

**PEMODELAN PENELUSURAN BANJIR MENGGUNAKAN METODE ADAPTIVE NEURO
FUZZY INFERENCE SYSTEM PADA SUNGAI
ROKAN KANAN**

Citra Perdana¹⁾, Imam Suprayogi²⁾, Manyuk Fauzi²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jln. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : prubuffon@yahoo.co.id

ABSTRACT

Flood is an occurrence that marked with the increase in the water exceeds the capacity of volume water reservoir such as a river or water channel, factors that cause flooding in terms of meteorology are high rainfall and sea water was high, resulting in high water level increases. Flood predictable with see natural phenomena such as rainfall. One of method for flood prediction is with flood routing method.

Flood routing is done as a means to reduce an adverse impact by flooding, Flood Routing is a hydrograph flow computation in a downstream stream based on hydrograph flow of an upstream location. The purpose of this study is to develop flood routing model in the Rokan Kanan river with use softcomputing Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS).

The data used in this research is secondary data 2014 to 2016 year, Data of Rokan Kanan river were collected from BWS Sumatera III in Pekanbaru. The Scenarios date used in this research is Q_{t+0} , Q_{t+4} , Q_{t+8} , Q_{t+12} and Q_{t+16} with used variation of data comparison training and testing 70% : 30%, 60% : 40%, 80% : 20% and 50% : 50%. The results of this flood routing study in Rokan Kanan river, produce a correlation value of $R = 0,6074$ obtained during the use of data scenarios Q_{t+12} with used variation of data 80% : 20% and is classified as a strong correlatioan.

Keywords : Flood Routing, Prediction, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

ABSTRAK

Banjir merupakan suatu kejadian yang ditandai dengan naiknya muka air melebihi kapasitas volume tampungan air semisal sungai atau saluran air, faktor penyebab banjir dari segi meteorologi yaitu curah hujan yang tinggi dan air laut yang sedang pasang sehingga mengakibatkan tinggi permukaan air meningkat. Banjir dapat diprediksi dengan melihat fenomena alam seperti curah hujan yang tinggi, salah satu metode memprediksi banjir adalah dengan metode penelusuran banjir.

Penelusuran banjir dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi dampak yang merugikan akibat banjir. penelusuran banjir merupakan perhitungan hidrograf aliran di suatu lokasi sungai yang didasarkan pada hidrograf aliran di lokasi lain. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan pengembangan model penelusuran banjir pada sungai Rokan Kanan dengan menggunakan metode softcomputing Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS).

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data sekunder tahun 2014-2016, data tersebut didapatkan dari Balai Wilayah Sungai Sumatera III di Pekanbaru. Skenario data yang digunakan adalah Q_{t+0} , Q_{t+4} , Q_{t+8} , Q_{t+12} dan Q_{t+16} , dengan menggunakan variasi perbandingan data training dan testing 70% : 30%, 60% : 40%, 80% : 20% dan 50% : 50%. Hasil penelitian penelusuran banjir pada sungai Rokan Kanan ini menghasilkan nilai korelasi sebesar $R = 0,6074$ yang didapatkan pada saat penggunaan skenario data Q_{t+12} dengan variasi perbandingan data 80% : 20% dan diklasifikasikan sebagai korelasi kuat.

Kata Kunci : Penelusuran Banjir, Prediksi, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System.

PENDAHULUAN

Fenomena bencana banjir seringkali melanda wilayah Indonesia. Berdasarkan laporan yang disampaikan Rodriguez, et al. (2009) menyatakan bahwa, pada tahun 2008 Indonesia termasuk dalam 10 besar negara di dunia yang selalu mengalami bencana alam. Jenis bencana terbesar yang terjadi di Indonesia pada tahun 2008 tersebut adalah bencana hidrologi yang berhubungan dengan banjir dan bencana geophysical, yang berhubungan dengan gempa bumi,

Banjir yang terjadi disebabkan oleh beberapa sumber seperti tingginya curah hujan yang berlangsung dalam durasi lama, sehingga menyebabkan banyak genangan air di wilayah perkotaan. Selain itu banjir disebabkan oleh meluapnya sungai-sungai utama yang melalui daerah pemukiman dan perkotaan, akibat intensitas curah hujan yang tinggi di daerah hulu atau sering disebut sebagai banjir bandang atau kiriman.

