

PENGEMBANGAN MODEL PERSAMAAN RATING CURVE PADA STASIUN AWLR MENGUNAKAN ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM UNTUK MENDUKUNG SISTEM DETEKSI DINI BANJIR

Imam Suprayogi¹, Manyuk Fauzi²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru, Riau 28293

email: drisuprayogi@yahoo.com

Abstrak

Data debit aliran sungai memiliki peran yang sangat strategis guna menghasilkan manajemen, perencanaan, dan penggunaan sumber daya air secara akurat dan berkelanjutan. Kendala mendasar yang dihadapi di DAS (catchment area) Siak adalah tidak adanya data debit sejak tahun 2009 untuk kebutuhan analisis hidrologi. Kondisi yang diilustrasikan di atas, diakibatkan tidak dipublikasikannya persamaan liku kalibrasi yang mendeskripsikan pola hubungan antara debit aliran sebagai fungsi waktu di Stasiun Pos Duga Air Otomatis (Automatic Water Level Record) Pantai Cermin oleh Balai Wilayah Sungai III Sumatera Provinsi Riau. **Tujuan utama penelitian** adalah mengembangkan model persamaan liku kalibrasi (rating curve) guna pengalihragaman (transformation) tinggi muka air sungai (water level river) menjadi debit aliran (discharge) di Stasiun Pos Duga Air Otomatis (AWLR) Pantai Cermin sehingga dapat diperoleh informasi debit yang akurat yang sangat berguna sebagai penguatan data sistem deteksi dini banjir (flood early warning system) Sungai Siak di masa mendatang mempertimbangkan DAS Siak dikategorikan DAS Kritis Nasional. **Metode pendekatan** yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). Sumber data yang dipergunakan untuk pengembangan model adalah rekaman data yang bersumber dari Pos Duga Air Otomatis Stasiun Pantai Cermin yang mendeskripsikan pola hubungan antara ketinggian air sungai terhadap fungsi waktu atau lazim disebut stage hydrograph dari tahun 2002–2008 oleh Balai Wilayah Sungai (BWS) III Sumatera Provinsi Riau. Data tersebut selanjutnya dilakukan transformasi menjadi data debit harian dengan menggunakan persamaan rating curve. **Hasil utama penelitian membuktikan** bahwa persamaan liku kalibrasi tahun 2009 berdasarkan hasil peramalan menggunakan model ANFIS di Stasiun Pos Duga Air Pantai Cermin mengikuti persamaan $Q = 22,279 \times H^{1,3036}$ dengan diuji menggunakan nilai parameter statistik koefisien korelasi yang memiliki jangkauan ketepatan peramalan untuk satu tahun ke depan ($t + 1$) sebesar 0,9999587 sehingga model diklasifikasikan memiliki derajat korelasi mendekati sempurna dengan nilai R mendekati 1.

Kata kunci : model, peramalan, tinggi muka air, liku kalibrasi, debit aliran, ANFIS

PENDAHULUAN

Sungai Siak merupakan salah satu sungai besar yang mendapatkan perhatian secara nasional dan juga masuk dalam kategori sungai strategis nasional berdasarkan Keputusan Presiden Nomor 12 Tahun 2012 tentang Penetapan Wilayah Sungai, karena sungai tersebut memiliki fungsi dan peranan yang sangat besar dalam perkembangan wilayah dan ekonomi baik secara lokal, regional maupun nasional. Sungai Siak adalah salah satu sungai yang secara keseluruhan dari hulu hingga hilirnya berada di wilayah Provinsi Riau yang melewati beberapa Kabupaten/Kota, yaitu Kabupaten Rokan Hulu, Kabupaten Kampar, Kota Pekanbaru, Kabupaten Bengkalis dan Kabupaten Siak.

