



## Pemodelan Curah Hujan-Limpasan dengan **Aplikasi** **Jaringan Syaraf Tiruan** (*Artificial Neural Networks*)

Pengalihragaman curah hujan menjadi limpasan pada suatu daerah aliran sungai adalah suatu fenomena hidrologi yang sangat kompleks, dimana proses ini merupakan proses nonlinear, dengan waktu yang berubah-ubah dan terdistribusi secara spasial. Untuk mendekati fenomena-fenomena tersebut, maka telah dikembangkan suatu analisa sistem hidrologi dengan menggunakan model yang merupakan penyederhanaan kenyataan alam yang sebenarnya. Model tersebut dibentuk oleh satu set persamaan matematis yang mencerminkan perilaku dari parameter dalam hidrologi.

Analisis mengenai hubungan curah hujan-limpasan untuk daerah aliran sungai (DAS) dapat didekati dengan model *Artificial Neural Networks* (ANN). ANN *multi layer perceptron* dengan metode *back propagation* digunakan untuk mempelajari hubungan hujan-limpasan pada DAS Tk. Nyuling, DAS Tk. Jogading dan DAS Tk. Petanu serta memverifikasi model tersebut secara statistik berdasarkan nilai *mean square error* (MSE), *root mean square error* (RMSE), kesalahan absolute rata-rata (KAR) dan nilai koefisien korelasi ( $r$ ).

Model *Artificial Neural Networks* metode *Multi Layer Perceptron* (MLP) dengan pembelajaran metode *back propagation* dapat diterapkan dalam modelisasi hubungan curah hujan limpasan untuk DAS di Bali. Secara grafis, untuk proses *training* maupun *testing*, hubungan curah hujan dengan limpasan telah terpolakan dengan baik. Begitu juga dilihat dari kinerja, untuk proses *training* maupun *testing*, parameter-parameter statistik yang digunakan memberikan hasil yang relatif baik.

UNR  
Press

Penerbit Anggota IKAPI

Universitas Ngurah Rai  
Jl. Padma, Lingkungan Saba, Kel. Penatih,  
Kec. Denpasar Timur, Prov. Bali  
+6287861611593  
unr.press@unr.ac.id

Putu Doddy Heka Ardana



## Pemodelan Curah Hujan-Limpasan dengan **Aplikasi** **Jaringan Syaraf Tiruan** (*Artificial Neural Networks*)

Putu Doddy Heka Ardana

Pemodelan Curah Hujan-Limpasan dengan **Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan**

**PEMODELAN**  
**CURAH HUJAN-LIMPASAN**  
**DENGAN APLIKASI**  
**JARINGAN SYARAF TIRUAN**  
*(ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS)*

Dr. Ir. Putu Doddy Heka Ardana, S.T., M.T

**PEMODELAN CURAH HUJAN-LIMPASAN  
DENGAN APLIKASI JARINGAN SYARAF TIRUAN  
(ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS)**

**Diterbitkan oleh:**

UNR Press

Jl. Padma-Kampus Universitas Ngurah Rai, Lingkungan Saba, Kel.

Penatih, Kec. Denpasar Timur, Bali.

Telp. Telp (0361) 462617

Email: ngurahrai-dps@yahoo.com

Copyright © 2023 UNR Press

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk

Apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit

All right reserved

**Penulis:**

Dr. Ir. Putu Doddy Heka Ardana, S.T., M.T

**Tim Editor:**

Bayu Mahaputra

**Ilustrasi dan Sampul Buku:**

I Putu Gede Pande Wiratama

**Tata Letak dan layout:**

I Putu Gede Pande Wiratama

**ISBN : 978-602-72208-4-3**

# DAFTAR ISI

Pengantar .....	4
Pendahuluan .....	6
<b>Bab 1</b>	
<b>Daerah Aliran Sungai (DAS) dan Limpasan Hujan</b>	<b>15</b>
A. Hujan Di Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	15
B. Limpasan.....	16
C. Daerah Aliran Sungai (DAS).....	18
D. DAS dan Hubungan Hujan-Limpasan .....	20
<b>Bab</b>	
<b>Model Dalam Hidrologi .....</b>	<b>24</b>
A. Klasifikasi Model .....	24
B. Pemodelan Hujan – Limpasan.....	28
<b>Bab 3</b>	
<b><i>Artificial Neural Networks Architecture (ANN) .....</i></b>	<b>31</b>
A. Kerangka Kerja <i>Artificial Neural Networks Architecture (ANN)</i> .....	31
B. Algoritma Pembelajaran ( <i>Learning Algorithm</i> ) .....	33
C. Learning Spatiotemporal Patterns .....	35
D. Perhitungan Kesalahan ( <i>Error</i> ) .....	37
E. Metode <i>Multilayer Perceptron (MLP)</i> .....	37
F. Pemrograman ANN Metode <i>Back Propagation</i> Dengan MATLAB.....	44
<b>Bab 4</b>	
<b>Pemodelan Curah Hujan-Limpasan dengan Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan (<i>Artificial Neural Networks</i>).....</b>	<b>54</b>
A. Data Hidrologi DAS Tukad Nyuling, DAS Tukad Jogading, dan DAS Tukad Petanu .....	54
B. Analisis Hidrologi .....	61
C. Hubungan Curah Hujan Limpasan .....	65
D. Aplikasi Model Dalam Peramalan Debit.....	89
<b>Penutup .....</b>	<b>92</b>
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>95</b>
<b>Tentang Penulis.....</b>	<b>101</b>

# PENGANTAR

Puji Syukur yang sedalam-dalamnya kami persembahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas segala perkenan-Nya, penyusunan buku ini dapat direalisasikan.

