dihitung rata-rata terbobot.

$$f = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \quad (1)$$

Selanjutnya arsitektur jaringan ANFIS disajikan seperti pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Struktur Jaringan ANFIS

Sumber: Jang dkk, 1997

Arsitektur jaringan ANFIS menurut Jang dkk., (1997) terdiri dari lapisan-lapisan sebagai berikut.

Lapis 1. Tiap-tiap *neuron* i pada lapisan pertama adaptif terhadap parameter suatu fungsi aktivasi. Output dari tiap *neuron* berupa derajat keanggotaan yang diberikan oleh fungsi keanggotaan input, yaitu $\mu_{A_1}[u_1]$, $\mu_{A_2}[u_2]$ atau $\mu_{B_1}[u_1]$ atau $\mu_{B_2}[u_2]$. Sebagai contoh, misalkan fungsi keanggotaan diberikan sebagai berikut:

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

dimana (a, b, c) adalah parameter-parameter. Jika nilai parameter-parameter ini berubah, maka bentuk kurva yang terjadipun akan ikut berubah. Parameter-parameter pada lapisan itu biasanya dikenal dengan nama *premise parameter*.

- Lapis 2. Tiap-tiap *node* pada *layer* akan mengalirkan sinyal yang datang dan mengeluarkan hasil perkalian tersebut sebagai output. Sehingga *node function*-nya dirumuskan:

$$\mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), i = 1,2 \quad (3)$$

Masing-masing output *node* merepresentasikan *firing strength* suatu *rule*. *Node function* pada *layer* ini dapat menggunakan operator *T-norm* untuk melakukan operasi AND.

- Lapis 3. Tiap-tiap *node* pada *layer* ini merupakan *node* lingkaran berlabel N. *Node i* menghitung rasio *firing strength rule i* dengan jumlah semua *firing strength rule*.

$$w_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1,2 \quad (4)$$

Hasil ini dikenal dengan nama *normalized firing strength*.

- Lapis 4. Tiap-tiap *node* ke- *i* pada *layer* ini merupakan *node* kotak dengan *node function*:

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (5)$$

variabel w_i adalah *output layer 3*, dan (p_i, q_i, r_i) adalah himpunan parameter. Parameter-parameter pada *layer* disebut dengan parameter konsekuen.

- Lapis 5. Tiap-tiap *node* pada *layer* merupakan *node* lingkaran yang berlabel S yang menghitung total output sebagai jumlah dari semua sinyal yang masuk:

$$O_i^5 \text{ Overall output} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (6)$$

Menurut Arun Goel (2011), ada 2 kriteria tingkat kesalahan, yaitu:

1. Correlation Coefficient (R)

Correlation Coefficient (R) merupakan perbandingan antara hasil prediksi dengan nilai yang sebenarnya. Nilai R dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$R = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad (7)$$

dengan:

$$x = X - \bar{X}, y = Y - \bar{Y}$$

X = Nilai pengamatan

X' = Rata-rata nilai X

Y = Nilai Prediksi

Y' = Rata-rata nilai Y

Menurut Suwarno (1995), koefisien korelasi adalah pengukuran statistik kovarian atau asosiasi antara dua variabel. Untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel dibuat kriteria sebagai berikut.

$R = 0$: Tidak ada korelasi antara dua variabel,

$0 < R \leq 0,25$: Korelasi sangat lemah,

$0,25 < R \leq 0,50$: Korelasi cukup,

$0,50 < R \leq 0,75$: Korelasi kuat,

$0,75 < R \leq 0,99$: Korelasi sangat kuat, dan

$R = 1,00$: Korelasi sempurna.

2. Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. Nilai RMSE dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

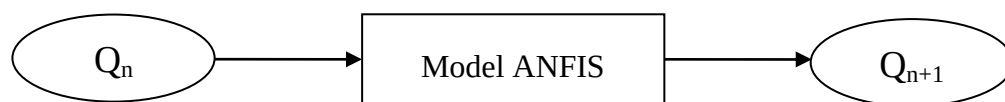
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X - Y)^2}{n}} \quad (8)$$

dengan:

n = Jumlah data.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian adalah PLTA Koto Panjang yang terletak di Desa Merangin Kecamatan XIII Koto Kampar, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Secara sederhana, skema penelitian ini disajikan seperti pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Sistem Prediksi Inflow Menggunakan ANFIS