Data debit aliran memiliki peran yang strategis guna menghasilkan manajemen, perencanaan, dan penggunaan sumber daya air secara akurat dan berkelanjutan. Kendala mendasar yang dihadapi dalam upaya pengelolaan, perencanaan, dan penggunaan sumber daya air secara akurat serta berkelanjutan di DAS Siak khususnya Sub DAS Siak bagian Hulu adalah keterbatasan data debit untuk kebutuhan analisis hidrologi. Dipertegas oleh **Sudiana dkk (2007)** problem mendasar yang dihadapi oleh Sungai Siak dengan merujuk dari Paparan Menteri Pekerjaan Umum pada acara Seminar Penyelamatan dan Pelestarian DAS Siak di Pekanbaru 6 Agustus 2005 bahwa DAS Siak termasuk DAS kritis, kawasan rawan bencana banjir dan longsor, terjadi berbagai pencemaran, erosi dan pendangkalan. Kejadian banjir di Provinsi Riau akibat meluapnya Sungai Siak dan anak-anak sungainya merupakan indikator adanya perubahan ekosistem pada DAS tersebut. Perubahan ekosistem tersebut disebabkan oleh wilayah dalam DAS Siak merupakan daerah yang potensial berkembang bagi kegiatan sosial ekonomi masyarakat.

Masih merujuk dari Paparan Menteri Pekerjaan Umum yang mengacu hasil penelitian yang dilakukan oleh Tim Fakultas Teknik UGM Yogyakarta bahwa Sungai Siak memiliki kedalaman 20-29 meter merupakan sungai terdalam di Indonesia, namun saat ini terjadi penumpukan sedimen di dasar sungai yang telah mencapai ketinggian 8 meter atau sepertiga dari kedalaman sungai. Hal ini mengindikasikan adanya erosi yang cukup besar di bagian hulu sungai. Adanya sedimen dapat mengganggu pelayaran terutama saat muka air surut di musim kemarau. Di lain pihak, dalam musim hujan dapat terjadi bahaya banjir karena berkurangnya kapasitas sungai dalam menampung aliran air.

Di sementara lain Balai Wilayah Sungai (BWS) III Sumatera selaku instansi yang berwenang mempublikasikan persamaan liku kalibrasi secara kontinyus tiap tahun, namun sejak tahun 2009 data yang dipublikasikan hanyalah pola hubungan fluktuasi tinggi muka air sungai sebagai fungsi waktu pada Stasiun AWLR Pantai Cermin dengan tanpa menyertakan persamaan *rating curve* nya. Dalam upaya mengatasi persoalan keterbatasan data debit di Sungai Siak seperti yang diilustrasikan di atas, maka pentingnya mengembangkan persamaan *rating curve* guna mentransformasikan pola hubungan tinggi muka air sungai sebagai fungsi waktu menjadi debit alirandi Sungai Siak untuk mendukung kebutuhan analisis hidrologi.

Banyak fenomena keteknikan 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. Dalam pemodelan, tentu mengandung ketidaksamaan atau kesalahan. Kesalahan tersebut mungkin dikarenakan skemanya, asumsi-asumsi, ataupun karena faktor manusianya (**Pratikto, 1999**). Kesalahan merupakan bentuk ketidakberdayaan ilmuwan atas ketidakmampuannya dalam menerangkan 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 (**Iriawan, 2005**).

Pada dekade terakhir ini, model *softcomputing* sebagai cabang dari ilmu kecerdasan buatan diperkenalkan sebagai alat peramalan seperti sistem berbasis pengetahuan, sistem pakar, logika *fuzzy*, *artificial neural network* (ANN) dan algoritma genetika (**Purnomo, 2004**). Masih dikatakan **Purnomo (2004)** bahwa 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. Komponen *softcomputing* telah banyak diaplikasikan dalam upaya pengembangan bidang rekayasa keairan diantaranya adalah Metode ANN dan *Fuzzy Logic*, seperti halnya penelitian yang telah dilakukan oleh **Atiaa (2015)** dengan mengembangkan model hubungan antara tinggi muka air dengan debit di Sungai Ghiraff, Irak. Hasil penelitian membuktikan bahwa hasil dari pengembangan model hubungan antara tinggi muka air dengan debit menggunakan pendekatan M5Tree, ANN dan *Fuzzy Inference System* (FIS) Engine bahwa M5Tree memiliki unjuk kerja lebih baik bila dibandingkan dengan ANN dan FIS Engine yang diuji menggunakan derajat koefisien korelasi (R).

