

PRECISION RANGE IN SALT INTRUSION FORECASTING RESULT OF THE ESTUARY OF BENGAWAN SOLO USING ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM MODEL APPROACH

JANGKAUAN KETEPATAN HASIL PERAMALAN PANJANG INTRUSI AIR LAUT DI MUARA SUNGAI BENGAWAN SOLO MENGGUNAKAN PENDEKATAN MODEL ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM

Imam Suprayogi

Staf pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru 28293

e-mail : drisuprayogi@yahoo.com

ABSTRACT

Scientists have conducted many researches and developed models of salt intrusion due to tidal influence which collide with discharge of the river upstream. Most of developed models for forecasting the salt intrusion were physical or mathematical. Physical model are inflexible and very expensive when applied to salt intrusion cases, because every developed models only match with in the particular estuary on the other hand, mathematical models have a human limitation range when entering all of the variables to construct a model that represent the comprehensive natural phenomenon. In the last decade, the softcomputing model as branch of the artificial intelligence science were introduction as a forecast tool beside knowledge based system expert system, fuzzy logic, artificial neural network, and genetic algorithm. This reseach choose softcomputing model as an aid program in the system modeling because it has several advantages, which are operate in non linear system that can hardly be modeled mathematically, and have a parameter flexibility as an input of the model. Using all of the specific advantages that the stated above, this research have a main purpose to develop the estuary salt intrusion forecasting model in dry season due to the influence of daily maximum tidal wave which collide with discharge of the river upstream using softcomputing approach. The method that used in this research was a combination between fuzzy logic and artificial neural network which usually called neuro fuzzy system of adaptive neuro fuzzy inference system algorithm (ANFIS). The main of research proved that the forecast result of the model that use M-SINFES as an aid program software were very sensitive to changes in range of influence parameter and were also have an accurate forecast range for a day ahead (L_{t+1}) when used a secondary data of measurement between 12 August – 7 October 1988 in estuary of Bengawan Solo. The configuration of the model can be described in a relationship pattern will be stated : $L_{t+1} = ($ Input : height of the daily maximum tidal wave (H_t), discharge of river upstream (Q_t), and length of salt intrusion (L_t); adaptive neuro fuzzy inference system : change in the value of range of influence parameter compared with amount of rules of fuzzy inference system, and mean square error of the learned and tested data). The performances of the ANFIS model both training and testing data were evaluated and the best training/testing data selected according to stastical parameter such as mean square error (MSE) is $1.24 \cdot 10^{-6}$ (Scheme 7).
Keywords : model, forecasting, salt intrusion, estuary, softcomputing, adaptive neuro fuzzy inference system

ABSTRAK

Para ilmuwan telah banyak melakukan penelitian dan membuat model tentang intrusi air laut akibat pengaruh pasang surut yang berlawanan dengan debit hulu sungai. Model yang dikembangkan untuk kebutuhan peramalan intrusi air laut di estuari menggunakan pendekatan model fisik dan atau model matematika. Untuk kasus intrusi air laut model fisik sangat mahal dan tidak luwes pemakaiannya karena setiap model yang dibuat hanya berlaku untuk estuari yang bersangkutan. Sedangkan model matematika memiliki jangkauan keterbatasan manusia untuk memasukkan semua variabel menjadi sebuah model yang bisa mewakili fenomena alam yang lengkap menjadi sebuah model. Pada dekade terakhir ini, model *softcomputing* sebagai cabang ilmu kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) diperkenalkan sebagai alat peramalan seperti sistem berbasis pengetahuan (*knowledge based system*), sistem pakar (*expert system*), logika fuzzy (*fuzzy logic*), jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*) dan algoritma genetika (*genetic algorithm*). Pemilihan model *softcomputing* sebagai program bantu dalam pemodelan sistem, pemodelan *softcomputing* sangat menguntungkan bekerja pada sistem tak linier yang cukup sulit model matematikanya serta fleksibilitas parameter sebagai masukan dari model. Metode penelitian yang dipergunakan adalah gabungan komponen *softcomputing* antara logika fuzzy (*fuzzy logic*) dan jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*) atau yang lazim disebut sistem *neuro fuzzy* algoritma *adaptive neuro fuzzy inference system*. Hasil utama dari penelitian membuktikan bahwa, hasil ketepatan dari model peramalan panjang intrusi air laut di estuari menggunakan program bantu perangkat lunak M-SINFES sangat sensitif terhadap perubahan nilai parameter *range of influence* serta memiliki jangkauan ketepatan peramalan untuk satu hari ke depan (L_{t+1}) dengan menggunakan data sekunder pengukuran tanggal 12 Agustus sampai 7 Oktober 1988 di Muara Sungai Bengawan Solo. Konfigurasi model didiskripsikan pola hubungan seperti berikut ini: $L_{t+1} = ($ Masukan : tinggi air laut pasang maksimum harian (H_t), debit hulu sungai (Q_t), dan panjang intrusi air laut (L_t); Sistem *adaptive neuro fuzzy inference system* : perubahan nilai parameter *range of influence* terhadap jumlah aturan *fuzzy inference system*, nilai *mean square error* (MSE) pembelajaran dan pengujian data). Unjuk kerja model ANFIS untuk proses pembelajaran dan testing data yang diukur menggunakan parameter statistik kesalahan kuadrat rata-rata (MSE) untuk berbagai variasi panjang data, skema 7 menghasilkan nilai kesalahan terbaik sebesar $1.24 \cdot 10^{-6}$.
Kata-kata kunci : model, peramalan, estuari, *softcomputing*, *adaptive neuro fuzzy inference system*.

