

# MODEL PERAMALAN INTRUSI AIR LAUT PERIODE MUSIM KEMARAU DI ESTUARI MENGGUNAKAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)*

## *MODEL OF SALT INTRUSION FORECASTING IN DRY SEASON PERIOD AT THE ESTUARY USING ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)*

Imam Suprayogi<sup>1</sup>, Nadjadji Anwar<sup>1</sup>, Edijatno<sup>1</sup>, dan Mohammad Isa Irawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya

<sup>2</sup>Jurusan Matematika FMIPA-ITS, Surabaya

email: supra@ce.its.ac.id

### Abstrak

Tujuan utama dari penelitian ini adalah membangun model peramalan intrusi air laut di estuari selama periode musim kemarau akibat pengaruh debit aliran sungai yang berlawanan dengan tinggi pasang surut menggunakan sistem *neuro fuzzy* struktur *adaptive neuro fuzzy inference system* sebagai dasar pola pengoperasian pengambilan air tawar pada saat tidak terpengaruh intrusi air laut serta pengambilan dihentikan jika air sudah terpengaruh intrusi air laut. Hasil penelitian menunjukkan logika *fuzzy* sebagai proses kendali dan jaringan syaraf tiruan sebagai proses peramal, dengan mempergunakan data primer pengukuran panjang intrusi air laut dari titik awal pengamatan, debit aliran hulu sungai, tinggi maksimum pasang surut di estuari Bengawan Solo selama periode musim kemarau (Agustus sampai Oktober). Model memiliki unjuk kerja dengan akurasi yang tinggi. Hal ini dibuktikan nilai *mean square error* untuk proses pembelajaran 0,00000354, proses testing ( validasi model ) 1,799 serta menetapkan nilai air kondisi tawar untuk 24 jam ke depan berjarak 10 km dari titik awal pengamatan ( $\pm 32$  km mulut muara sungai Bengawan Solo).

Kata kunci: peramalan, intrusi air laut, estuari , *adaptive neuro fuzzy inference system*

### Abstract

The main purpose of this research was to develop a model of seawater intrusion forecasting in dry season periods at the estuary, which was caused by the influence of river flow discharge collision with tidal level using neuro fuzzy structure adaptive neuro fuzzy inference system, as the basic pattern that flow the water whenever it free from salt intrusion and also stop taking the water that is already influenced by salt intrusion. The results showed that fuzzy logic as a control process and artificial neural network as a forecast process using primary data of the measurement of salt intrusion's length, the downstream river flow discharge, and the maximum level of tidal the river mouth area of Solo Estuary during the dry season period (from August until October). The model showed high accuration performace, which was proved by the mean square error value for the learning process of 0,00000354, model validation testing process of 1.799, and set value of plain waters condition for the next 24 hours range of  $\pm 32$  kms from the Solo Estuary.

Keywords: forecasting , seawater intrusion, estuary, adaptive neuro fuzzy inference system.

## 1. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting dan dibutuhkan untuk kehidupan, tidak saja oleh manusia, melainkan juga diperlukan untuk kelestarian hidup flora dan fauna.

Menurut Triatmodjo (1999), muara sungai dapat diartikan sebagai estuari, yaitu bagian dari suatu sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut.

Aliran air laut ke estuari disertai dengan proses transpor massa garam. Proses masuknya air asin ke estuari dikenal dengan istilah intrusi air asin. Jarak intrusi air asin ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu karakteristik estuari, pasang surut air laut, dan debit dari sungai. Semakin besar tinggi pasang surut air laut dan semakin kecil debit sungai, hal ini akan mengakibatkan semakin jauh pula intrusi air laut dan sebaliknya.