Adakalanya 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 metode gabungan komponen *softcomputing* antara *Fuzzy Logic* dan ANN yang menghasilkan sistem *neuro fuzzy* struktur *adaptive neuro fuzzy inference system* atau yang lebih dikenal algoritma ANFIS. Menurut **Fausset (1996)**, keunggulan sistem dari ANN adalah kemampuan belajar terhadap informasi numerik melalui algoritma belajar untuk memperbaiki parameter pada fungsi pembobot dan fungsi aktivasinya. Kelebihan inilah oleh Jang dimanfaatkan untuk menentukan parameter fungsi keanggotaan sistem *fuzzy*. Sistem *fuzzy* yang menentukan parameter fungsi keanggotaan dengan memanfaatkan arsitektur ANN dikenal dengan sistem *neuro-fuzzy*. Roger Jang pada tahun 1993 mengusulkan untuk melakukan pemilihan parameter fungsi keanggotaan dengan bantuan ANN. Dengan menggunakan cara ini maka perancangan fungsi keanggotaan tidak lagi dilakukan secara manual sesuai kepakaran yang ingin dimasukkan ke dalam sistem cerdas melainkan menggunakan aturan pembelajaran berdasarkan data latih.

Selanjutnya **Bhist, dkk (2011)** telah melakukan penelitian dengan mengaplikasikan Metode ANFIS untuk kebutuhan peramalan persamaan liku kalibrasi yang mendiskripsikan pola hubungan tinggi muka air menjadi debit di Sungai Godavari India. Hasil penelitian membuktikan bahwa hasil peramalan diuji menggunakan derajat koefisien korelasi (R) dan koefisiensi efisiensi

(R^2) menggunakan pendekatan ANFIS memiliki unjuk kerja lebih baik bila dibandingkan dengan *Multi Linear Regression* (MLR). Merujuk keberhasilan hasil penelitian perihal penerapan algoritma ANFIS dalam rekayasa bidang keairan yang diilustrasikan di atas, maka penetapan tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan model peramalan liku kalibrasi di stasiun Stasiun AWLR Pantai Cermin pada Sungai Siak Sub DAS Siak Hulu menggunakan ANFIS. Tujuan utama penelitian adalah menetapkan metode ANFIS untuk menyusun persamaan liku kalibrasi sehingga akan diperoleh informasi debit yang akurat untuk dijadikan sebagai salah satu input pengembangan sistem deteksi dini banjir Sungai Siak.

LANDASAN TEORI

Metode ANFIS

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.

Arsitektur ANFIS

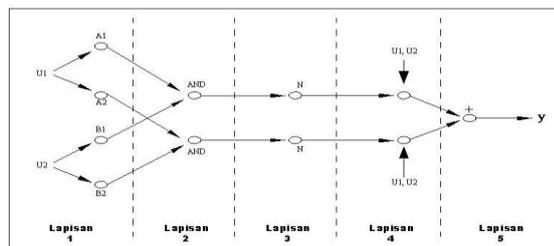
Menurut Jang, dkk (1997), misalkan ada 2 input x, y dan satu output z . Ada 2 aturan pada basis aturan model Sugeno :

Aturan 1 : *If x is A_1 and y is B_1 then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$*

Aturan 2 : *If x is A_2 and y is B_2 then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$*

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

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



Gambar 1. Struktur Jaringan ANFIS (Sumber : Jang dkk, 1997)

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

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

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 :

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

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*.

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

Output layer dikenal dengan *normalized firing strength*.

Hasil ini dikenal dengan nama *normalised firing strength*.