Kehadiran buku yang berjudul Pemodelan Curah Hujan-Limpasan Dengan Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Networks*) diharapkan dapat menambah referensi buku-buku bertema hidrologi yang telah beredar sebelumnya. Kelahirannya didorong oleh masih minimnya referensi yang secara khusus membahas pemodelan curah hujan-limpasan dengan menggunakan aplikasi jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Networks*).

Untuk itu, terbitnya buku ini dimaksudkan sebagai pemaparan yang lebih lengkap mengenai hubungan curah hujan - limpasan yang terjadi di wilayah Provinsi Bali. Selain itu model *Artificial Neural Networks* (ANN) dapat dijadikan sebagai salah satu bentuk model kotak hitam (*black box model*) yang mampu menggambarkan hubungan non linier *input-output* dalam suatu proses hidrologi yang kompleks.

Diharapkan buku ini bermanfaat bagi pendidik, peserta didik maupun masyarakat umum yang ingin memahami

penggunaan model *Artificial Neural Networks* (ANN) berkaitan dengan curah hujan dan limpasan yang menggunakan sample data tiga Daerah Aliran Sungai (DAS) di Bali yaitu DAS Tukad Nyuling, DAS Tukad Jogading, dan DAS Tukad Petanu.

Sebagai karya manusia, penulisan ini tentu saja masih diwarnai dengan kekurangan. Untuk itu, segala kritik dan saran yang konstruktif dan mengarah pada kesempurnaan buku ini sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga buku ini bermanfaat bagi pembaca.

Dr. Ir. Putu Doddy Heka Ardana, S.T., M.T

# PENDAHULUAN

Proses hidrologi secara sederhana dapat digambarkan dengan adanya hubungan antara unsur masukan yakni hujan, proses dan keluaran yaitu berupa aliran (Hadi, 2006). Hubungan curah hujan-limpasan merupakan masalah penting dalam hidrologi dan menjadi komponen yang paling mendasar dalam proses evaluasi sumber daya air (Junsawang, et.al., 2007).

Hubungan curah hujan limpasan, khususnya pengalihragaman curah hujan menjadi limpasan, pada suatu daerah aliran sungai adalah suatu fenomena hidrologi yang sangat kompleks. Dimana, proses ini adalah non linear dengan waktu yang berubah-ubah dan terdistribusi secara spasial (Rajurkar, et.al., 2003). Untuk mendekati fenomena tersebut, maka telah dikembangkan suatu analisa sistem hidrologi dengan menggunakan model yang merupakan penyederhanaan kenyataan alam yang

sebenarnya (Hadihardaja dan Sutikno, 2005).

Seiring dengan berkembangnya dunia digital (komputer), sejumlah model telah dikembangkan untuk menirukan proses ini. Baik itu model empiris (*black box model*), model konseptual (*physical process based*), model kontinyu (*continous events*), *lumped* model, model distribusi dan model *single* (Setiawan dan Rudiyanto, 2004). Model-model tersebut dibentuk oleh satu set persamaan matematis yang mencerminkan perilaku dari parameter dalam hidrologi, sehingga parameter-parameter yang terkandung dalam persamaan tersebut mempunyai arti fisik (Adidarma, dkk., 2004).

Dalam beberapa tahun terakhir, *Artificial Neural Networks* (ANN) sebagai salah satu bentuk model kotak hitam (*black box model*), telah berhasil digunakan secara optimal untuk memodelkan hubungan non linier *input-output* dalam suatu proses hidrologi yang kompleks dan berpotensi menjadi salah satu alat pengambil keputusan yang menjanjikan dalam hidrologi (Dawson dan Wilby, 2001). ANN merupakan salah satu bentuk kecerdasan buatan yang mempunyai kemampuan untuk belajar dari data dan tidak membutuhkan waktu yang lama



dalam pembuatan model (Setiawan dan Rudiyanto, 2004). Model ini menggunakan satu set persamaan matematis linier dan non linier yang tidak memperhitungkan sama sekali proses fisiknya, yang terpenting dalam model ini adalah *output* yang dihasilkan mendekati yang sebenarnya (Adidarma, dkk., 2004). Selain itu, ANN juga mampu mengidentifikasi struktur model dan juga efektif dalam menghubungkan *input* serta *output* simulasi dan model peramalan (Setiawan dan Rudiyanto, 2004).

Penggunaan model ANN antara lain telah diterapkan dalam memodelkan hubungan curah hujan-limpasan dalam suatu DAS (Sharma *and* Murthy, 1998; Abdulla *and* Badranih, 2000; Setiawan dan Rudiyanto, 2004; Hadihardaja dan Sutikno, 2005; Kalteh, 2008). Dari hasil studi yang dilakukan oleh Setiawan dan Rudiyanto (2004), dilakukan pemodelan curah hujan-limpasan untuk DAS Cidanau dengan luas daerah pengaliran 226,2 km<sup>2</sup>. Data selama empat tahun (1996-1999) dianalisis dengan model *artificial neural networks* metode *back propagation*. Didapatkan model ANN dapat memprediksi dengan baik limpasan yang terjadi dalam DAS, dimana diperoleh nilai koefisien korelasi sebesar 0,962 atau 96,2% dan *root mean square error* (RMSE) 0,959. Sedangkan dari hasil studi yang dilakukan oleh Hadihardaja dan Sutikno

(2005), dilakukan pemodelan curah hujan-limpasan untuk DAS Way Sekampung-Pujorahayu dengan luas daerah pengaliran 1696 km<sup>2</sup>. Data yang dipergunakan adalah data selama kurun waktu 19 tahun yakni dari tahun 1983 sampai tahun 2001.