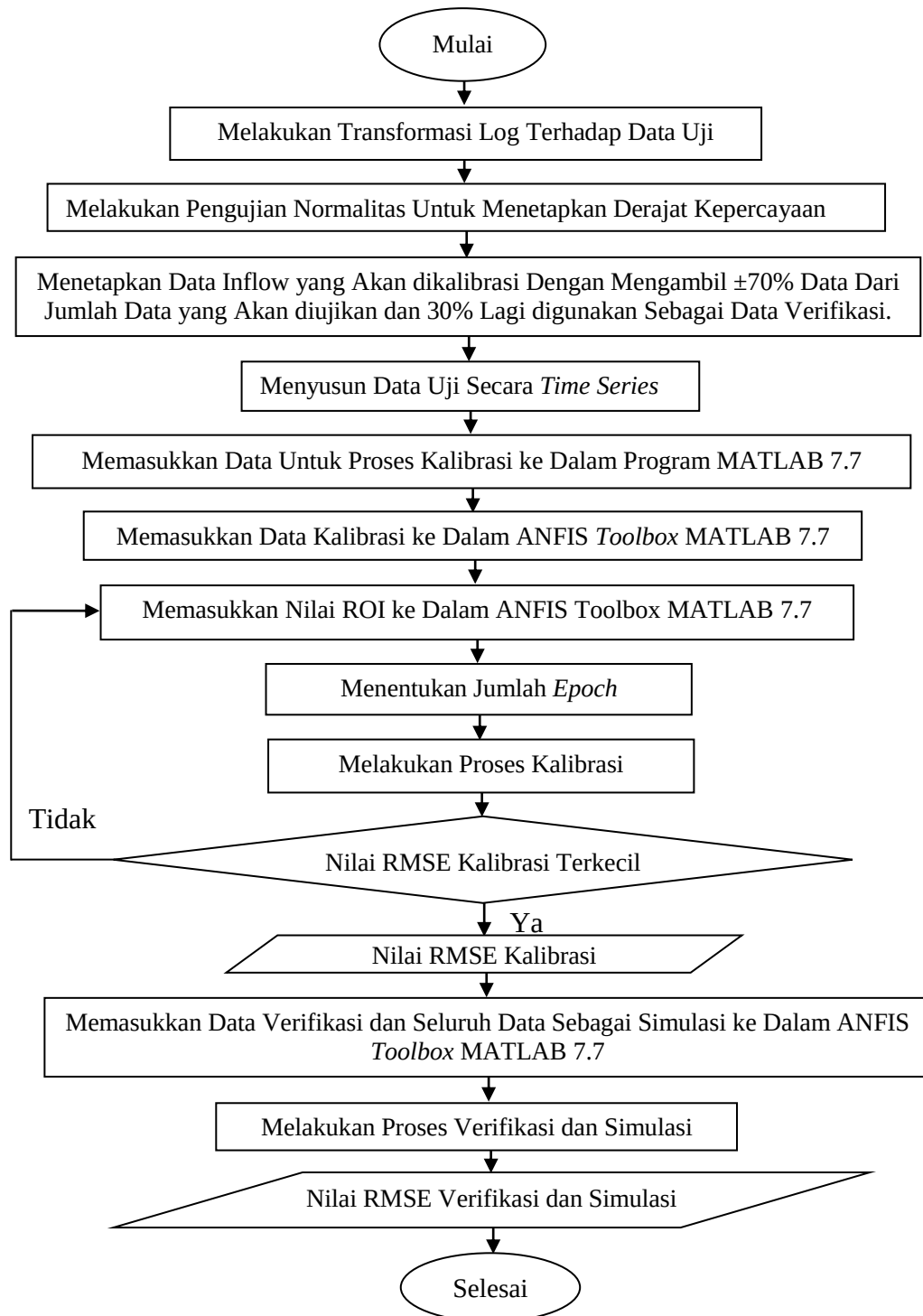
Dari gambar 2 tersebut, Q_n sebagai data input merupakan inflow yang tersedia pada Waduk PLTA Koto Panjang pada hari ke- n dan Q_{n+1} sebagai data target merupakan inflow yang tersedia pada hari ke- $n+1$. Dengan menggunakan *toolbox* ANFIS yang terdapat pada *software* MATLAB, dibuatlah model untuk mensimulasikan sistem di atas dengan Q_n sebagai data input dan Q_{n+1} sebagai data target sehingga dihasilkan suatu model ANFIS. Adapun proses-proses yang dilakukan dalam membangun model ANFIS tersebut yaitu pelatihan/kalibrasi (*training*), pengujian/verifikasi (*testing*), simulasi (*simulation*) dan validasi (*validation*). Proses prediksi dilakukan dengan menggunakan model ANFIS yang dibangun yang merupakan hasil validasi. Kemudian inflow hasil prediksi diplot ke dalam *excel* dalam bentuk grafik perbandingan antara inflow hasil prediksi dengan pengamatan. Inflow Waduk Koto Panjang diperoleh dari data eksisting yang tersedia dari data pengusahaan unit PLTA Koto Panjang.