PENDAHULUAN

Pengelolaan sumberdaya air atau pengelolaan sumber-sumber air tidak akan lepas dari permasalahannya. Dikatakan oleh Suryadi (1986), pada pengelolaan sumber-sumber air ini dijumpai sejumlah besar kriteria - kriteria berhubungan dengan kualitas dimana masing-masing kriteria berhubungan satu sama lain dan bersifat kompleks. Dengan adanya kriteria - kriteria yang kompleks inilah menjadi salah satu penyebab utama yang mendorong berkembangnya penggunaan model.

Banyak fenomena keteknikan (*engineering*) dan alam yang sulit dan rumit, yang perlu didekati (diprediksi) dengan model fisik dan/atau model matematik. Sehingga dalam kesehariannya para ilmuwan akan selalu bergelut dengan pemodelan (*modeling*). Dalam pemodelan, tentu mengandung ketidaksamaan atau kesalahan. Kesalahan tersebut mungkin dikarenakan skemanya, asumsi-asumsi, ataupun karena faktor manusianya (Pratikto, 1999).

Menurut Iriawan (2005) kesalahan merupakan bentuk ketidakberdayaan ilmuwan atas ketidak-mampuannya dalam menrangkan seluruh fakta yang diperoleh merangkai dalam sebuah model. Tugas utama ilmuwan adalah bagaimana menerangkan suatu fakta/fenomena suatu model sedemikian hingga akan mempunyai kesalahan sekecil-kecilnya.

Para ilmuwan telah banyak melakukan penelitian dan membuat model tentang intrusi air laut akibat pengaruh pasang surut yang berlawanan dengan debit hulu sungai. Model yang dikembangkan untuk kebutuhan peramalan intrusi air laut di estuari menggunakan pendekatan model fisik dan atau model matematika. Menurut Legowo (1998) untuk kasus intrusi air laut model fisik adalah sangat mahal dan tidak luwes pemakaiannya karena setiap model yang dibuat hanya berlaku untuk estuari yang bersangkutan.

Masih dikatakan Legowo (1998) untuk model matematika memiliki jangkauan keterbatasan manusia untuk memasukkan semua variabel menjadi sebuah model yang bisa mewakili fenomena alam yang lengkap menjadi sebuah model.

Menurut Suyanto (2008) pada dekade terakhir ini, model *softcomputing* sebagai cabang ilmu kecerdasan buatan diperkenalkan sebagai alat peramalan seperti sistem berbasis pengetahuan, sistem pakar, logika *fuzzy*, jaringan syaraf tiruan dan algoritma genetika. Pemilihan model *softcomputing* sebagai program bantu dalam pemodelan sistem, pemodelan *softcomputing* sangat menguntungkan bekerja pada sistem tak linier yang cukup sulit model matematikanya serta fleksibilitas parameter sebagai masukan dari model .

Dengan memanfaatkan keunggulan spesifik model tersebut di atas, maka tujuan utama dari penelitian adalah menguji kemampuan model *adaptive neuro fuzzy inference sistem (ANFIS)* untuk peramalan panjang intrusi air laut di estuari periode musim kemarau akibat pengaruh rambatan gelombang air laut pasang maksimum harian yang berlawanan dengan debit hulu Sungai Bengawan Solo.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dipergunakan adalah metode yang dikembangkan oleh Roger Jang pada tahun 1993 dari Departemen Teknik Listrik Dan Ilmu Komputer dari Universitas California, Amerika Serikat adalah sistem hibrid (*hybrid system*) antara logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan yang menghasilkan system *neuro fuzzy* struktur *ANFIS* atau yang lebih dikenal algoritma *ANFIS*.