Data curah hujan merupakan *input* sedangkan data debit merupakan variabel *output*. Pada penelitian tersebut digunakan empat arsitektur jaringan dengan model jaringan banyak lapisan (*multilayer net*) dan menggunakan metode pembelajaran *back propagation*. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh koefisien korelasi tertinggi sebesar 0,813 atau 81,3% dengan nilai *mean square error* (MSE) 0,008 dan nilai kesalahan absolute rata-rata (KAR) 0,447.

Menurut Gordon et.al (1992) dalam Asdak (2004), dua parameter mempunyai korelasi kuat apabila terletak dalam *range*  $0,8 \leq r \leq 1$ . Sehingga berdasarkan parameter-parameter statistik tersebut, ANN dapat diterapkan dalam modelisasi hubungan curah hujan-limpasan. Selain itu, model ANN juga telah diterapkan di dalam memprediksi debit sungai (Margiantono, 2003; Hu, et.al., 2001), untuk estimasi sedimen sungai (Cigizoglu, 2000), dan telah digunakan juga untuk memprediksi curah hujan sebagai dasar

perencanaan pola tanam padi dan palawija (Warsito, dkk., 2008; Pramudia, dkk., 2006) dalam keterkaitannya di bidang pertanian.

Berdasarkan hasil penelitian mengenai hubungan curah hujan-limpasan dengan model ANN, penggunaan obyek studi penelitian adalah DAS dengan luas area lebih besar dari 100 km<sup>2</sup>. Didapatkan hasil bahwa, model ANN telah dapat diterapkan dengan baik. Tetapi, untuk DAS dengan luas area kurang dari 100 km<sup>2</sup>, model ANN masih belum jelas penerapannya dikarenakan hubungan curah hujan-limpasan cenderung mengarah ke proses linieritas (Sohail, et.al, 2008).

Terkait dengan luasan DAS, Indonesia memiliki 5.590 DAS. Keragaman geografis menyebabkan luas masing-masing DAS umumnya kecil, sekitar 86,6% dengan luas kurang dari 500 km<sup>2</sup>. Dari prosentase tersebut, sekitar 40% DAS dengan luas kurang dari 500 km<sup>2</sup> terdapat di wilayah Bali dan Nusa Tenggara (Amron, 1998 dalam Sunaryo, dkk., 2004).

Berdasarkan Permen PU No.: 13/PRT/M/2006, Provinsi Bali menjadi satu Wilayah Sungai Bali-Penida yang terbagi dalam 20 Sub Wilayah Sungai yang berada di sembilan Kabupaten dan Kota. Sungai-sungai utama dalam WS Bali-Penida mencakup 165

daerah aliran sungai dan 49 sungai musiman, dimana sebagian besar daerah aliran sungai (DAS) tersebut memiliki luas kurang dari 100 km<sup>2</sup> (Anonim, 2007) dengan bentuk daerah pengaliran secara umum memanjang (Anonim, 2009). DAS dengan karakteristik luas kurang dari 100 km<sup>2</sup> dengan daerah pengaliran memanjang tersebut antara lain DAS Tukad Nyuling di Karangasem (24,93 km<sup>2</sup>), DAS Tukad Jogading di Jembrana (32,38 km<sup>2</sup>) dan DAS Tukad Petanu di Gianyar (59,30 km<sup>2</sup>).

Berkaitan dengan hal tersebut, penulis melakukan penelitian mengenai pemodelan hubungan curah hujan-limpasan dengan model *Artificial Neural Networks* pada DAS dengan luas area kurang dari 100 km<sup>2</sup> guna lebih memahami bagaimana kinerja dari ANN tersebut dan apakah aplikasi ini cocok diimplementasikan untuk DAS dengan luas kurang dari 100 km<sup>2</sup>. Verifikasi model dilakukan secara statistik berdasarkan nilai *mean square error* (MSE), *root mean square error* (RMSE), kesalahan absolute rata-rata (KAR) dan nilai koefisien korelasi (r). Model ANN yang digunakan untuk analisis menggunakan metode *Multi Layer Perceptron* (MLP) dengan pembelajaran metode *back propagation*, dikerjakan dengan bantuan *software* MATLAB versi 7.0.1 Release 14. Berdasarkan uraian ini, lalu muncul pertanyaan :

Pertama, bagaimana penerapan model *Artificial Neural Networks* (ANN) dengan metode *multi layer perceptron* (MLP) dengan pembelajaran metode *back propagation* di dalam modelisasi hubungan curah hujan limpasan untuk beberapa DAS dengan luas kurang dari 100 km<sup>2</sup> di Provinsi Bali?

Kedua, bagaimana tingkat kinerja model *Artificial Neural Networks* (ANN) dengan metode *multi layer perceptron* (MLP) dengan pembelajaran metode *back propagation* di dalam penggambaran hubungan curah hujan limpasan untuk beberapa DAS dengan luas kurang dari 100 km<sup>2</sup> di Provinsi Bali?

Adapun tujuan penelitian, antara lain :

Pertama, mengkaji penerapan model *Artificial Neural Networks* dengan metode *multi layer perceptron* (MLP) dengan pembelajaran metode *back propagation* di dalam modelisasi hubungan curah hujan limpasan untuk beberapa DAS dengan luas kurang dari 100 km<sup>2</sup> di Provinsi Bali.