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data sekunder berupa data inflow Waduk PLTA Koto Panjang tahun 2007 s/d 2012 yang dapat dilihat pada Lampiran A. Adapun distribusi data tersebut yaitu:

1. pada tahap pengembangan model, 70% dari total data inflow tahun 2007 s/d 2010 digunakan sebagai data pelatihan/kalibrasi (*training*) dan 30% lagi digunakan sebagai data pengujian/verifikasi (*testing*). Kemudian seluruh data tahun 2007 s/d 2010 digunakan sebagai data simulasi (*simulation*) untuk melihat hasil proses kalibrasi dan verifikasi tahap pengembangan model secara keseluruhan.
2. seluruh data tahun 2007-2010 juga digunakan sebagai data validasi (*validation*) yang aturan modelnya akan diterapkan untuk membangun model ANFIS menggunakan data tahun 2011.
3. data tahun 2012 merupakan data yang akan diprediksi menggunakan aturan model ANFIS yang telah dibangun menggunakan data inflow tahun 2011.

Bagan Alir Penelitian

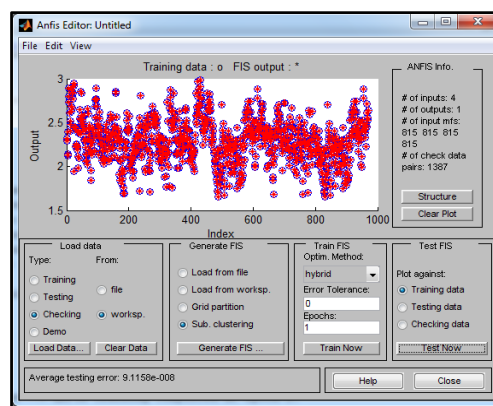
Proses-proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini disajikan seperti pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian Model Prediksi Inflow Menggunakan Pendekatan ANFIS.

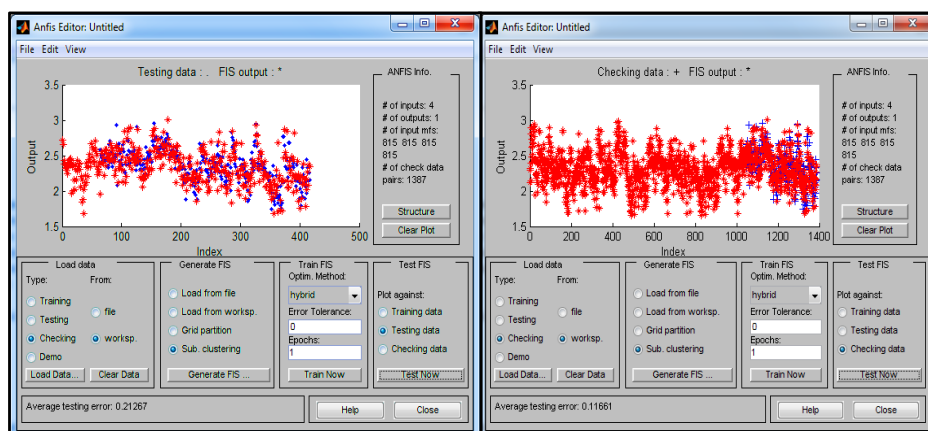
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan proses uji coba, susunan data inflow secara *time series* dengan menggunakan skema 4 (4 input) menghasilkan nilai RMSE terkecil dan nilai korelasi antara inflow prediksi dengan pengamatan yang paling baik pada proses verifikasi. Oleh karena itu, susunan data inflow menggunakan skema 4 ditetapkan sebagai skema terbaik dan akan digunakan untuk mengembangkan dan membangun model. Proses kalibrasi pada tahap pengembangan model ANFIS menggunakan ANFIS *toolbox* MATLAB 7.7 disajikan seperti pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Proses Kalibrasi Tahap Pengembangan Model Menggunakan ANFIS *Toolbox* MATLAB