Arsitektur ANFIS

Menurut Jang, dkk (1997), misalkan ada 2 *input* x, y dan satu *output* z. Ada 2 aturan pada basis aturan model Sugeno :

Aturan 1 : If x is A₁ and y is B₁

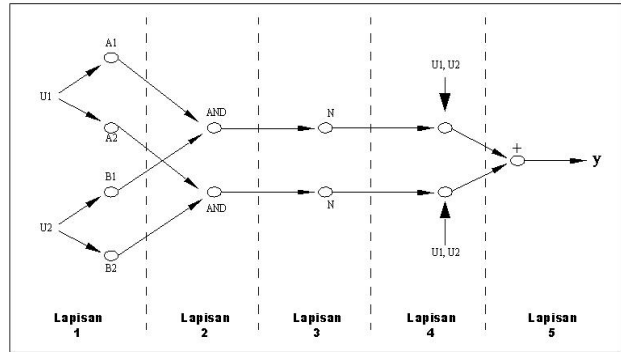
$$\text{then } f_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

Aturan 2 : If x is A₂ and y is B₂

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

Jika w predikat untuk aturan kedua aturan adalah w₁ dan w₂, maka dapat dihitung rata-rata terbobot.

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



Gambar 1. Struktur Jaringan ANFIS

Struktur 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*.

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

Output layer dikenal dengan *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 :

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

Algoritma Pembelajaran ANFIS

Pada saat *premise parameters* ditemukan, *output* yang terjadi akan merupakan kombinasi linear dari *consequent parameters*, yaitu :

$$f = \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2 \quad (7)$$

$$f = \bar{w}_1(p_1x + q_1y + r_1) + \bar{w}_2(p_2x + q_2y + r_2) \quad (8)$$

$$f = (\bar{w}_1 x) p_1 + (\bar{w}_1 y) q_1 + (\bar{w}_1) r_1 + (\bar{w}_2 x) p_2 + (\bar{w}_2 y) q_2 + (\bar{w}_2) r_2 \quad (9)$$

adalah *linear* terhadap parameter *consequent* parameter p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 dan r_2 .

Algoritma *hybrid* akan mengatur parameter-parameter p_i, q_i, r_i secara maju (*forward*) dan akan mengatur parameter-parameter (a_i, b_i, c_i) secara mundur (*backward*). Pada langkah maju (*forward*), input jaringan akan merambat maju sampai pada lapisan keempat, dimana parameter-parameter p_i, q_i, r_i akan diidentifikasi dengan menggunakan metode *least-square*. Sedangkan pada langkah mundur (*backward*), error sinyal akan merambat mundur dan parameter-parameter (a_i, b_i, c_i) akan diperbaiki dengan menggunakan metode *gradient descent*. Pada tahun 1997 Jang menggabungkan antara *steepest descent* dan *least square estimator* untuk mengidentifikasi parameter-parameter linier.

Lokasi Dan Data Pendukung Penelitian

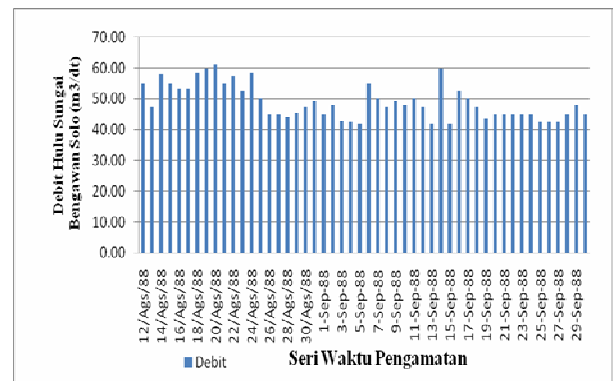
Data yang dipergunakan adalah data hasil pengukuran oleh Isnugroho (1988) di Muara Sungai Bengawan Solo. Data hasil pengukuran diterjemahkan pola hubungan antara debit aliran (*Q* hulu) di Babat dengan kadar salinitas di setiap lokasi dengan titik sentral di Sembayat (26 km dari mulut muara Sungai Bengawan Solo) terhadap perubahan jarak intrusi air laut (*L* intrusi) yang masuk ke hulu Sungai Bengawan Solo.

Untuk selanjutnya Gambar 2 di bawah ini, menunjukkan peta satelit di Muara Sungai Bengawan Solo.