Kedua, mengkaji tingkat kinerja model *Artificial Neural Networks* dengan metode *multi layer perceptron* (MLP) dengan pembelajaran metode *back propagation* di dalam penggambaran hubungan curah hujan limpasan untuk beberapa DAS dengan luas

kurang dari 100 km<sup>2</sup> di Provinsi Bali.

Dari hasil penelitian ini kita akan mengetahui hubungan hujan limpasan yang terjadi di wilayah Provinsi Bali serta dapat menjadikan model *Artificial Neural Networks* (ANN) sebagai salah satu bentuk model kotak hitam (*black box model*) yang mampu menggambarkan hubungan non linier *input-output* dalam suatu proses hidrologi yang kompleks. Dalam hal ini untuk memodelkan hubungan curah hujan-limpasan pada DAS yang terdapat di wilayah Provinsi Bali.

Mengingat banyak sekali masalah yang berkaitan dengan curah hujan untuk beberapa DAS di Provinsi Bali, maka permasalahan saya difokuskan pada :

- a. Lokasi studi adalah daerah aliran sungai yang terdapat di Provinsi Bali dengan luas kurang dari 100 km<sup>2</sup> yaitu, Tukad Nyuling yang memiliki panjang 13 km dengan luas DAS 24,93 km<sup>2</sup>, Tukad Jogading dengan panjang 19,20 km dengan luas DAS 32,38 km<sup>2</sup> dan Tukad Petanu dengan panjang 37 km dengan luas DAS 59,30 km<sup>2</sup>.
- b. Data masukan (*input*) yang dipergunakan dalam analisis ini berupa data curah hujan wilayah, data debit dan data

evapotranspirasi bulanan selama 10 tahun.

- c. Model *Artificial Neural Networks* yang dipergunakan dalam analisis adalah metode *Multi Layer Perceptron* (MLP) dengan pembelajaran metode *back propagation*.
- d. Bobot awal yang dipergunakan dalam pemodelan dengan jaringan syaraf tiruan diambil secara random sesuai dengan nilai yang diperoleh dengan bantuan *Tool Neural Networks* dalam *software* MATLAB versi 7.0.1 Release 14.
- e. Fungsi aktivasi antara lapisan *input* dengan lapisan tersembunyi (*hidden layer*) menggunakan fungsi sigmoid (*logsig*) dan antara lapisan tersembunyi dengan lapisan *output* menggunakan fungsi identitas (*purelin*).
- f. Jumlah maksimum iterasi dibatasi hingga 5000 kali.
- g. Nilai pembelajaran ( $\alpha$ ) terletak diantara  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

# Bab 1

## Daerah Aliran Sungai (DAS) dan Limpasan Hujan

### A. Hujan Di Daerah Aliran Sungai (DAS)

Hujan merupakan komponen masukan yang paling penting dalam proses analisis hidrologi, karena kedalaman curah hujan (*rainfall depth*) yang turun dalam suatu DAS akan dialihragamkan menjadi aliran di sungai, baik melalui limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*interflow, sub-surface runoff*), maupun sebagai aliran air tanah (*groundwater flow*) (Harto, 1993). Untuk memperoleh besaran hujan yang dapat dianggap sebagai kedalaman hujan, diperlukan sejumlah stasiun hujan dengan pola penyebaran yang telah diatur oleh *World Meteorological Organisation* (WMO). Pengukuran hujan di stasiun-stasiun hujan



merupakan hujan titik (*point rainfall*), sedangkan informasi yang dibutuhkan dalam analisis adalah hujan yang terjadi dalam suatu DAS tertentu (*catchment rainfall*).

Menurut Chow (1988), untuk memperkirakan hujan rata-rata DAS dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain metode *Aritmatik*, metode *Poligon Thiesen* dan metode *Garis Isohyet*. Dari ketiga metode tersebut, metode *Poligon Thiesen* banyak digunakan untuk menghitung hujan rerata kawasan karena memberikan koreksi terhadap kedalaman hujan sebagai fungsi luas daerah yang dianggap mewakili. Selain itu cara ini memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun hujan dengan pengertian bahwa setiap stasiun dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luas tertentu, dan luas tersebut merupakan faktor koreksi (Harto, 1993).

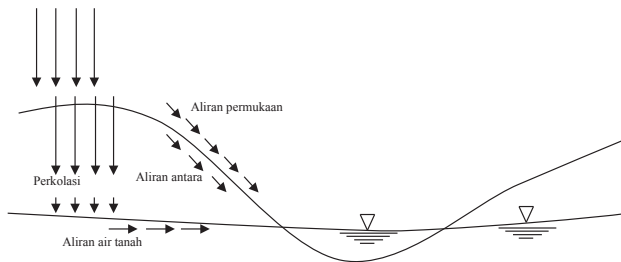
## **B. Limpasan**

Apabila intensitas hujan yang jatuh disuatu DAS melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air akan mengisi cekungan-cekungan pada permukaan tanah. Setelah cekungan-cekungan tersebut penuh, selanjutnya air akan mengalir (melimpas) di atas permukaan tanah. Limpasan permukaan

(*surface runoff*) yang merupakan air hujan yang mengalir dalam bentuk lapisan tipis di atas permukaan lahan akan masuk ke parit-parit dan selokan-selokan yang kemudian bergabung menjadi anak sungai dan akhirnya menjadi aliran sungai (Triatmodjo, 2008).