Dari hasil proses kalibrasi tahap pengembangan model yang telah dilakukan, didapatkan nilai parameter ROI 0,02 dan jumlah *epoch* 1 menghasilkan nilai RMSE kalibrasi terkecil yaitu $7,7 \times 10^{-5}$ dan nilai korelasi sempurna (1). Selanjutnya pada tahap ini dilakukan proses verifikasi dan simulasi menggunakan ANFIS *toolbox* MATLAB 7.7. Gambaran proses ini disajikan seperti pada Gambar 5 di bawah ini.



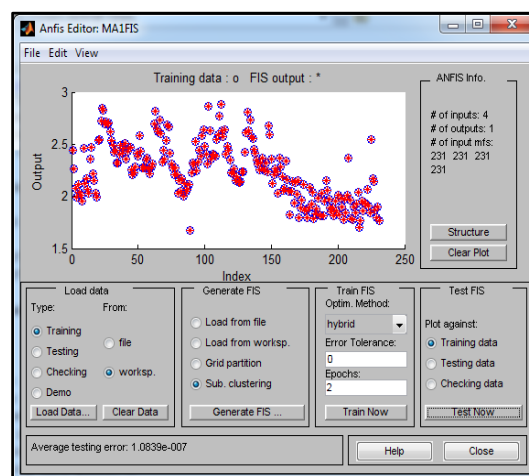
Gambar 5. Proses Verifikasi dan Simulasi Tahap Pengembangan Model Menggunakan ANFIS *Toolbox* MATLAB

Dari hasil proses verifikasi tahap pengembangan model yang telah dilakukan, didapatkan hasil perhitungan nilai korelasi (R) 0,53 dan nilai RMSE 137,8. Sedangkan pada proses simulasi tahap pengembangan model yang telah dilakukan, didapatkan hasil perhitungan akhir nilai korelasi (R) 0,86 dan nilai RMSE 76,82.

Secara keseluruhan, performa hasil ramalan model ANFIS tahap pengembangan model telah menghasilkan nilai korelasi yang sangat kuat antara inflow prediksi dengan inflow pengamatan. Oleh karena itu, model ANFIS pada tahap pengembangan model dapat digunakan sebagai validasi untuk membangun model ANFIS tahun 2011 yang berfungsi untuk meramalkan inflow Waduk PLTA Koto Panjang tahun 2012.

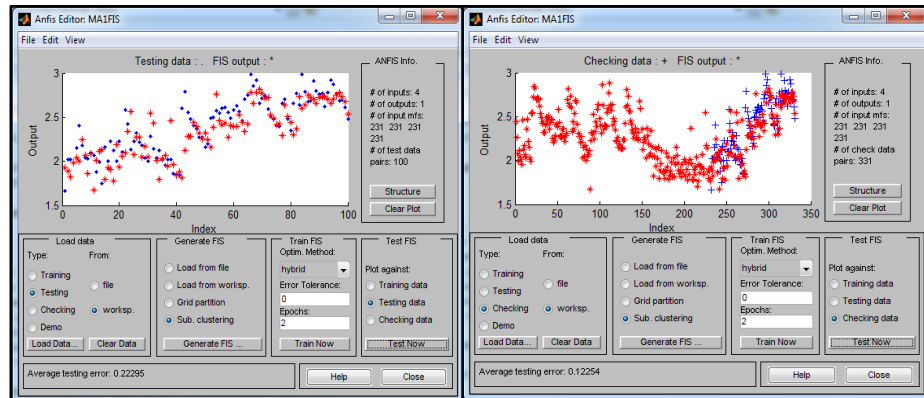
Model ANFIS yang akan dibangun dilakukan dengan 2 tipe yaitu tanpa *cross validation* (model 1) dan dengan *cross validation* (model 2). Dari ke dua model ini akan dicari model mana yang dapat menghasilkan nilai prediksi yang paling baik.