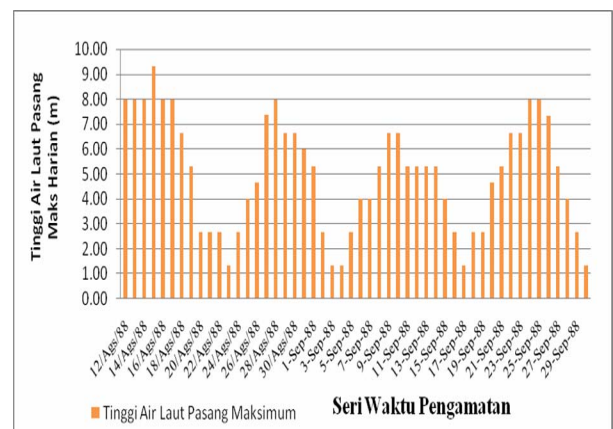
Gambar 2. Peta satelit muara sungai Bengawan Solo

Untuk pola hubungan antara nilai debit aliran (*Q*) di Babat dengan tanggal pengamatan mulai dari tanggal 12 Agustus - 7 Oktober 1988 disajikan seperti pada Gambar 3 di bawah ini.



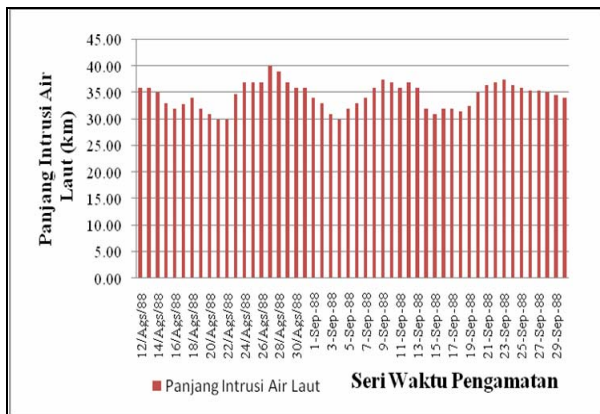
Gambar 3. Hubungan antara debit aliran di Babat dengan seri tanggal pengamatan (Sumber : hasil pengukuran)

Sedangkan untuk hubungan antara tinggi air laut pasang maksimum harian (*H* maksimum) di Babat dengan tanggal pengamatan dari tanggal 12 Agustus - 7 Oktober 1988 seperti pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Hubungan antara tinggi air laut pasang maksimum harian di mulut muara Bengawan Solo dengan seri tanggal pengamatan, sumber : Dinas Hidrooseanografi, (1988)

Sedangkan pola hubungan antara panjang intrusi air laut (L) dengan tanggal pengamatan mulai dari tanggal 12 Agustus - 7 Oktober 1988 disajikan seperti pada Gambar 5 di bawah ini.



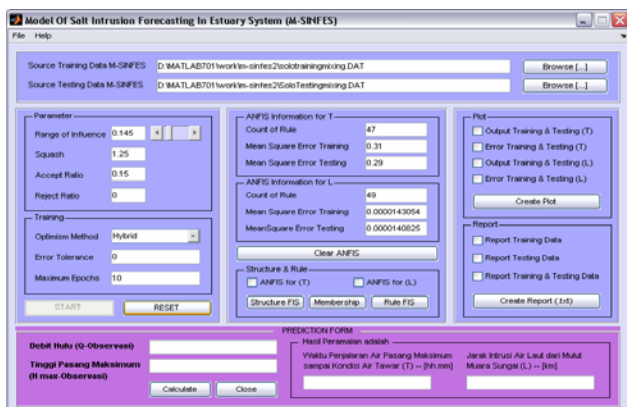
Gambar 5. Hubungan antara panjang intrusi air laut di sungai Bengawan Solo dengan seri tanggal pengamatan, (Sumber : hasil pengukuran)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Struktur ANFIS Untuk Peramalan Panjang Intrusi Air Laut Di Muara Sungai Bengawan Solo

Program *M-SINFES* dikembangkan oleh peneliti yang bekerjasama dengan *Divisi Riset Sistem Cerdas* Jurusan Teknik Informatika Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta menggunakan bahasa pemrograman Matlab versi 7.0. Sebelum dilakukan pengujian ketepatan hasil peramalan dari model intrusi air laut di estuari menggunakan pendekatan sistem *neuro fuzzy* algoritma *ANFIS* untuk skema 1-10 (Lihat Gambar 10) terlebih dahulu dilakukan pentahapan pembelajaran dan pengujian data model menggunakan program bantu *M-SINFES*.