Transpor garam di suatu estuari terjadi baik secara *konveksi* maupun secara *difusi*. Secara *konveksi* artinya garam terbawa (terangkut) bersama dengan aliran air (karena terpengaruh kecepatan aliran). Sedangkan transpor secara *difusi* terjadi dikarenakan adanya *turbulensi* dan perbedaan kadar garam (salinitas) di suatu titik dengan titik-titik lain di sekitarnya. Sebagai akibatnya kadar garam tersebut akan menyebar ke lokasi-lokasi dengan konsentrasi yang lebih rendah. Kedua macam transpor yang terjadi secara bersamaan tersebut (*konveksi* dan *difusi*) disebut *dispersi* (Triatmodjo, 1999).

Pengaruh penggaraman akibat intrusi air laut cukup besar pengaruhnya dalam perubahan rasa. Rasa menjadi sedikit asin sehingga sumber air tawar agak sulit terpenuhi. Permasalahan tentang kesulitan sumber air tawar seperti diatas terjadi hampir di semua daerah estuari, apalagi hampir semua kota-kota besar di Indonesia secara geografis terletak di pantai, seperti kota Jakarta, kota Surabaya juga kota Semarang. Apalagi ditambah dengan beban pertumbuhan penduduk, pemenuhan kebutuhan industri sebagai konsekuensi logis dari tahun ke tahun kebutuhan air tawar terus meningkat baik secara kuantitas maupun kualitas (Isnugroho, 1987).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Isnugroho (1988) di daerah muara Bengawan Solo, terdapat kota industri Gresik yang mempunyai peran strategis dalam pemenuhan kebutuhan air tawar. Hal ini menyebabkan kebutuhan air tawar untuk memenuhi konsumsi kota Gresik cukup tinggi. Dalam hal ini terbukti pada tahun 2005 kebutuhan air tawar rata-rata 3,00 m<sup>3</sup>/detik bahkan pada saat beban puncak bisa mencapai angka 3,95 m<sup>3</sup>/detik.

Masih menurut Isnugroho (1988), dalam usaha untuk memperoleh sumber air tawar, pabrik pupuk PT Petrokimia Gresik mengambil air Bengawan Solo dengan memompa air dari stasiun pengambilan yang terletak di Babat. Kapasitas pengambilan yang dilakukan sebesar 1500 m<sup>3</sup>/jam (0,42 m<sup>3</sup>/detik). Pengaliran air akan dilakukan melalui pipa sepanjang 60 km dengan diameter pipa sebesar 28 inci (700 mm). Proses penyediaan air tawar tersebut jelas membutuhkan biaya yang cukup tinggi, yang meliputi biaya pengadaan, pengoperasian dan pemeliharaan. Untuk

meningkatkan kapasitas pengambilan dalam rangka mencukupi kebutuhan pada masa mendatang, perlu dipikirkan tempat pengambilan yang lebih dekat. Hal ini dilakukan agar supaya biaya transportasi menjadi lebih murah. Instalasi pengambilan air di Babat dapat dipergunakan untuk keperluan penyediaan air minum di kota Babat dan sekitarnya.

Permasalahan utama yang dihadapi dalam usaha untuk memperpendek transpor air baku adalah dengan pencarian sumber air tawar di lokasi yang dekat, yaitu di daerah Sembayat. Akan tetapi pada musim kemarau, air tawar yang terbebas dari intrusi air laut baru didapatkan jauh di bagian hulu Sembayat. Hal ini dikarenakan pada musim kemarau (bulan Juni hingga bulan Oktober) aliran sungai Bengawan Solo menjadi sangat kecil. Bahkan sering terjadi aliran menjadi sangat kecil selama dua bulan, yaitu pada bulan Agustus dan bulan September. Pada saat aliran sungai mengecil, air dari Laut Jawa mengalir masuk ke sungai Bengawan Solo. Biasanya air asin tersebut mencapai pintu air Kuro pada setiap awal bulan September. Intrusi air laut ini jelas mengganggu fungsi air di daerah tersebut, misalnya sebagai sumber air minum penduduk, industri, irigasi dan lain sebagainya.