Proses kalibrasi model ANFIS 1 menggunakan ANFIS *toolbox* MATLAB 7.7 disajikan seperti pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Proses Kalibrasi Tahap Membangun Model ANFIS 1 Menggunakan ANFIS *Toolbox* MATLAB

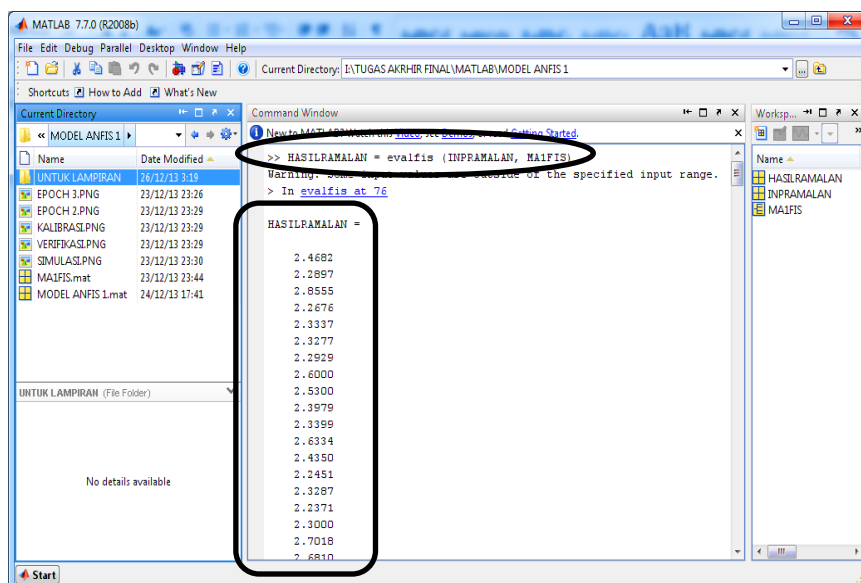
Dari hasil proses kalibrasi model ANFIS 1 yang dibangun, diketahui bahwa 2 *epoch* menghasilkan RMSE kalibrasi terkecil yaitu $6,22 \times 10^{-5}$ dan nilai korelasi sempurna (1). Selanjutnya dilakukan proses verifikasi dan simulasi model ANFIS 1 menggunakan ANFIS *toolbox* MATLAB 7.7. Proses ini disajikan seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses Verifikasi dan Simulasi Tahap Membangun Model ANFIS 1 Menggunakan ANFIS *Toolbox* MATLAB

Dari hasil proses verifikasi model ANFIS 1 yang telah dilakukan, didapatkan hasil perhitungan nilai Korelasi (R) 0,75 dan nilai RMSE 154,48. Sedangkan dari hasil proses simulasi model ANFIS 1 yang telah dilakukan, didapatkan hasil perhitungan akhir nilai korelasi (R) 0,88 dan nilai RMSE 84,91.

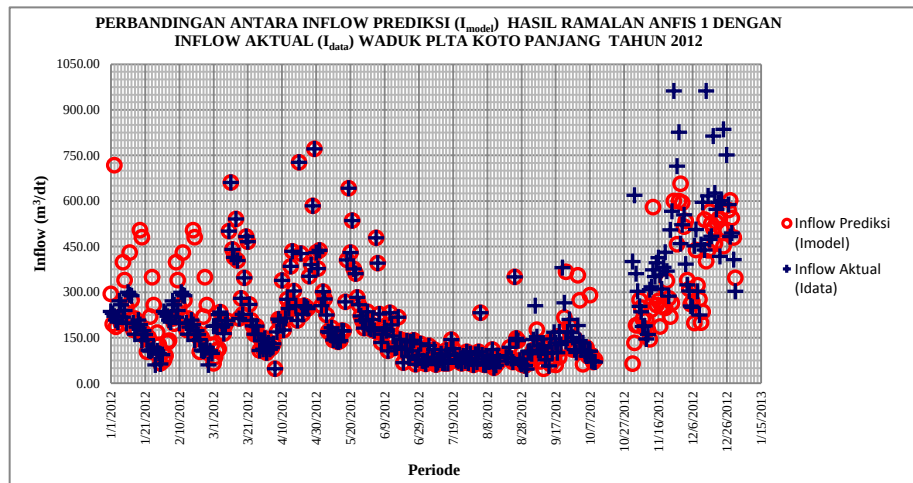
Model ANFIS 1 yang telah dibangun disimpan dalam Format FIS (*Fuzzy Inference System*) dengan nama MA1FIS, kemudian aturan ini akan digunakan untuk mengevaluasi setiap input data inflow tahun 2012 yang akan dimasukkan sehingga terbentuk suatu prediksi inflow Waduk PLTA Koto Panjang. Proses prediksi ANFIS yang dilakukan dengan bantuan Program MATLAB 7.7 disajikan seperti pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Hasil Prediksi Inflow Waduk PLTA Koto Panjang Tahun 2012 Menggunakan Aturan Model ANFIS 1