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

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

variabel \bar{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:

$$O_i^5 \text{ overall output} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

Algoritma Pembelajaran ANFIS

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

$$f = \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2$$

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

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

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*), *errorsinyal* akan merambat mundur dan parameter-parameter (a_i, b_i, c_i) akan diperbaiki dengan menggunakan metode *gradient descent*.

Meskipun dapat menggunakan algoritma *back propagation* atau *gradient descent* untuk mengidentifikasi parameter-parameter pada suatu jaringan adaptif, namun biasanya penggunaan algoritma ini membutuhkan waktu relatif lebih lama untuk konvergen. Pada tahun 1997 Jang menggabungkan antara *steepest descent* dan *least square estimator* untuk mengidentifikasi parameter-parameter linier.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bagian Hulu DAS Siak dengan pemilihan lokasi stasiun pos duga air otomatis Pantai Cermin. Selanjutnya lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 seperti di bawah ini.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} Q_p Q_m}{\left[\sum_{i=1}^{i=N} \Delta Q_p^2 \sum_{i=1}^{i=N} \Delta Q_m^2 \right]^{1/2}}$$

$\Delta Q_p = Q_{pi} - \bar{Q}_p$ dan $\Delta Q_{mi} = Q_{mi} - \bar{Q}_{mi}$ Dengan Q_p adalah debit pengukuran (m^3/dt),

Klasifikasi kekuatan derajathubungan berdasarkan hasil nilai koefisien korelasi disajikan seperti pada Tabel 2 di bawah ini (Suwarno, 1999).

Tabel 2. Kriteria Nilai Koefisien Korelasi (R) serta Klasifikasi Derajat Hubungan

Nilai koefisien Korelasi (R)	Derajat Hubungan
R=0	Tidak Ada Korelasi
0<R<0.25	Korelasi Sangat Lemah
0.25<R<0.50	Korelasi Cukup
0.50<R<0.75	Korelasi Kuat
0.75<R<0.99	Korelasi Sangat Kuat
R=1	Sempurna

Sumber : **Suwarno, 1999**

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap Training dan Testing Data

Ada dua tahap yang sangat penting pada proses peramalan menggunakan algoritma ANFIS yaitu proses training data dan proses testing data (Suprayogi, 2009). Aplikasi dengan struktur ANFIS membutuhkan data training dan data testing. Keduanya berisi pola *input/output*. Jika training data dipergunakan untuk melatih struktur ANFIS, testing data digunakan untuk menilai unjuk kerja struktur ANFIS.

Pada tahap training data untuk Model Skema 1 menggunakan rentang data dari tanggal 3 Januari 2002 sampai 2 Juli 2005 yang bersumber dari Stasiun AWLR Pantai Cermin yang mendiskripsikan pola hubungan antara tinggi muka air (H_t) terhadap fungsi waktu sebagai input model pada proses running model menggunakan program bantu MATLAB 7.0. Algoritma ANFIS sangat dipengaruhi oleh salah satu parameter penting *Range of Influence (ROI)* yang akan berimplikasi terhadap jumlah dari basis aturan. Selanjutnya pada proses training data dilakukan pencocokan nilai ROI dengan melakukan *trial* dan *error* untuk dilakukan penetapan nilai ROI terbaik berdasarkan uji parameter statistik Koefisien Korelasi (R) dengan mendasarkan nilai yang mendekati 1.