Faktor-faktor yang mempengaruhi air larian dapat dikelompokkan menjadi faktor-faktor yang berhubungan dengan iklim terutama curah hujan dan yang berhubungan dengan karakteristik daerah aliran sungai. Lama waktu hujan, intensitas, dan penyebaran hujan mempengaruhi laju dan volume air larian. Air larian total untuk suatu hujan secara langsung berhubungan dengan lama waktu hujan untuk intensitas hujan tertentu. *Infiltrasi* akan berkurang pada tingkat awal suatu kejadian hujan. Oleh karenanya, hujan dengan waktu yang singkat tidak banyak menghasilkan air larian. Pada hujan dengan intensitas yang sama dengan waktu yang lebih lama, akan menghasilkan air larian yang lebih besar (Asdak, 2004).

Limpasan terdiri dari air yang berasal dari tiga sumber seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1, yaitu aliran permukaan (*surface flow*), aliran antara (*interflow*), dan aliran air tanah (Triatmodjo, 2008).



Gambar 2.1 Komponen limpasan  
(Sumber: Triatmodjo, 2008)

### C. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia nomor 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, daerah aliran sungai (*catchment, basin, watershed*) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktifitas daratan.

Garis batas daerah-daerah aliran yang berdampingan disebut batas daerah pengaliran. Luas daerah pengaliran diperkirakan dengan pengukuran daerah itu pada peta topografi.

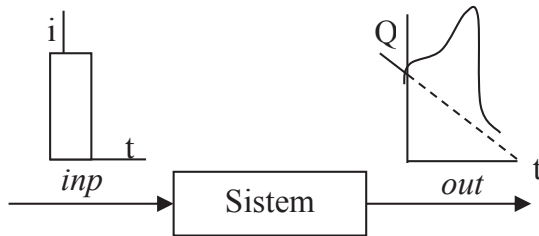
DAS memiliki elemen-elemen yang menyatakan sifat-sifat fisik daerah pengaliran. Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1983), beberapa elemen daerah pengaliran antara lain kondisi penggunaan tanah (*landuse*), daerah pengaliran, kondisi topografi dalam daerah pengaliran, jenis tanah dan faktor-faktor lain yang memberikan pengaruh misalnya karakteristik jaringan sungai-sungai, adanya daerah pengaliran yang tidak langsung, drainase buatan dan lain-lain.

Kondisi topografi dalam DAS sangat dipengaruhi oleh corak dan karakteristik daerah pengaliran, seperti DAS berbentuk memanjang dan membentuk bulu burung, daerah pengaliran yang menyebar membentuk kipas (*radial*), daerah pengaliran yang sejajar/paralel dan daerah pengaliran yang kompleks (Sosrodarsono dan Takeda, 1983). Selain kondisi topografi, karakteristik dari jaringan sungai juga berpengaruh terhadap elemen daerah pengaliran. Secara umum jaringan aliran sungai (sistem drainase) tampak menyerupai percabangan pohon (*dendritic*), segi empat (*rectangular*), *trellis*, *annular* dan membentuk jari-jari lingkaran (*radial*) (Asdak, 2004). Dalam penelitian ini, DAS yang dijadikan obyek penelitian memiliki bentuk memanjang yang membentuk bulu burung dengan jaringan sungai berbentuk *dendritic*.

#### D. DAS dan Hubungan Hujan-Limpasan

Soemarto (1999) berpendapat, terkait dengan DAS dan hubungan curah hujan-limpasan, daerah aliran sungai adalah suatu sistem yang mengubah curah hujan (*input*) ke dalam debit (*output, response* atau sambutan) dipelepasannya (*outlet*). Daerah aliran sungai merupakan sistem yang kompleks dan heterogen, yang terdiri atas kumpulan sub-sistem, yang masing-masing sub-sistem itu dapat dianggap homogen.

Sistem disini adalah kumpulan bagian-bagian yang terdiri dari benda/konsep yang disatukan dengan keteraturan saling berhubungan atau saling ketergantungan (Chow, 1988). Pendekatan sistem mempunyai tujuan spesifik yaitu membangun hubungan masukan dan keluaran yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk rekonstruksi kejadian masa lalu atau untuk prakiraan kejadian yang akan datang, dengan masalah pokok yang diperhatikan adalah operasi sistem yang digunakan. Gambar 2.2 menyajikan ilustrasi dari operasi sistem untuk menggambarkan transformasi masukan (*input*) menjadi keluaran (*output*).



Gambar 2.2 Skema ilustrasi dari operasi sistem  
(Sumber: Soemarto, 1999)

Selain kedalaman hujan berpengaruh dalam pengalihragaman menjadi aliran dalam suatu DAS, distribusi hujan juga berpengaruh terhadap DAS. Suatu DAS disebut kecil apabila distribusi hujan dapat dianggap seragam dalam ruang dan waktu, dan biasanya durasi hujan melebihi waktu konsentrasi. DAS disebut sedang apabila distribusi hujan seragam dalam ruang tetapi tidak seragam dalam waktu, sedangkan DAS disebut besar apabila terjadi ketidakseragaman distribusi hujan dalam ruang dan waktu (Ponce, 1989).

Selain berdasarkan distribusi hujan, menurut Ponce (1989), luas DAS kurang dari 100 km<sup>2</sup> dapat dianggap sebagai DAS kecil, apabila luas DAS 100 km<sup>2</sup> sampai 5000 km<sup>2</sup> merupakan variasi luasan untuk DAS sedang sampai besar. Menurut Amron

(1998) dalam Sunaryo, dkk. (2004), apabila luas DAS kurang dari 500 km<sup>2</sup> maka DAS tersebut kecil, sedangkan luas DAS dari 500 km<sup>2</sup> sampai lebih besar dari 10.000 km<sup>2</sup> dikategorikan DAS sedang sampai besar.