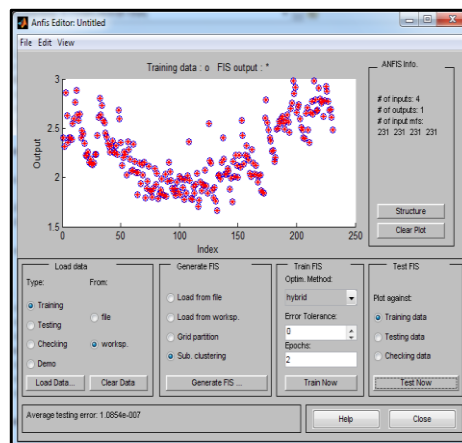
Dari hasil prediksi inflow Waduk PLTA Koto Panjang menggunakan aturan ANFIS 1, didapatkan hasil perhitungan nilai Korelasi (R) 0,81 dan nilai RMSE 102

Perbandingan inflow prediksi (I_{model}) model ANFIS 1 dengan inflow pengamatan/aktual (I_{data}) Waduk PLTA Koto Panjang tahun 2012 disajikan seperti pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Perbandingan Inflow Prediksi (I_{model}) ANFIS 1 dengan Inflow Pengamatan/Aktual (I_{data}) Waduk PLTA Koto Panjang Tahun 2012

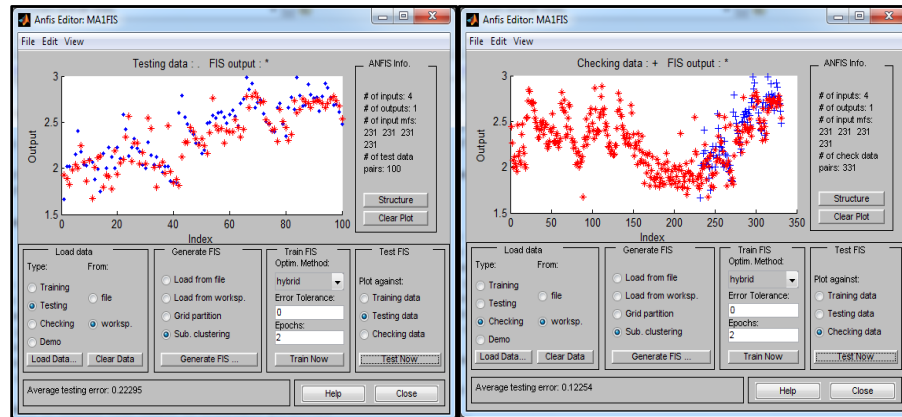
Tahap selanjutnya adalah membangun model ANFIS yang ke dua yaitu model ANFIS 2. Proses kalibrasi model ANFIS 2 menggunakan ANFIS *toolbox* MATLAB 7.7 disajikan seperti pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Proses Kalibrasi Tahap Membangun Model ANFIS 2 Menggunakan ANFIS *Toolbox* MATLAB