Tabel 3. Penetapan Nilai ROI Terbaik pada Proses Training Data (Skema 1)

ROI	Epoch	Koefisien korelasi (R)
0.12	2.000	0.999999
0.15	2.000	0.999985
0.20	2.000	0.999989
0.25	2.000	0.999990

Sumber : Running Model MATLAB

Merujuk dari Tabel 3 di atas bahwa pada tahap training data untuk nilai ROI sebesar 0.12 akan memberikan nilai koefisien korelasi terbaik sebesar 0.99999. Langkah selanjutnya untuk skema yang

lain untuk kebutuhan analisis menggunakan tahapan yang sama seperti halnya skema 1 yang hasil selengkapnya disajikan seperti pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Penetapan Nilai ROI Terbaik Berbagai Skema pada Proses Training Data

Skema	ROI	Epoch	Koefisien Korelasi
1	0.12	2000	0.999999
2	0.12	2000	0.999995
3	0.1	500	0.999934
4	0.2	2000	0.999886
5	0.2	2000	0.999833

Sumber : Hasil running Model MATLAB

Testing Data

Pada tahap testing model ANFIS susunan data kombinasi yang digunakan adalah sejumlah 30% dari total data perekaman tinggi muka air dan data debit pada Stasiun AWLR Pantai Cermin dari tahun 2002-2006 dengan urutan data dimulai dari data ke 1277 hingga 1823. Langkah selanjutnya setelah dilakukan analisis hasil training data parameter ROI diperoleh digunakan sebagai input model pada tahapan testing yang hasil selengkapnya disajikan seperti pada Tabel 5 di bawah ini.

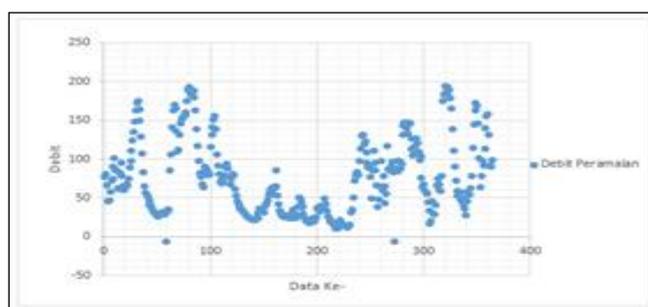
Tabel 5. Penetapan Nilai ROI Terbaik Berbagai Skema pada Proses Testing Data

Skema	ROI	Epoch	Koefisien Korelasi
1	0.12	2000	0.999998
2	0.12	2000	0.999987
3	0.1	500	0.9999853
4	0.2	2000	0.999753
5	0.2	2000	0.999610

Sumber : Hasil Simulasi Model

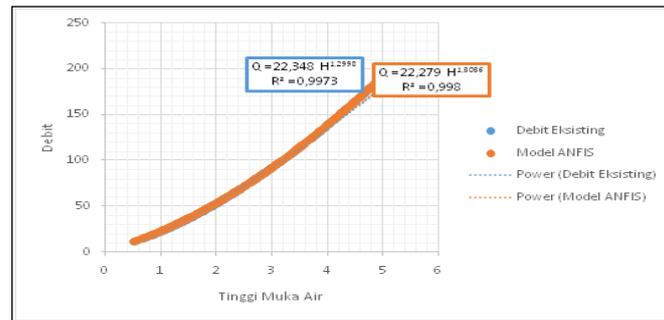
Peramalan Model ANFIS

Data yang digunakan pada tahap peramalan ini adalah data selain dari data yang digunakan pada tahap pelatihan, pengujian dan validasi dari model. Data yang digunakan ialah data debit tahun 2008 pada Stasiun Pantai Cermin. Adapun hasil peramalan debit yang hasilnya disajikan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Pencocokan Debit Model Peramalan ANFIS dengan Debit Observed tahun 2008

Hasil yang didapat dari peramalan debit tahun 2008 pada Stasiun Pantai Cermin tersebut ialah nilai R dan RMSE berturut-turut 0.99995 dan 0.4456 termasuk kedalam korelasi sangat kuat. Setelah dilakukan proses peramalan debit, langkah selanjutnya dilakukan penetapan persamaan dasar rating curve dengan menggunakan pendekatan Persamaan Power yang hasilnya disajikan seperti pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Hubungan antara Debit dan Tinggi Muka Air Untuk Data Eksisting dan Model ANFIS