Hujan yang jatuh di suatu DAS akan berubah menjadi aliran di sungai. Dengan demikian terdapat suatu hubungan antara hujan dan debit aliran, yang tergantung pada karakteristik DAS. Hujan dapat diukur dengan cara yang sederhana, stasiun pengukuran hujan bisa cukup banyak disuatu DAS, dan pengukuran juga dapat dilakukan dalam waktu panjang. Sementara itu pengukuran debit biasanya lebih sedikit daripada pengukuran hujan, baik dalam jumlah stasiun maupun waktu pengukuran. Dengan demikian, jumlah data hujan biasanya jauh lebih banyak daripada data debit (Triatmodjo, 2008).

Hubungan curah hujan-limpasan adalah suatu komponen yang paling mendasar dalam proses evaluasi sumber daya air dan hal ini merupakan masalah penting dalam hidrologi (Junsawang, et.al., 2007). Pengalihragaman curah hujan menjadi limpasan pada suatu daerah aliran sungai adalah suatu fenomena hidrologi yang sangat kompleks, dimana proses ini adalah sangat nonlinear,

dengan waktu yang berubah-ubah dan terdistribusi secara spasial (Rajurkar, et.al., 2003). Selain curah hujan yang mempunyai pengaruh terbesar pada limpasan, secara tidak langsung suhu, kecepatan angin, kelembaban relatif, tekanan udara rata-rata dan evapotranspirasi yang berhubungan satu dengan yang lain juga mempengaruhi limpasan (Sosrodarsono dan Takeda, 1983).



# Bab 2

## Model Dalam Hidrologi

### A. Klasifikasi Model

Ilmu hidrologi lebih banyak didasarkan pada pengetahuan empiris daripada teoritis. Hal ini disebabkan karena banyaknya parameter yang berpengaruh pada kondisi hidrologi suatu daerah, seperti kondisi klimatologi (angin, suhu udara, kelembaban udara, penyinaran matahari), kondisi lahan (daerah aliran sungai) seperti jenis tanah, tata guna lahan, kemiringan lahan, dan sebagainya. Banyaknya parameter tersebut mengakibatkan analisis hidrologi sulit diselesaikan secara analisis (Triatmodjo, 2008).

Di dalam pekerjaan analisis sistem seperti mencari hubungan antara curah hujan-limpasan, digunakan alat bantu berupa model yang menyederhanakan sistem dengan

mempertimbangkan aspek-aspek yang terkait dalam masalah tersebut dan mengabaikan aspek-aspek yang dapat menimbulkan komplikasi yang tidak relevan. Suatu penyederhanaan yang memberikan kemudahan dalam pemahaman dan pengendalian serta merupakan suatu versi dari dunia nyata.

Penggunaan model sendiri mempunyai keterbatasan yang harus dipahami, bahwa model banyak membutuhkan data, terdapat asumsi kritis yang tersembunyi yang dapat menghasilkan prediksi tidak tepat, serta tidak seluruh proses alami dapat diwakili dan tidak mudah untuk diwujudkan dalam bentuk persamaan-persamaan matematika. Pendekatan simulasi (pemodelan/ *modeling*) hidrologi bertujuan untuk menggambarkan sistem hidrologi yang nyata secara matematis. Menurut Sri Harto (1993), tujuan penggunaan model dalam hidrologi antara lain untuk peramalan (*forecasting*), untuk perkiraan (*prediction*), sebagai alat “deteksi” dalam masalah pengendalian, sebagai alat pengenalan (*identification tool*) dalam masalah perencanaan (*planning*), sebagai alat untuk ekstrapolasi data ataupun informasi, serta untuk penelitian dasar dalam proses hidrologi.

Dalam bidang hidrologi, beberapa peneliti mengklasifikasi model dalam tiga golongan (Junsawang, et.al, 2007), yaitu:

a. Model fisik terdistribusi (*distributed physically based models*)

Model fisik terdistribusi menggambarkan sistem alami yang menggunakan dasar *fluid-flows* yang diambil dari energi dan kebutuhan air. Model terdiri dari suatu persamaan differensial parsial dengan berbagai parameter, dimana pada dasarnya mengarah ke arti fisik dan dapat dievaluasi dengan pengukuran mandiri. Salah satu contoh model ini adalah model Sacramento. Dalam model ini, untuk perhitungan limpasan dari hujan didasarkan atas perhitungan kelembaban tanah, dimana tanah secara vertikal dibagi menjadi dua zone kelembaban tanah (*upper zone* dan *lower zone*).

b. Model konseptual berbentuk *lumped (lumped conceptual models)*

Model konseptual digunakan untuk menggambarkan unsur-unsur fisik yang saling berhubungan dan berbeda satu sama lain dalam suatu *catchment area*. Dalam kaitan dengan bentuk yang "*lumped*", dimana semua parameter dan variabel menyajikan nilai rata-rata dari keseluruhan *catchment area*, uraian dari proses

hidrologi tidak bisa didasarkan secara langsung atas persamaan untuk memperoleh kolom lahan individu (*the individual soil coloumn*). Oleh karena itu, persamaannya adalah semi-empiris, tapi dengan suatu dasar fisik. Variabel atau paramater disebut sebagai “*lumped*” apabila besaran yang diwakilinya tidak mempunyai variabilitas ruang (*spatial variabillity*). Variabilitas ini diabaikan. Masukan berupa hujan rata-rata DAS misalnya, merupakan masukan yang bersifat “*lumped*”. Contoh dari *lumped conceptual model* adalah model Tangki (*Tank Model*) oleh Sugawara (1974), HEC-HMS yang dibuat oleh *US Army Corps of Engineer* (2000), dan model *Mock’s*.