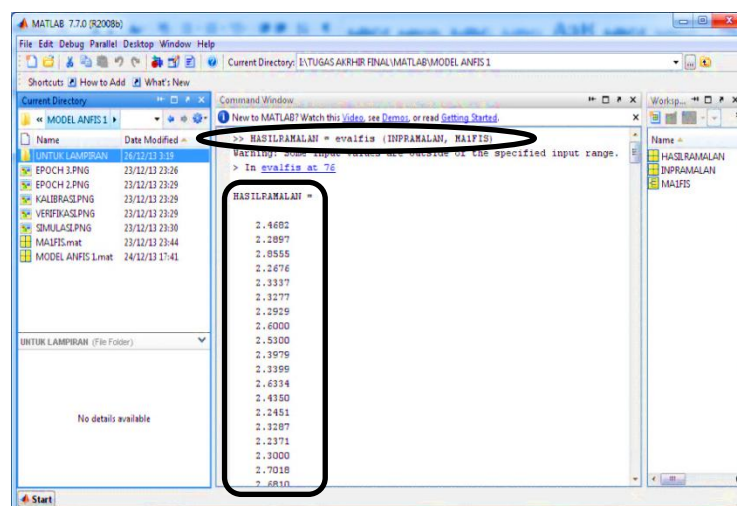
Dari hasil proses kalibrasi model ANFIS 2 yang dibangun, penggunaan 2 *epoch* dapat menghasilkan nilai RMSE terkecil yaitu $7,14 \times 10^{-5}$ dan nilai Korelasi (R) sempurna (1).

Proses verifikasi dan simulasi model ANFIS 2 yang dibangun menggunakan ANFIS *toolbox* MATLAB 7.7 disajikan seperti pada Gambar 11 di bawah ini.



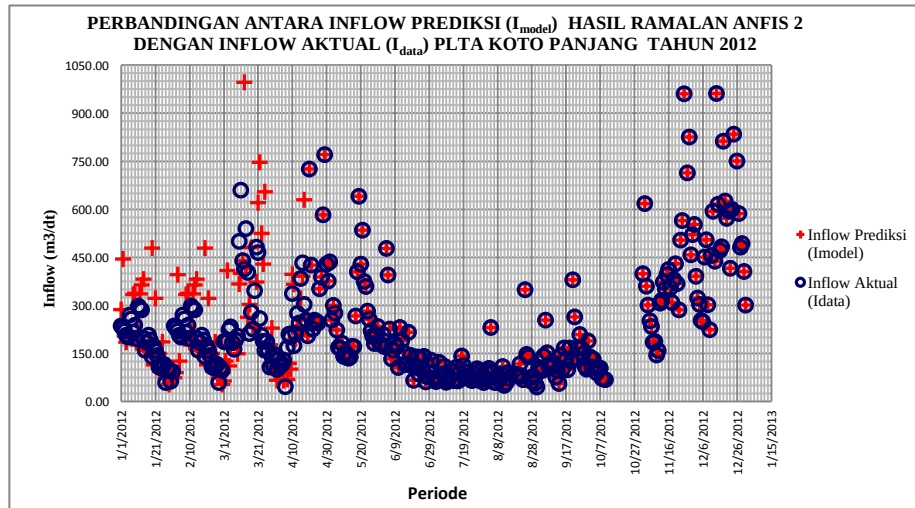
Gambar 11. Proses Verifikasi dan Simulasi Tahap Membangun Model ANFIS 2 Menggunakan ANFIS *Toolbox* MATLAB

Dari hasil proses verifikasi model ANFIS 2 yang telah dilakukan, didapatkan hasil perhitungan nilai korelasi (R) 0,52 dan nilai RMSE 152,80. Sedangkan dari hasil proses simulasinya didapatkan hasil perhitungan nilai korelasi (R) 0,89 dan nilai RMSE 83,98. Model ANFIS 2 yang telah dibangun disimpan dalam Format FIS dengan nama MA2FIS, kemudian aturan model ini digunakan untuk memprediksi inflow Waduk PLTA Koto Panjang tahun 2012. Proses prediksi ANFIS yang dilakukan dengan bantuan Program MATLAB 7.7 disajikan seperti pada Gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Hasil Prediksi Inflow Waduk PLTA Koto Panjang Tahun 2012 Menggunakan Aturan Model ANFIS 2

Dari hasil prediksi inflow Waduk PLTA Koto Panjang menggunakan aturan model ANFIS 2, didapatkan hasil perhitungan nilai Korelasi (R) 0,90 dan nilai RMSE 78,84. Perbandingan inflow prediksi (I_{model}) model ANFIS 2 dengan inflow pengamatan/aktual (I_{data}) Waduk PLTA Koto Panjang tahun 2012 disajikan seperti pada Gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Perbandingan Inflow Prediksi (I_{model}) ANFIS 2 dengan Inflow Pengamatan/Aktual (I_{data}) Waduk PLTA Koto Panjang Tahun 2012