Dengan menggunakan program bantu *M-SINFES* pada tahap pembelajaran (*training*) yang mendiskripsikan pola hubungan antara parameter nilai *range of influence* terhadap perubahan jumlah aturan *fuzzy inference system (FIS)*, nilai kriteria kecocokan menggunakan *MSE* untuk proses pembelajaran maupun pengujian data, maka hasil selengkapannya dapat dilihat pada Gambar 6 seperti di bawah ini.

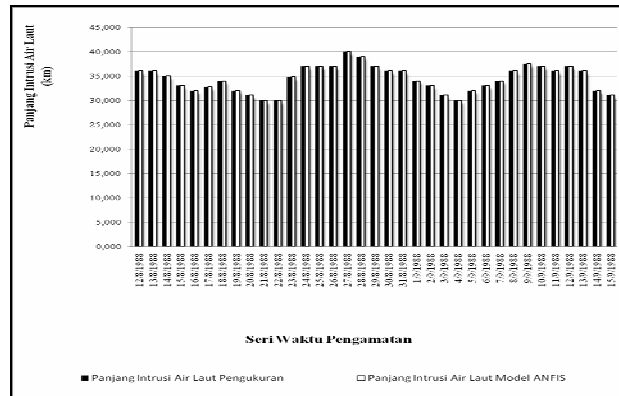


Gambar 6. Hasil proses pembelajaran dan pengujian data menggunakan Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut di muara sungai Bengawan Solo menggunakan pendekatan sistem *Neuro Fuzzy* Struktur *ANFIS* Sumber: hasil running Program *M-SINFES*

Hasil proses pembelajaran data dari model peramalan intrusi air laut di estuari menggunakan pendekatan sistem *neuro*

fuzzy algoritma *ANFIS* menghasilkan kriteria kecocokan *MSE* sebesar $1.430.10^{-5}$.

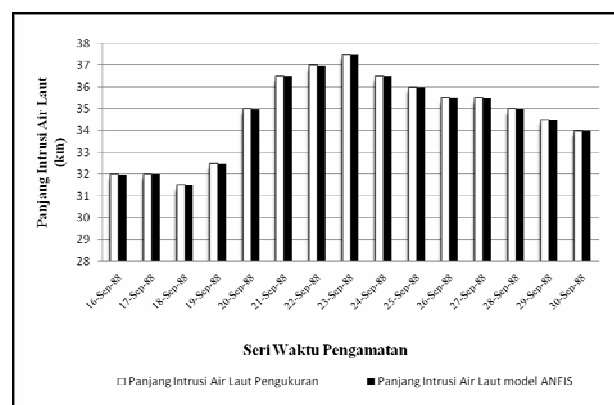
Untuk selengkapannya hasil pembelajaran data model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Sungai Bengawan Solo, diekspresikan menggunakan grafik hubungan antara pembelajaran data dan *FIS output* yang disajikan pada Gambar 7 seperti di bawah ini.



Gambar 7. Hubungan antara pembelajaran *Data* dan *FIS Output* peramalan panjang Intrusi Air Laut di muara sungai Bengawan Solo Tanggal 12 Agustus - 15 September 1988.

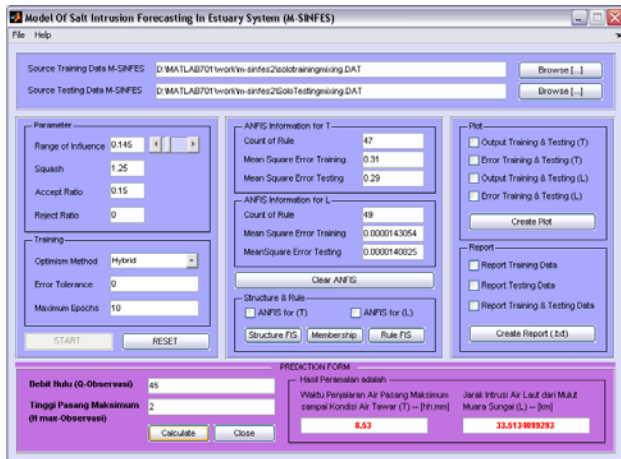
Hasil proses pengujian data dari model peramalan intrusi air laut di estuari menggunakan pendekatan sistem *neuro fuzzy* algoritma *ANFIS* menghasilkan kriteria kecocokan *MSE* sebesar $1.408.10^{-5}$.

Selanjutnya hasil pengujian data model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Sungai Bengawan Solo yang diekspresikan menggunakan grafik hubungan antara pengujian data dan *FIS output* pada Gambar 8 seperti di bawah ini.