Untuk menjawab permasalahan ini, diperlukan suatu pendekatan model peramalan intrusi air laut yang masuk ke muara sungai akibat pengaruh debit sungai dan pasang surut air laut terhadap perubahan jarak intrusi air laut. Hal ini dapat dijadikan sebagai dasar pola pengoperasian pengambilan air tawar pada saat air tidak terpengaruh dengan intrusi air laut. Pengambilan air tawar akan dihentikan apabila air sungai sudah terpengaruh dengan intrusi air laut.

Dari latar belakang penelitian tersebut timbul suatu hipotesa penelitian yaitu dengan memanfaatkan kelebihan sistem *neuro fuzzy* struktur *adaptive neuro fuzzy inference system* untuk proses peramalan (Akhmad, 2000 dan Rahmat, 2004). Dengan pemanfaatan sistem tersebut diharapkan akan dapat memperbaiki unjuk kerja sistem peramalan intrusi air laut periode musim kemarau. Hal ini diperlukan guna menentukan suatu pola pengoperasian pengambilan air tawar di muara sungai akibat pengaruh debit aliran sungai yang berlawanan dengan tinggi pasang surut.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem *neuro fuzzy* struktur *adaptive neuro fuzzy inference system* sebagai proses peramal.

Model peramalan dibangun untuk menentukan jarak intrusi air laut 24 jam ke depan akibat pengaruh pasang surut yang berlawanan dengan debit aliran sungai hulu di muara sungai pada musim kemarau. Hal tersebut dijadikan sebagai dasar pola pengoperasian pengambilan air tawar pada saat air tidak terpengaruh intrusi air laut dan pengambilan dihentikan jika air sudah terpengaruh intrusi air laut.

Adapun tahapan yang dikerjakan pada penelitian ini adalah sebagaimana uraian berikut ini. Penelitian telah dilakukan oleh Isnugroho (1987, 1988) dari muara sungai Bengawan Solo sampai daerah Babat selama periode musim kemarau, yaitu bulan Agustus sampai Oktober. Lokasi penelitian ditentukan hingga 10 km dari daerah bagian hulu Sembayat. Agar memenuhi tujuan penelitian, seluruh data pengamatan diterjemahkan kepada hubungan antara debit aliran di Babat dengan kadar salinitas di setiap lokasi dengan titik sentral di Sembayat.

Penerapan sistem dimulai dengan penyiapan data latih. Susunan pasangan data latih untuk proses belajar (*training process*) berdasarkan data primer yang dilakukan oleh Isnugroho di Muara Sungai Bengawan Solo sampai Babat pada musim kemarau, yaitu mulai tanggal 12 Agustus sampai 20 September 1988. Data yang digunakan meliputi: data panjang intrusi air laut muara sungai (L), debit aliran sungai hulu (Q) dan tinggi pasang surut maksimum (H) sebagai fungsi waktu (*time series*) sebanyak 40 data hasil pengamatan lapangan.

Peramalan panjang intrusi air laut 24 jam ke depan ditentukan oleh panjang intrusi air laut, debit aliran sungai hulu, tinggi pasang surut air laut maksimum hari ini. Secara matematis hubungan tersebut dapat diformulasikan dengan suatu rumusan sebagai berikut:

$$L(t+24) = [ L(t) , Q(t) , H(t) ]$$

Perancangan arsitektur jaringan sistem *neuro fuzzy* dengan struktur *adaptive neuro fuzzy inference*

*system* yang disesuaikan dengan format data latih, berupa jaringan dengan tiga masukan yang terdiri atas: panjang intrusi air laut, debit aliran sungai, tinggi pasang surut [ L(t), Q(t), H(t) ], dan 1 keluaran yaitu panjang intrusi air laut 24 jam ke depan [(t+24) ].