Permasalahan utama yang dihadapi praktisi hidrologi adalah mengestimasi hydrograph menaik dan menurun dari suatu sungai pada sebaran titik pengaliran terutama selama periode banjir. Permasalahan ini dapat diatasi dengan teknik penelusuran aliran atau penelusuran banjir yang mengolah sifat-sifat hydrograph banjir di hulu atau di hilir dari suatu titik ke titik yang lain sepanjang aliran sungai. Penelusuran dilakukan dari titik dimana ada data pengamatan hidrograf aliran untuk memudahkan proses penelusuran itu sendiri.

Penelusuran banjir (*flood routing*) adalah suatu prosedur untuk menentukan perkiraan waktu dan besaran banjir disuatu titik disungai berdasarkan data yang diketahui disebelah hulu (Lawler, 1964). Menurut Soemarto (1987), penelusuran banjir merupakan peramalan hidrograf disuatu titik pada suatu aliran atau bagian sungai yang didasarkan atas pengamatan hidrograf dititik lainnya, dapat juga diartikan sebagai upaya prakiraan corak banjir pada bagian hilir berdasarkan corak banjir didaerah hulu.

Sungai Rokan Kanan merupakan salah satu sungai terbesar yang terdapat di Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau. Aliran sungai Rokan Kanan termasuk kedalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Rokan. Secara geografis, DAS Rokan melewati tiga Provinsi, yaitu Provinsi Sumatera Barat, Sumatera Utara dan Provinsi Riau. Aliran sungai Rokan Kanan melalui dua provinsi, yaitu Provinsi Sumatera Utara dan Provinsi Riau, dengan Provinsi Sumatera Utara berada pada bagian hulunya.

Dengan terjadinya luapan air sungai Rokan Kanan ini setiap tahunnya, membuat masyarakat yang terkena dampak banjir ini memiliki sebuah sistem peringatan dini terhadap kejadian banjir, sistem ini terbentuk secara alamiah dan menjadi sebuah isu yang berkembang ditengah-tengah masyarakat. Jika terjadi hujan yang cukup lebat atau terlihat kondisi permukaan sungai keruh, berbuih dan membawa material kayu dan pepohonan, maka dapat dipastikan akan terjadi kenaikan level muka air, sehingga masyarakat yang biasa terkena dampak banjir akan menghubungi masyarakat yang ada dibagian hulu untuk mendapatkan informasi seberapa besar kenaikan level muka air sungai Rokan Kanan yang melalui daerah tersebut, atau sanak famili yang ada pada bagian hulu akan menghubungi keluarga mereka yang berada pada bagian hilir untuk bersiap – siap menghadapi terjadinya banjir, misalnya terjadi pada masyarakat Desa Rambah Hilir Timur Kecamatan Rambah Hilir, tepatnya didusun Ujung Gurap.

Identifikasi Masalah

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 (*modelling*). Dalam pemodelan, tentu mengandung ketidaksamaan atau kesalahan. Kesalahan tersebut

mungkin dikarenakan skemanya, asumsi-asumsi, ataupun karena faktor manusianya (Pratikto, 1999).

Pada dekade terakhir ini, model *softcomputing* sebagai cabang dari 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*) (Purnomo, 2004). Masih menurut Purnomo (2004) dasar pemilihan model *softcomputing* sebagai *tool* dalam pemodelan sistem, pemodelan *softcomputing* sangat menguntungkan bekerja pada sistem tak linier yang cukup sulit model matematikanya, serta fleksibilitas parameter yang dipakai yang biasa merupakan kendala pada *tool* yang lain.