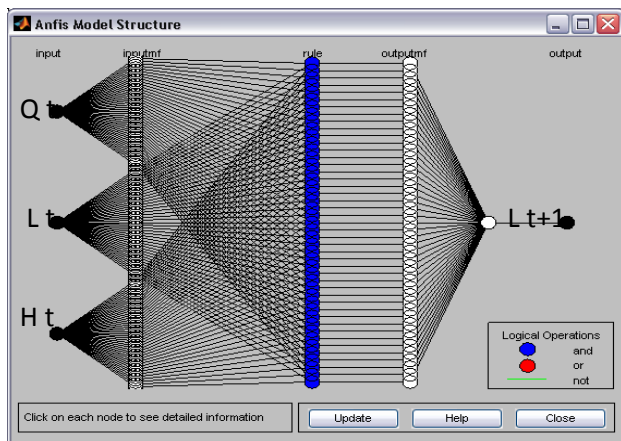
Gambar 8. Hubungan antara pengujian *Data* dengan *FIS* peramalan panjang Intrusi Air Laut di muara sungai Bengawan Solo Tanggal 16 - 30 September 1988.

Masih berdasarkan hasil pada Gambar 9 dibawah ini, maka hasil peramalan satu hari ke depan (L_{t+1}) dari model adalah 33.513km sedang hasil pengukuran sebesar 33.50 km. Selisih antara model dengan hasil pengukuran berkisar 0.013km atau 13 m.



Gambar 9. Hasil uji ketepatan model peramalan Panjang Intrusi Air Laut di muara sungai Bengawan Solo menggunakan struktur ANFIS untuk data pengukuran tanggal 1 Oktober 1988. (Sumber: Hasil Running Program M-SINFES)

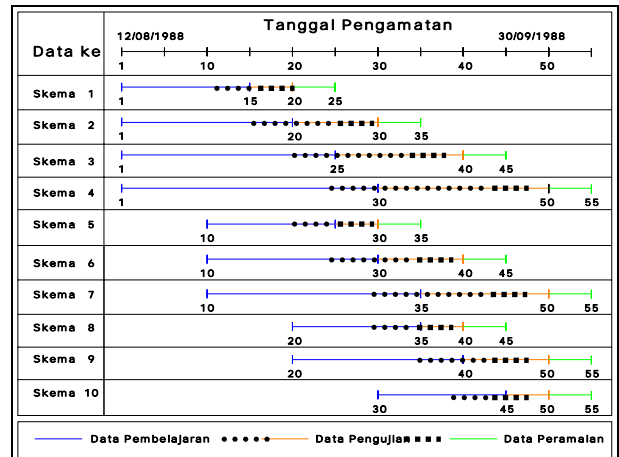
Dengan nilai parameter *range of influence* sebesar 0.055 sistem menghasilkan jumlah aturan FIS sebanyak 49 buah aturan. Untuk selanjutnya 49 buah aturan FIS. Struktur model ANFIS disajikan pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Konfigurasi ketepatan model Peramalan Intrusi Air Laut di muara sungai Bengawan Solo menggunakan struktur ANFIS, (Sumber: Hasil Running Program M-SINFES)

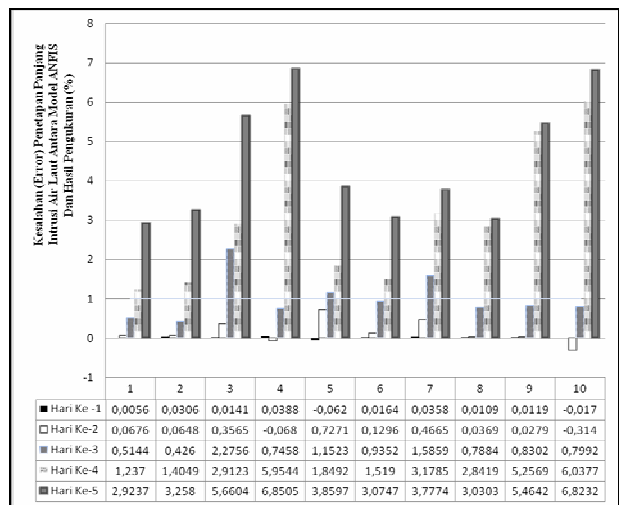
Tujuan utama dilakukan pembagian skema adalah untuk mengetahui pengaruh variasi panjang data sebagai masukan dari model ANFIS terhadap ketepatan hasil peramalan panjang intrusi air laut di Muara Sungai Bengawan Solo dengan data hasil pengukuran di Muara Sungai Bengawan Solo.