Implementasi dilakukan dengan membuat program sesuai algoritma berdasarkan sistem *neuro fuzzy* dengan struktur *adaptive neuro fuzzy inference system*. Proses pembelajaran sistem *adaptive neuro fuzzy inference system* terdiri atas dua tahap, yaitu tahap maju menggunakan mekanisme inferensi *fuzzy* dan metode *Least Square Estimator* serta tahap mundur dengan menggunakan aturan *Error Backpropagation* (Rahmat, 2001, Kusumadewi, 2002, dan Widodo, 2005).

Pengujian keakuratan dari sistem *neuro fuzzy* hasil peramalan panjang intrusi air laut di muara sungai Bengawan Solo untuk 24 jam ke depan menggunakan data pengukuran primer yang diukur pada tanggal 21 September sampai 7 Oktober sebanyak 17 buah data. Hasil dari proses pembelajaran tersebut adalah perubahan parameter fungsi keanggotaan (*membership function*) dan parameter hasil proses *Least Square Estimator (LSE)*. Parameter akhir ini menentukan hasil keluaran jaringan yang selanjutnya keluaran jaringan dibandingkan dengan keluaran yang diinginkan. Selanjutnya hasil selisih nilai keluaran yang diinginkan dibandingkan dengan keluaran jaringan disebut *error* atau kesalahan hasil proses belajar.

Proses uji coba dilakukan dengan menguji sistem *neuro fuzzy* berdasarkan parameter-parameter hasil proses pembelajaran dengan cara memberikan masukan yang tidak dipergunakan untuk data proses pembelajaran. Selanjutnya untuk menguji kebenarannya, hasil prediksi dibandingkan dengan data primer hasil pengukuran panjang intrusi air laut.

Unjuk kerja model proses pembelajaran (*training process*) dan data proses testing (*testing process*) diukur dengan mempergunakan *Mean Square Errors (MSE)* yang mempresentasikan rata-rata kuadrat simpangan (selisih) antara nilai keluaran (prediksi) terhadap nilai target. Nilai *MSE* yang kecil menunjukkan bahwa rata-rata nilai peramalan yang dihasilkan sangat dekat dengan nilai sebenarnya.

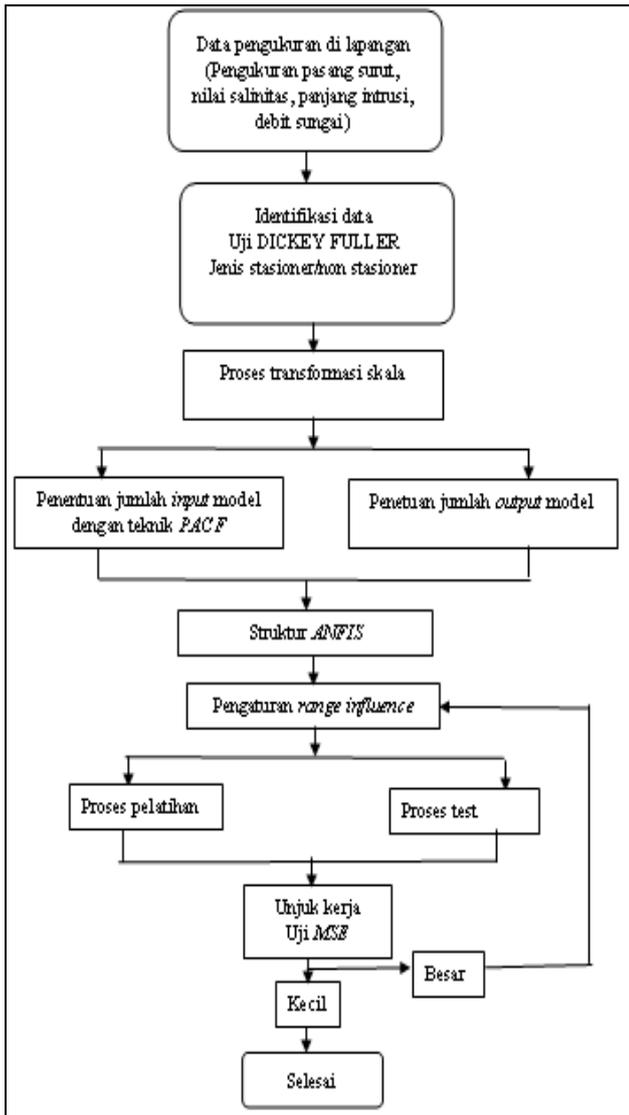
Adapun perumusannya adalah seperti di bawah ini.