c. Model kotak hitam (*black box models*)

Model kotak hitam adalah model empiris yang disertai dengan suatu persamaan matematis. Model kotak hitam tidaklah terkait dengan proses fisik di dalam *catchment area*, tetapi dari analisa *time series input* dan *output*. Di dalam pendekatan dengan menggunakan model kotak hitam (*black box model*), model dengan persamaan yang berbeda digunakan untuk mengidentifikasi *input* dengan *output* tanpa adanya pertimbangan yang detail terhadap struktur internal dari proses fisiknya. Contoh dari model kotak

hitam antara lain model unit hidrograf dan model jaringan syaraf (*Neural Network*).

## **B. Pemodelan Hujan – Limpasan**

Proses hujan-limpasan adalah suatu proses alam yang sangat kompleks yang belum bisa dipahami dengan jelas (Zhang dan Govindaraju, 2000 dalam Srinivasulu dan Jain, 2008). Hubungan hujan-limpasan adalah komponen utama dalam proses evaluasi sumber daya air dan merupakan permasalahan pokok dalam hidrologi. Pendekatan-pendekatan yang digunakan untuk pemodelan curah hujan-limpasan meliputi beberapa metode antara lain dari model kotak hitam (*black box model*) yang memiliki cakupan yang luas sampai model yang lebih terperinci (*deterministic/conseptual*).

Model hujan-limpasan adalah sangat penting di dalam pemahaman proses hidrologi, tetapi penerapannya tidak semudah seperti permasalahan sebenarnya kecuali jika terdapat data yang cukup untuk analisis parameter yang relevan (Junsawang, et.al, 2007). Di sisi lain, model kotak hitam menggunakan sedikit informasi dalam uraian fisik suatu *catchment area* dan baru-baru ini, jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Networks*) sebagai salah

satu bentuk model kotak hitam, telah diusulkan sebagai suatu alat yang efisien untuk pemodelan sistem fisik yang bersifat kompleks. Penerapan jaringan syaraf tiruan (*artificial neural networks*) dalam hal pemodelan curah hujan-limpasan, yang dimana terkenal sebagai *hydroinformatics*, dimulai pada tahun 1990-an.

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan penggunaan *Artificial Neural Networks* (ANN) dalam hidrologi. Menurut Hadihardaja dan Sutikno (2005), hubungan curah hujan-limpasan telah dikembangkan secara terus-menerus dengan menerapkan model kotak hitam yakni jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*).

Dengan menggunakan model kotak hitam (*black box model*) tersebut, maka dalam penerapannya tidak membutuhkan pengetahuan yang kompleks antar elemen-elemen dalam suatu sistem daerah aliran sungai (DAS) yang juga tidak secara eksplisit merepresentasikan hubungan antar elemen dalam DAS dan proses interaksi curah hujan-limpasan. Sehingga perubahan antar elemen di dalam suatu DAS tidak perlu diketahui sepanjang hujan dan limpasan diukur dengan akurat dari waktu ke waktu, oleh karena itu pemodelan dapat dilakukan secara lebih sederhana

dengan hanya memiliki *input* hujan dan *output* limpasan di dalam pengembangan model tersebut.

Dalam studi yang dilakukan oleh Hadihardaja dan Sutikno (2005), data yang digunakan adalah data curah hujan tengah bulanan dan debit limpasan DAS Way Sekampung – Pujorahayu dengan luas daerah pengaliran 1696 km<sup>2</sup>, selama kurun waktu 19 tahun dari tahun 1983 sampai tahun 2001. Data curah hujan merupakan *input* sedangkan data debit merupakan variabel *output*. Pada penelitian tersebut digunakan empat arsitektur jaringan dengan model jaringan banyak lapisan (*multilayer net*) dan menggunakan metode pembelajaran *back propagation*. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, secara umum model ANN dapat diterapkan dalam pemodelan curah hujan-limpasan.

# Bab 3

## *Artificial Neural Networks Architecture (ANN)*

### A. Kerangka Kerja *Artificial Neural Networks Architecture (ANN)*

Pembagian arsitektur *Artificial Neural Networks (ANN)* dapat dilihat dari kerangka kerja dan skema interkoneksi. Kerangka kerja ANN bisa dilihat dari jumlah lapisan (*layer*) dan jumlah node pada setiap lapisan (Fu, 1994). Adapun lapisan-lapisan penyusun jaringan syaraf tiruan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

Penyusun jaringan syaraf tiruan	Keterangan
Pertama, lapisan input ( <i>input layer</i> )	Node-node di dalam lapisan <i>input</i> disebut unit-unit <i>input</i> . Unit-unit <i>input</i> menerima <i>input</i> dari dunia luar.



	<i>Input</i> yang dimasukkan merupakan penggambaran dari suatu masalah.
Kedua, lapisan tersembunyi ( <i>hidden layer</i> )	Node-node di dalam lapisan tersembunyi disebut unit-unit tersembunyi. <i>Output</i> dari lapisan ini tidak secara langsung dapat diamati.
Ketiga, lapisan output ( <i>output layer</i> )	Node-node pada lapisan <i>output</i> disebut unit-unit <i>output</i> . Keluaran atau <i>output</i> dari lapisan ini merupakan <i>output</i> ANN terhadap suatu masalah.