Skema variasi panjang data 1-10 berdasarkan hasil pengukuran di Muara Sungai Bengawan Solo dari tanggal 12 Agustus – 30 September 1988 yang disajikan pada Gambar 10 di bawah ini, selanjutnya dimasukkan ke program bantu M-SINFES untuk mendapatkan nilai hasil MSE pada proses pembelajaran data, pengujian data serta menguji nilai hasil ketepatan peramalan dari model dengan hasil pengukuran di lapangan.



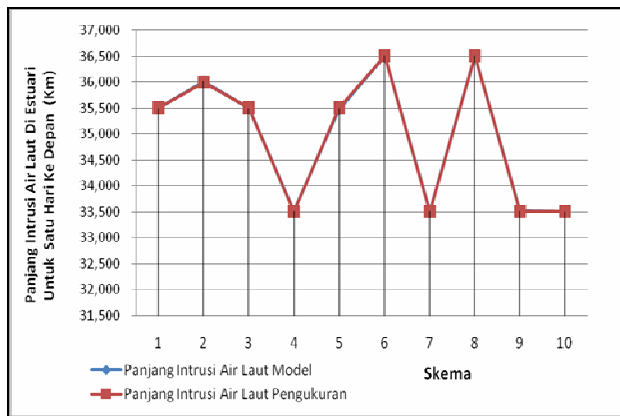
Gambar 10. Variasi panjang data skema 1-10 sebagai data masukan model ANFIS untuk kebutuhan pengujian ketepatan hasil peramalan Panjang Intrusi Air Laut di muara sungai Bengawan Solo

Hasil rekapitulasi pola hubungan antara skema variasi panjang data (skema 1-10) dengan % selisih kesalahan penetapan peramalan panjang intrusi air laut antara model ANFIS lima hari ke depan (L_{t+1} , L_{t+2} , L_{t+3} , L_{t+4} dan L_{t+5}) dan hasil pengukuran di Muara Sungai Bengawan Solo, selengkapnya disajikan seperti pada Gambar 11 di bawah ini.



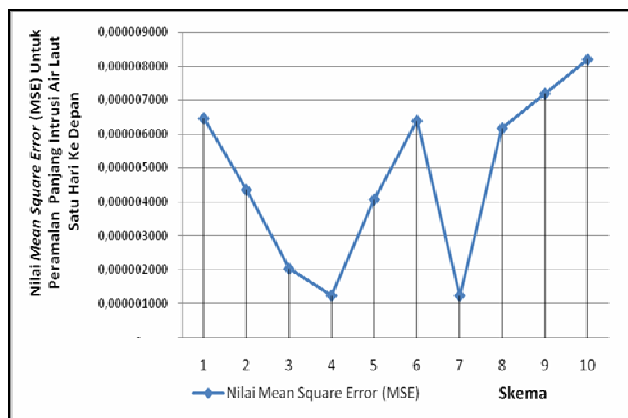
Gambar 11. Grafik hubungan antara skema variasi panjang data dengan % kesalahan hasil peramalan Panjang Intrusi Air Laut untuk lima hari ke depan (L_{t+1} , L_{t+2} , L_{t+3} , L_{t+4} dan L_{t+5}) menggunakan ANFIS dengan data hasil pengukuran di muara Sungai Bengawan Solo.

Masih berdasarkan Gambar.10 tersebut di atas, maka hasil terbaik untuk peramalan panjang intrusi air laut untuk satu hari ke depan (L_{t+1}) di Muara Sungai Bengawan Solo menggunakan pendekatan ANFIS untuk berbagai variasi skema (1-10), disajikan seperti pada Gambar 12 di bawah.



Gambar 12. Grafik hubungan ketetapan panjang Intrusi Air Laut satu hari ke depan (L_{t+1}) di muara sungai Bengawan Solo antara hasil pengukuran dengan model ANFIS untuk berbagai variasi panjang data (Skema 1-10)

Sedangkan hasil peramalan panjang intrusi air laut satu hari ke depan (L_{t+1}) di Muara Sungai Bengawan Solo menggunakan pendekatan model ANFIS untuk berbagai variasi skema (1-10) dengan nilai kriteria kecocokan MSE, hasil selengkapnya disajikan seperti pada Gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Grafik hubungan nilai MSE peramalan panjang Intrusi Air Laut satu hari ke depan (L_{t+1}) di muara sungai Bengawan Solo menggunakan model ANFIS untuk berbagai variasi panjang data (Skema 1-10)