$$MSE = \frac{\sum_{t=p+1}^N (X_t - \hat{X}_t)^2}{N}$$

dimana:

$X_t$  = data *time series* pada periode waktu ke- $t$ ,  
 $t = 1, 2, 3, \dots, N$

$\hat{X}_t$  = nilai prediksi data *time series* pada periode waktu ke- $t$ , untuk  
 $t = 1, \dots, N$



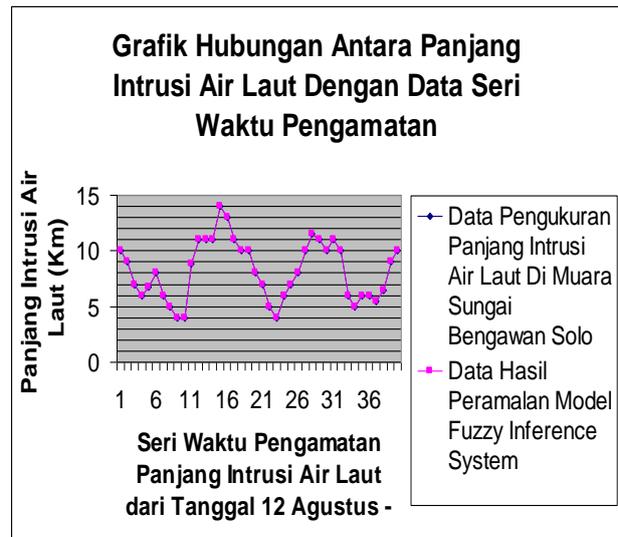
**Gambar 1.** Diagram Alir Model Peramalan Intrusi Air Laut Periode Musim Kemarau Menggunakan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Proses Pembelajaran

*Input* model terdiri dari panjang intrusi air laut, debit aliran sungai hulu, tinggi pasang surut maksimum sebagai fungsi waktu. Data ini didapat dari hasil pengukuran di muara sungai Bengawan Solo dengan rentang waktu tanggal 12 Agustus sampai 21 September 1988 sebanyak 40 seri data pembelajaran. *Output* model adalah hasil peramalan 24 jam kedepan panjang intrusi air laut yang masuk ke badan sungai yang akan dipergunakan untuk proses *training*.

Menggunakan iterasi sebanyak 10 kali akan didapat nilai rata-rata error sebesar 0,00000354 keadaan ini menunjukkan bahwa sistem mendekati 100% berhasil mengenali pola perubahan pasangan data masukan dan data keluaran. Hasil proses pembelajaran (*training process*) menggunakan program bantu Matlab 7 disajikan pada Gambar 2..