Model *softcomputing* yang diklasifikasikan model kotak hitam (*black box*) terdiri dari sistem berbasis pengetahuan (*knowledge based system*), sistem pakar (*expert system*), logika *fuzzy* (*fuzzy logic*), jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network, ANN*) dan algoritma genetika (*genetic algorithm*) (Purnomo, 2004).

Adakala komponen-komponen utama dari *softcomputing*, saling dipadupadankan untuk mendapatkan algoritma yang lebih sempurna. Pada tahun 1993, Roger Jang dari Departemen Teknik Listrik dan Ilmu Komputer dari Universitas California, Amerika Serikat mengembangkan system *hybrid* (*hybrid system*) antara logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan yang menghasilkan system *neuro fuzzy* struktur ANFIS atau yang lebih dikenal algoritma ANFIS.

Penggunaan Metode ANFIS dalam meramalkan model hidrologi mempunyai performa yang cukup baik. Hal ini dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sari (2015) untuk meramalkan pasang surut pada pelabuhan Tanjung Buton Siak dengan menggunakan metode ANFIS menghasilkan nilai korelasi $R=0,87$. Dan Masfufa (2016) menggunakan

metode ANFIS untuk meramalkan debit dan menganalisis data runtun waktu disungai Tapung Kiri menghasilkan nilai korelasi $R=0,99$.

Metode ANFIS juga bisa digabungkan dengan metode yang lain, seperti penelitian yang dilakukan oleh Febryanto (2015) untuk membuat model prediksi hujan pada sub daerah aliran sungai menggunakan metode gabungan transformasi WAVELET-ANFIS pada DAS Siak bagian hulu dengan komposisi data training 50 % dan data testing 50 %, menghasilkan nilai korelasi $R = 0,741$.

Dengan merujuk keberhasilan beberapa penelitian di atas, maka tujuan utama dari penulisan tesis ini adalah melakukan pengembangan model penelusuran banjir menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* pada sungai Rokan Kanan, daerah yang akan dijadikan sebagai objek penelitian adalah Dusun Ujung Gurap Desa Rambah Hilir Tengah yang berada pada bagian hilir dengan Kota Pasir Pengaraian berada pada bagian hulu dengan jarak lebih kurang 41,8 km. Pada penelitian ini akan diteliti proses penelusuran banjir dari Kota Pasir Pengaraian menuju Dusun Ujung Gurap Desa Rambah Hilir Tengah.

Perumusan Masalah

Dari ulasan latar belakang dan identifikasi masalah diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana keandalan (*reliability*) model prediksi penelusuran banjir pada sungai Rokan Kanan tepatnya dari Kota Pasir Pengaraian dibagian menuju Dusun Ujung Gurap dengan menggunakan metode ANFIS disertai proses yang bervariasi.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan pengembangan model penelusuran banjir pada sungai Rokan Kanan, khususnya antara Kota Pasir Pengaraian dan Dusun Ujung Gurap dengan menggunakan metode softcomputing *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS).

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat dijadikan sebagai metode alternatif dalam prediksi penelusuran banjir dan bagi pihak pemerintah dapat menjadikan pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk membuat sebuah metode peramalan banjir dan pengendalian banjir yang akan menjadi sebuah sistem peringatan dini terhadap terjadinya banjir secara ilmiah.

Batasan Masalah

Mengingat kompleksnya permasalahan dalam sistematika yang dilakukan pada penelitian ini guna memprediksi penelusuran banjir yang terjadi pada aliran sungai Rokan Kanan, maka rasanya perlu diberi batasan-batasan yang dilakukan pada penelitian ini agar lebih fokus dan terarah sebagai berikut :

1. Data yang akan digunakan adalah berupa data sekunder yaitu data ketinggian muka air sungai Rokan Kanan pada dua titik penelitian yaitu AWLR Pasir Pengaraian dan AWLR Ujung Gurap yang didapatkan dari Balai Wilayah Sungai Sumatera III (BWSS III) Pekanbaru Provinsi Riau.
2. Program bantu yang digunakan untuk mendapatkan *output* berupa prediksi yang diselesaikan dengan *software Matlab 8.5.0.197613(R2015a)*.