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada tahap pengembangan model, skema 4 (4 input) memberikan nilai RMSE kalibrasi terkecil yaitu $7,7 \times 10^{-5}$ dan korelasi (r) verifikasi terbaik dengan nilai 0,53. Oleh karena itu, skema 4 (4 input) ditetapkan sebagai skema yang akan digunakan untuk mengembangkan dan membangun model.
2. Hasil pengembangan model kemudian diterapkan (divalidasi) pada data inflow tahun 2011 dengan 2 tipe yaitu model ANFIS 1 (tanpa *cross validation*) dan model ANFIS 2 (dengan *cross validation*). Model ANFIS 1 memberikan nilai RMSE secara keseluruhan yaitu 84,91 dan nilai korelasi antara inflow prediksi dan pengamatan 0,88. Sedangkan Model ANFIS 2 memberikan nilai RMSE secara keseluruhan yaitu 83,98 dan nilai korelasi antara inflow prediksi dan pengamatan 0,89.

3. Model ANFIS yang telah dibangun kemudian digunakan untuk memprediksi data inflow tahun 2012. Hasil prediksi inflow tahun 2012 menggunakan aturan model ANFIS 1 memberikan nilai RMSE 102 dan korelasi antara inflow prediksi dan pengamatan yaitu 0,81. Sedangkan model ANFIS 2 memberikan nilai RMSE 78,84 dan korelasi antara nilai inflow prediksi dan pengamatan yaitu 0,90.
4. Dari hasil analisis terhadap prediksi inflow Waduk PLTA Koto Panjang tahun 2012 menggunakan model ANFIS 1 dan 2 dapat diketahui bahwa model ANFIS 2 atau ANFIS *cross validation* memiliki performa hasil ramalan yang lebih baik daripada model ANFIS 1 atau model ANFIS tanpa *cross validation*.
5. Meskipun hasil prediksi menunjukkan nilai korelasi antara inflow prediksi dan pengamatan tergolong sangat kuat, namun nilai RMSE tetap saja tergolong besar. Hal ini dikarenakan model ANFIS untuk prediksi harian memang akan menghasilkan nilai RMSE yang cukup besar dan hal ini juga telah dibuktikan oleh penelitian terdahulu.

Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan untuk pembaca yaitu:

1. Penelitian berikutnya bisa dikembangkan dengan menggunakan input lain yang berupa *proxy* seperti *net head*, elevasi, dll.
2. Penelitian ini juga dapat dikembangkan dengan menggunakan input berupa kombinasi *rainfall-run off*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Imam Suprayogi, MT. dan Ibu Yohanna Lilis Handayani, ST. MT. yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Tidak lupa pula penulis sampaikan terima kasih kepada teman-teman dan semua pihak yang telah banyak membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Chang, dkk.** 2006. *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System For Prediction Of Water Level In reservoir*. Journal of Elsevier [online]. 29: 1-10. Available at: <URL: <http://sciencedirect.com>>[Accessed 1 Agustus 2013].
- Lin, J.Y., dkk.** 2005. *Long-Term Prediction of Discharges in Manwan Hydropower Using Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems Models*. Journal of Lecture Notes in Computer Science. 3612: 1152-1161.
- Magar, R.B, dkk.** 2011. *Intermittent Reservoir Daily Inflow Prediction Using Lumped and Distributed Data Multi-Linear Regression Model*. Journal of earth system science. 120(6): 1067-1084.
- Mahyudin.** 2013. *Model Prediksi Liku Kalibrasi Menggunakan Pendekatan Jaringan Saraf Tiruan (Studi Kasus: Sub Das Siak Hulu)*. Skripsi. Pekanbaru: Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Siregar, Syahmin.** 2013. *Telaahan Staff Diklat EE-IV Angkatan ke-3/2012*. PT PLN (Persero) KIT Sumatera Bagian Utara: Sektor KIT Pekanbaru Unit PLTA Koto Panjang.
- Suprayogi, Imam.** 2009. *Model Peramalan Instrusi Air Laut di Estuari Menggunakan Pendekatan Softcomputing*. Disertasi. Semarang: Fakultas Teknik Institut Teknologi Sepuluh November.