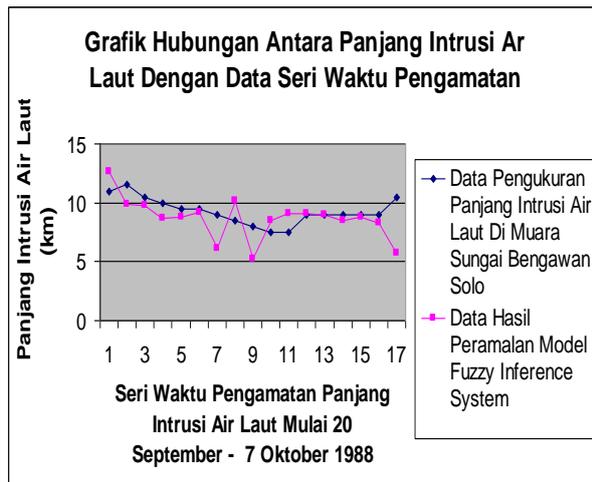


**Gambar 2.** Hubungan antara Training Data dan FIS Output Peramalan Intrusi Air Laut di Muara Bengawan Solo

#### Proses Pengujian

Pada proses pengujian ini sistem hasil belajar diberi data masukan data panjang intrusi air laut (L), debit aliran sungai (Q), dan tinggi pasang surut maksimum (H) sebagai fungsi waktu hasil pengukuran di muara sungai sampai Babat dari tanggal 21 September sampai 7 Oktober 1988 sebanyak 17 seri data pengamatan.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa ternyata tingkat peramalan panjang intrusi air laut 24 jam kedepan menghasilkan kriteria *rata-rata error* testing sebesar 1,799 atau presentasi kesalahan validasi model 1,799. Model dapat mengikuti hasil pengukuran di lapangan. Nilai *MSE* yang kecil menunjukkan bahwa rata-rata nilai peramalan yang dihasilkan sangat dekat dengan nilai sebenarnya.



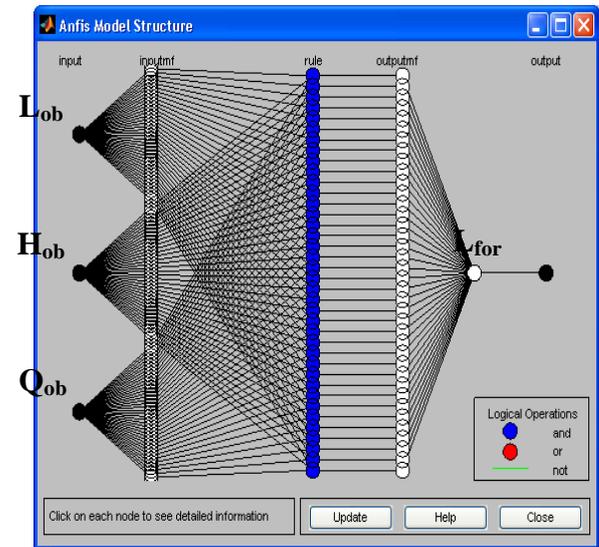
**Gambar 3.** Hubungan antara Testing Data dengan FIS Output Peramalan Intrusi Air Laut di Muara Bengawan Solo

#### Menampilkan Konfigurasi Model dan Nilai Hasil Peramalan Panjang Intrusi Air Laut di Muara Sungai Bengawan Solo

Dengan mempergunakan Program bantu Matlab 7 akan didapat hasil running program dan konfigurasi dari model peramalan panjang instrusi air laut di muara sungai Bengawan Solo. Adapun model peramalannya terdapat pada Gambar 4.

Mendasarkan pada penelitian yang sudah dilakukan oleh Isnugroho (1988) bahwa penetapan titik awal pengamatan terletak pada  $\pm 22$  km dari mulut muara sungai Bengawan Solo. Adapun berdasarkan hasil *running* program dengan *input* sistem terdiri dari debit sungai pengamatan, pasang tertinggi pengamatan, serta panjang intrusi air laut pengamatan maka akan dihasilkan panjang suatu intrusi air laut peramalan untuk 24 jam ke depan sebesar  $\pm 10$  km dari titik awal pengamatan. Sehingga dapat diketahui bahwa air tawar yang terbebas dari pengaruh air asin akan didapatkan

$\pm 32$  km untuk 24 jam ke depan dari mulut muara sungai Bengawan Solo.