TINJAUAN PUSTAKA

Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai atau sering disingkat DAS (*cathment, watershed, drainage basin*) dalam Litbang Dephut (1999), adalah daerah yang dialiri oleh sungai atau sistem sungai yang saling berhubungan sedemikian rupa sehingga aliran yang berasal dari daerah tersebut keluar melalui aliran tunggal.

Stasiun Hidrometri AWLR (*Automatic Water Level Recorder*)

AWLR merupakan alat yang digunakan untuk mengukur perubahan tinggi muka air disungai yang bekerja secara otomatis (Harto, 1993). AWLR mempunyai kemampuan untuk mencatat data perubahan tinggi muka air secara terus menerus. Data tersebut merupakan data lapangan yang dikumpulkan dari stasiun hidrologi yang berada pada pinggir sungai. Pencatatan tinggi muka air, baik yang otomatis maupun yang manual dibuat dengan elevasi rata-rata harian lalu dicari harga maksimum tinggi muka air dan waktu terjadinya harga maksimum tersebut.

Metode *Softcomputing*

Softcomputing adalah suatu model pendekatan untuk melakukan komputasi dengan meniru akal manusia dan memiliki kemampuan untuk menalar dan belajar pada lingkungan yang penuh dengan ketidakpastian dan ketidaktepatan, menurut Wikipedia *softcomputing* adalah salah satu cabang ilmu dari *computer science* yang menggunakan solusi tidak exact yang dibangun berdasarkan pengetahuan manusia.

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) atau Metode jaringan Syaraf Tiruan adalah suatu metode yang merupakan penggabungan dari kemampuan jaringan neural (*neural network*) dan

logika samar (*fuzzy*) sebagai universal *approximator*, yaitu kemampuan mendekati suatu fungsi, sehingga dapat melakukan interpolasi dan ekstrapolasi.

ANFIS adalah arsitektur 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 algoritma pembelajaran terhadap sekumpulan data. Pada ANFIS memungkinkan juga aturan - aturan untuk beradaptasi.

Adanya proses kalibrasi (pembelajaran) yang baik diharapkan akan memberikan nilai hasil verifikasi (pengujian) yang baik pula. Nilai RMSE terkecil adalah nilai RMSE sebelum terjadinya redundan. Ketika nilai ROI yang dimasukkan menghasilkan RMSE terkecil dan konstan terhadap nilai RMSE dengan ROI di bawahnya, maka proses sudah semakin dekat dengan redundan. Oleh karena itu, uji coba nilai ROI harus dihentikan

Pada proses kalibrasi diharuskan pola prediksi hampir mendekati pola data sebenarnya sehingga nilai RMSE harus diusahakan sekecil mungkin. Sedangkan pada tahap verifikasi tidak ada ketentuan besarnya nilai RMSE karena RMSE yang akan terjadi pasti akan lebih besar dari RMSE kalibrasi. Hal ini disebabkan karena proses kalibrasi adalah proses pembelajaran yang di dalamnya dilakukan penyesuaian nilai prediksi dengan nilai sebenarnya, sedangkan proses verifikasi adalah tahap peramalan yang mengeluarkan nilai prediksi berdasarkan aturan kalibrasi yang terbentuk tanpa adanya penyesuaian antara nilai sebenarnya dengan prediksi. Perhitungan nilai RMSE disajikan seperti pada Persamaan 2.1 di bawah ini:

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{\sum(I_{di} - I_{mi})^2}{n}\right)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Untuk perhitungan nilai korelasi (R) disajikan seperti pada Persamaan 2.2 di bawah ini.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} I_d I_m}{\sum_{i=1}^{i=n} \Delta L_d^2 \sum_{i=1}^{i=n} \Delta L_m^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{i=n} I_d I_m &= \sum_{i=1}^{i=n} (I_{di} - \bar{I}_{dr}) (I_{mi} - \bar{I}_{mr}) \\ \sum_{i=1}^{i=n} I_d^2 &= \sum_{i=1}^{i=n} (I_{di} - \bar{I}_{dr})^2 \\ \sum_{i=1}^{i=n} I_m^2 &= \sum_{i=1}^{i=417} (I_{mi} - \bar{I}_{mr})^2 \\ \sum_{i=1}^{i=n} (I_{di} - \bar{I}_{dr})^2 &= \sum_{i=1}^{i=417} (I_{mi} - \bar{I}_{mr})^2 \end{aligned}$$

dengan:

- I_{di} = pengamatan pada hari ke-i,
- I_{mi} = prediksi pada hari ke-i,
- \bar{I}_{dr} = aktual rata-rata,
- \bar{I}_{mr} = prediksi rata-rata,
- n = jumlah data yang diramalkan.

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian disusun berdasarkan latar belakang penelitian, identifikasi masalah, perumusan masalah serta tujuan utama dari penelitian.

Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada kawasan DAS Rokan tepatnya dialiran sungai Rokan Kanan yang lebih dikenal dengan nama sungai Batang Lubuh. Aliran sungai ini melewati dua provinsi yaitu Provinsi Sumatera Utara dan Provinsi Riau, tiga wilayah Kabupaten yaitu Kabupaten Padang Lawas, Kabupaten Rokan Hulu dan Kabupaten Rokan Hilir. Khusus untuk penelitian ini mengambil dua titik Pengamatan yaitu pada stasiun AWLR Pasir Pengaraian dan stasiun AWLR Ujung Gurab.

Pengumpulan Data

Untuk data sekunder akan didapatkan dengan membuat surat permintaan data kepada instansi terkait sesuai dengan jenis data yang akan diminta, dalam hal ini adalah Balai Wilayah Sungai (BWS) Sumatera III

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Prediksi banjir pada penelitian ini berdasarkan variabel *input* yang digunakan, variabel

tersebut berupa nilai debit sungai Rokan Kanan, dan variabel *output* juga berupa nilai debit.

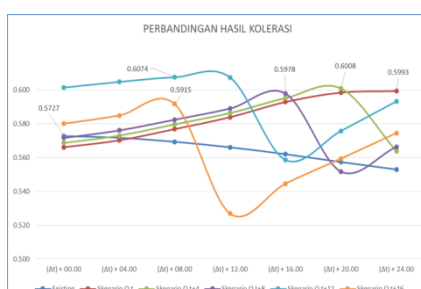
Input dan *Output* target yang digunakan berbeda beda terhadap model yang akan dibangun, tergantung skenario dan variasi data yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan model peramalan berupa nilai *input* sekarang dan berapa hasil *output* sekarang. Sebelum dilakukan penelusuran banjir, proses-proses yang harus dilakukan untuk membangun model ANFIS adalah proses *training* (kalibrasi) dan *testing* (verifikasi) serta *Checking* (Validasi) yang dilanjutkan dengan penghitungan prediksi banjir, nilai parameter statistik koefisien korelasi (R) akan dihitung dengan menggunakan hasil prediksi dan data observasi yaitu data AWLR Ujung Gurap.