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan hasil penelitian tersebut di atas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa model dengan menggunakan pendekatan algoritma ANFIS memiliki jangkauan ketepatan peramalan satu hari ke depan (L_{t+1}) untuk digunakan sebagai peramalan panjang intrusi air laut di Muara Sungai Bengawan Solo periode musim kemarau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Ir. H. Nizam, MSc, PhD. dari Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta serta Prof. Dr. Hj. Sri Kusumadewi, MT Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta atas segala sumbang saran dan masukan untuk kesempurnaan penulisan materi jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1976, *Salt Distribution in Estuaries*, Rijkwaterstaat Communications no. 26. Government Publishing Office, Netherlands.
- Anwar, N., 1998, *Environmental Hydraulic Aspects in Lamong River and Fish Ponds*, Dissertation, Toyo University.
- Demuth, H. & Beale.M., 1998, *Neural Network Toolbox for Use in Matlab*, Math Work Inc, United, State of America.
- Dinas Hidrooseanografi., 1988, *Daftar Pasang Surut Kepulauan Indonesia*, Jawatan Hidrooseanografi Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut Republik Indonesia, Jakarta.
- Fairbridge.R., 1980, *The Estuary : Its Definition and Geodynamic Cycle*, dalam *Chemistry and Biochemistry of Estuaries* (ed). Olausson dan Cato, Wiley & Sons, New York.
- Fausset, L., 1996, *Fundamentals of Neural Networks, Architectures, Algorithms, and Applications*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Gelley, N. & Jang, R., 2000, *Fuzzy Logic Toolbox for Use With Matlab* The Math Work Inc, New York .
- Iriawan, N., 2005, *Pengembangan Simulasi Stokhastik Dalam Statistika Komputasi Data Driven*, Pidato Pengukuhan Untuk Jabatan Guru Besar Dalam Bidang Statistik Komputasi dan Proses Stokhastik Pada Jurusan Statistik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Isnugroho., 1988, *Penanggulangan Pengaruh Air Asin Di Muara Bengawan Solo. Prosiding Seminar Hidraulika dan Hidrologi Wilayah Pantai Pusat Antar Universitas (PAU) Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada (UGM)*, Jogyakarta, 7-8 Nopember 1988.
- Jang, J.S.R., 1993, ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System, *Journal IEEE Transaction on System Man and Cybernetic* 23 no 3 : 665- 685.
- Jang, J.S.R., Sun C.T. & Mizutani, E., 1997, *Neuro Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall, London.
- Legowo, S., 1998, *Pengkajian Pendangkalan Muara Sungai Di Pantai Utara Pulau Jawa Barat dan Rekayasa Pemecahannya*, Laporan Akhir Riset Unggulan Terpadu (RUT III/3) Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung.
- Odum, E.P.V., 1969, *The Strategy of Ecosystem Development*, *Journal of Science* 164 : 262-270.
- Pratikto, W.A., 1999, *Aplikasi Pemodelan Di Teknik Kelautan*, Pidato Pengukuhan Untuk Jabatan Guru Besar Dalam Bidang Aplikasi Numerik dan Mekanika Fluida Pada Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknik Kelautan (FTK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Pribowo, W., 2000, *Studi Mengenai Sedimentasi Muara Kali Porong*, Tesis Master, Jurusan Teknik Sipil Bidang Keahlian Manajemen Dan Rekayasa Sumberdaya Air, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- Pritchard.D., 1967, *Observation of Circulation In Coastal Plain Estuaries*, dalam *Estuaries* eds. G.Lauff, American Association for Advance of Science Publish. 83 : 37-44, Washington D.C.
- Purnomo.M.H., 2004, *Teknologi Soft Computing:Prospek dan Implementasinya Pada Rekayasa Medika dan Elektrik*, Pidato Pengukuhan Untuk Jabatan Guru Besar Dalam Ilmu Artificial Intelligent Pada Fakultas Teknologi Indus-tri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- Suyanto., 2008, *Softcomputing Membangun Mesin Ber-IQ Tinggi*, Informatika, Bandung.
- Suprayogi, I., 2009, *Model Peramalan Intrusi Air Laut Di Estuari Menggunakan Pendekatan Softcomputing. Disertasi Doktor*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Bidang Keahlian Manajemen dan Rekayasa Sumber Air, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Suryadi., 1986, Pengenalan Analisa Dengan Model Matematik Pada Masalah Air. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan 2* : 3-6, Bandung.

Spyros, M., Wheel Wright & Gee, M., 1999, *Metode Peramalan*, Bina Rupa Aksara, Jakarta.

Sri Harto., 1999, *Hidrologi Teori, Masalah dan Penyelesaian*, Nafiri Offset, Jogjakarta.

Triatmodjo, B., 1999, *Teknik Pantai*, Beta Offset, Jogjakarta.