Merujuk dari Gambar 4 pola hubungan antara tinggi muka air terhadap nilai debit menggunakan metode ANFIS mengikuti persamaan $Q = 22.279H^{1.3036}$ dengan nilai korelasi 0,998. Nilai korelasi diklasifikasikan tingkat korelasi yang sangat kuat. Dengan indikasi nilai korelasi yang sangat kuat maka persamaan *rating curve* alternatif yang dihasilkan menggunakan pendekatan ANFIS dapat dilakukan untuk menganalisis nilai debit pada tahun 2009 pada stasiun AWLR Pantai Cermin.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Pada tahap pembuatan model ANFIS menghasilkan tiga nilai koefisien korelasi (R) terbaik yang terdapat pada kombinasi 1 dengan menggunakan nilai ROI 0.12 dan Epoch 2000 menghasilkan nilai korelasi pada tahap pelatihan sebesar 0.99999, untuk tahap pengujian nilai korelasi sebesar 0.99998 dan untuk tahap validasi nilai korelasi sebesar 0.99999 dengan tingkat korelasi yang sangat kuat dengan rentang nilai $0.75 < R < 0.99$
2. Proses peramalan debit Stasiun Pantai Cermin tahun 2008 menghasilkan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0.9999587 dan tingkat kesalahan (RMSE) adalah 0.554606. Berdasarkan hasil korelasi, model tersebut mempunyai tingkat korelasi yang sangat kuat dengan rentang nilai $0.75 < R < 0.99$.
3. Persamaan *rating curve* tahun 2009 berdasarkan hasil peramalan menggunakan model ANFIS di Stasiun AWLR Pantai Cermin mengikuti persamaan $Q = 22.279 \times H^{1.3036}$ dengan diuji menggunakan nilai parameter statistik koefisien korelasi yang memiliki jangkauan ketepatan peramalan untuk satu tahun ke depan ($t + 1$) sebesar 0.9999587 sehingga model diklasifikasikan memiliki derajat korelasi mendekati sempurna dengan nilai R mendekati nilai 1.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ketua LPPM Universitas Riau yang telah berkenan memberi bantuan dana penelitian melalui Dana BOPTN Universitas Riau Tahun 2018 untuk skema Unggulan Perguruan Tinggi, BWS III Sumatera yang telah memberikan informasi dan data – data guna mendukung penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Atiaa, A. M., 2015, Modelling of stage-discharge relationship for Gharraf River, southern Iraq by using data driven techniques: A case study. *Water Utility Journal* Vol 9 pp : 31-46.
- Fausset, L., 1996, Fundamentals of Neural Networks, Architectures, Algorithms, and Applications, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- 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
- Kusumadewi, S, 2002, *Artificial Intelligence Teori Dan Aplikasinya*, Graha Ilmu, Yogyakarta, Yogyakarta
- Purnomo, M, H, 2004, *Teknologi Soft Computing : Prospek dan Implementasinya Pada Rekayasa Medika dan Elektrik*, Pidato Pengukuhan Untuk Jabatan Guru Besar Dalam Ilmu Artificial Intelligence Pada Fakultas Teknologi Industri (TI) Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- 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
- Siang, J. S., 2009, *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan MATLAB (Edisi II)*. Andi Offset, Yogyakarta.
- Sudiana, N., Soewandhita, H., 2007, *Pola Konservasi Sumberdaya Air Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak*, *Jurnal Alami* Volume 12 Nomor 1, Tahun 2007.
- Suprayogi, I, 2009, *Model Peramalan Intrusi Air Laut di Estuari Menggunakan Softcomputing*, *Disertasi Doktor* Bidang Keahlian Manajemen dan Rekayasa Sumberdaya Air Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), Surabaya
- Suwarno, 1999, *Statistik Hidrologi*, PT. Nova, Bandung
- Sudiana, N., Soewandhita, H., 2007, *Pola Konservasi Sumberdaya Air Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak*, *Jurnal Alami* Volume 12 Nomor 1, Tahun 2007.