Pembahasan Hasil Prediksi

Penggunaan bebarapa skenario perhitungan dan variasi perbandingan data untuk mendapatkan pemodelan penelusuran banjir pada penelitian ini, menghasilkan prediksi-prediksi yang berbeda-beda dan dapat dikelompokkan sesuai dengan hasil yang didapatkan. Perbandingan nilai korelasi tertinggi pada setiap tahapan skenario dan variasi perbandingan data dengan nilai korelasi existing dapat disajikan pada tabel berikut ini :

Korelasi	(At)+00.00	(At)+04.00	(At)+08.00	(At)+12.00	(At)+16.00	(At)+20.00	(At)+24.00
Existing	0.5727	0.5716	0.5693	0.5660	0.5620	0.5573	0.5529
Skenario Q t	0.5661	0.5701	0.5768	0.5838	0.5928	0.5983	0.5993
Skenario Q t+4	0.5686	0.5729	0.5796	0.5863	0.5951	0.6008	0.5637
Skenario Q t+8	0.5715	0.5760	0.5823	0.5889	0.5978	0.5517	0.5663
Skenario Q t+12	0.6013	0.6047	0.6074	0.6072	0.5586	0.5757	0.5932
Skenario Q t+16	0.5800	0.5848	0.5915	0.5268	0.5446	0.5593	0.5745

Gambaran nilai perbandingan hasil kolerasi pada tabel diatas dapat dilihat dalam bentuk kurva pada gambar dibawah ini :



Dari tabel dan gambar diatas dapat dilihat bahwasanya dari seluruh hasil perhitungan prediksi debit ataupun data existing menunjukkan nilai korelasi tertinggi terjadi pada skenario Q t+12 dengan nilai R = 0,6074 pada saat $\Delta t+08$. Nilai korelasi tersebut menurut Suwarno (2008) juga dikelompokkan kedalam korelasi kuat ($0,50 < R \leq 0,75 = \text{korelasi kuat}$).

KESIMPULAN

Skenario model terbaik pada penelitian ini didapatkan pada saat Q t+12 dengan variasi perbandingan data 80% untuk data *training* (kalibrasi) dan 20% untuk data *testing* (Verifikasi) yang menghasilkan nilai korelasi R = 0,6074. Menurut Suwarno (2008) model yang dihasilkan tersebut mempunyai tingkat korelasi kuat karena berada pada rentang nilai $0,50 < R < 0,75$.

SARAN

Penggunaan metode ANFIS pada saat menentukan nilai *Range Of Influence* (ROI) dalam penelitian ini masih menggunakan cara *Trial and Error* dan menggunakan nilai satu angka dibelakang koma, untuk penelitian yang berkelanjutan perlu dilakukan optimasi parameter *Range Of Influence* untuk mengetahui kepastian nilai ROI dengan mencoba menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) dalam ANFIS yang bertujuan untuk memudahkan mencari nilai ROI terbaik dalam memproses model ANFIS untuk peramalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 2017. "Hidrologi dan pengelolaan Derah Aliran Sungai", Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Bagus Fatkhurrozi, M. Aziz Muslim, dan Didik R. Santoso, 2012 "Penggunaan Artificial Neuro Fuzzy Inference Sistem (ANFIS) dalam Penentuan Status Aktivitas Gunung

Merapi”, Jurnal EECCIS Vol. 6, No. 2, Desember 2012.

Fausset, L,(1996), Fundamentals of Neural Networks, Architectures, Algorithms, and Applications, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Febryanto, Manyuk Fauzi dan Imam Suprayogi, (2015), Model Prediksi Hujan Pada Sub Daerah Aliran Sungai Menggunakan Metode Gabungan Transformasi Wavelet-Anfis, (Studi Kasus : Das Siak Bagian Hulu).

Jang, J.S.R, (1993), ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System,

Journal IEEE Transaction on System Man and Cybernetic, volume 23 nomor 3, halaman 665- 685.

Nguyen Khac Tien Phuoc, 2012.” Adaptive neuro-fuzzy inference system For flood forecasting in a large river System”, A thesis submitted to the Nanyang Technological University.

S. Hartati, dan S. Kusumadewi, 2006, “Neuro-Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf”, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Sri Harto Br. 1993. “Analisis Hidrologi”, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Sri Harto. 2000. “Hidrologi”, Jakarta: Gramedia.