**Gambar 4.** Konfigurasi Model Peramalan Intrusi Air Laut di Muara Sungai Bengawan Solo Menggunakan Struktur *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian memakai data primer tahun 1988 yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sistem *neuro fuzzy* dengan struktur *adaptive neuro fuzzy inference system* dapat dipergunakan untuk peramalan 24 jam kedepan di tahun 1988 panjang intrusi air laut di muara sungai akibat pengaruh debit aliran sungai dari hulu yang berlawanan dengan pasang surut sebagai dasar pola pengoperasian pengambilan air tawar pada saat tidak terpengaruh intrusi air asin serta menghentikan pada saat air sudah terintrusi air laut, hal ini dibuktikan nilai rata-rata *error* proses pembelajaran (kalibrasi) 0.00000354 dan proses testing (validasi) dengan rata-rata *error* 1.799 dan posisi air tawar terletak 10 km ke hulu sungai dari titik awal pengamatan ( $\pm 32$  km dari mulut muara sungai Bengawan Solo).

Model peramalan intrusi laut di muara sungai periode musim kemarau menggunakan sistem *neuro fuzzy* struktur *adaptive neuro fuzzy inference system* yang telah diujikan pada hasil pengukuran data primer di muara sungai Bengawan Solo tahun 1988, model terbukti cukup handal. Oleh karena itu perlu dilakukan kebaruan data sesudah tahun

2000 sebagai bahan pembandingan keberhasilan unjuk kerja model peramalan tersebut.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada:

*Ir Isnugroho, CES* atas pemberian ijin penggunaan data primer hasil pengukuran korelasi tinggi pasang surut, debit sungai hulu, dengan panjang intrusi air laut di muara sungai Bengawan Solo sebagai *input* arsitektur *adaptive neuro fuzzy inference system*.

*Sri Kusumadewi, SSi, MT* atas segala bimbingan serta masukan untuk pemilihan sistem *neuro fuzzy* algoritma *adaptive neuro fuzzy inference system* sebagai alat bantu model peramalan panjang intrusi air laut di estuari.

#### DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, A.S. (2000). **Sinergi Kecerdasan Tiruan dalam Sistem Instrumen Elektronika**. Proceeding Seminar of Intelligent Technology Its Application (SITIA 2000), Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

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.

Ippen AT. (1996). **Estuary and Coastline Hydrodynamic**. Mc Graw Hill Book Company, New York.

Istianto (1991). **Neural Network**, Artikel Ilmiah Majalah Clapeyron 30, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Hal 79-82.

Isnugroho (1987). **Estuary Reservoir untuk Penyediaan Air Minum Kota Industri**

**Gresik dan Surabaya Utara**, Pekan Ilmiah Tahunan IV HATHI.

Isnugroho (1988). **Penanggulangan Pengaruh Air Asin Di Muara Bengawan Solo**. Seminar Hidraulika dan Hidrologi Wilayah Pantai PAU Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 7-8 Nopember 1988.

Jang, J.SR, Sun C.T dan Mizutani, E. (1997). **Neuro Fuzzy and Soft Computing**. Prentice Hall, London.

Kusumadewi, S. (2002). **Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box MATLAB**, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Kusumadewi, S. (2002). **Artificial Intelligence Teknik dan Aplikasinya**, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Rahmat, B. (2004). **Penerapan Sistem Neuro Fuzzy Dengan Struktur Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) Untuk Prediksi Curah Hujan Daerah Banyuwangi**. Jurnal Gematek Teknik Komputer STIKOM Volume 6 Nomer 2 September 2004, Surabaya.

Triatmodjo (1987). **Etude Numerique de la Dynamique du Transport en Suspension dans les Estuaries**. These de Docteur Ingenieur, Universite Scientifique, Technologique at Medical de Grenoble, France.

Triatmodjo, B. (1999). **Teknik Pantai**. Beta Offset, Yogyakarta.

Wardoyo, W. (1990). **Data Requirements for An Adequate Salt Intrusion Model in The Solo Estuary**. MSc Thesis, International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering Delft, Netherlands.

Widodo, T.S. (2005). **Sistem Neuro Fuzzy untuk Pengolahan Informasi, Pemodelan, dan Kendali**. Graha Ilmu, Yogyakarta.