Selanjutnya, menurut Fausett (1994), beberapa arsitektur jaringan yang sering dipakai dalam *Artificial Neural Networks* antara lain:

### 1. Jaringan Layar Tunggal (*Single Layer Network*)

Jaringan ini merupakan sekumpulan *input neuron* dihubungkan langsung dengan sekumpulan *output*-nya. Dalam beberapa model (misal model *Perceptron*), hanya terdapat sebuah unit *neuron output*.

### 2. Jaringan Layar Jamak (*Multi Layer Network*)

Jaringan ini merupakan perluasan dari layar tunggal dan

termasuk ke dalam kategori *feedforward network*. Dalam jaringan ini, selain unit *input* dan *output*, ada unit-unit lain (sering disebut dengan layar tersembunyi/*hidden layer*). Dimungkinkan pula ada beberapa layar tersembunyi. Sama seperti pada unit *input* dan *output*, unit-unit dalam satu layar tidak saling berhubungan. Contoh dari jaringan layar jamak antara lain *multi layer perceptron* (MLP), *the radial basis function* (RBF) *network*, *the learning vector quantization* (LVQ) *network*, *the cerebellar model articulation control* (CMAC) *network* dan *the group method of data handling* (GMDH) *network* (Andina and Pham, 2007).

## **B. Algoritma Pembelajaran (*Learning Algorithm*)**

Keluaran yang dihasilkan oleh *Artificial Neural Networks* (ANN) untuk suatu pola masukan tertentu tergantung dari nilai (bobot) sambungan antar *neuron* dalam ANN tersebut. Dalam ANN, untuk aplikasi pengenalan pola diperlukan suatu pelatihan awal agar bisa digunakan di dalam menerima *input* dari luar. Sebuah ANN dapat menyelesaikan persoalan yang rumit apabila digunakan nilai bobot yang tepat antar *neuron-neuron* pada lapisan yang berbeda. Nilai bobot yang tepat didapatkan melalui proses pembelajaran (*training*).

Proses pembelajaran adalah suatu proses untuk mengubah bobot antar neuron sehingga sebuah jaringan dapat menyelesaikan sebuah persoalan. Ada dua jenis proses pembelajaran, yaitu (Fendi dan Suwandi, 2000):

### 1. Pelatihan terbimbing (*Supervised Learning*)

Jenis pembelajaran ini menggunakan sejumlah pasangan data *input-output* yang dipergunakan sebagai contoh, dimana data yang dipergunakan sebagai contoh sebaiknya menggunakan data yang sudah diketahui kebenarannya. *Output* dari jaringan lalu dibandingkan dengan data *output* yang diharapkan (*output* contoh) untuk mendapatkan selisih antara *output* perkiraan dengan *output* sebenarnya. Selisih inilah yang dipergunakan untuk mengubah bobot jaringan. Contoh dari *supervised learning* antara lain *the delta rule*, *backpropagation algorithm method* dan *LVQ algorithm* (Andina and Pham, 2007).

### 2. Pelatihan tak terbimbing (*Unsupervised Learning*)

Pada proses ini tidak terdapat contoh *output* yang diharapkan dari sebuah *input*. Informasi yang tersedia hanyalah hubungan antar data *input*. Sebuah *Artificial Neural Networks* diharapkan mampu untuk menentukan kategori dari hubungan

antara data *input* dan menghasilkan keluaran berdasarkan atas kategori-kategori tersebut. Contoh dari *unsupervised learning* antara lain *Kohonen and Carpenter-Grossberg Adaptive Resonance Theory (ART)* dan *competitive learning algorithms* (Andina and Pham, 2007).

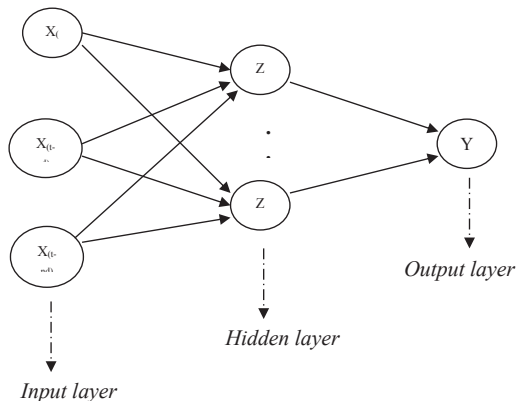
### **C. Learning Spatiotemporal Patterns**

*Artificial Neural Networks*, yang termasuk ke dalam *artificial intelligence systems*, dimana keterkaitannya dengan permasalahan dunia nyata biasanya membutuhkan pertimbangan terhadap pendekatan ruang dan waktu (*spatiotemporal*). Dalam pendekatan ini, dunia digambarkan sebagai rangkaian dari ruang/wilayah (*snapshots*) dengan waktu yang cepat.

Pendekatan inilah yang menjadi kerangka dasar dari *neural networks* yang menjadi prosedur penting dalam proses pembelajaran, dan memperlihatkan bagaimana mengaplikasikan pengetahuan ke dalam *neural networks* (Fu, 1994). Terdapat beberapa macam *spatiotemporal* aspek dalam *neural networks* antara lain, dalam representasi *input* (*static* dan *time-delay neural networks*), dalam arsitektur jaringan (*feedforward* dan *recurrent*) serta dalam *duality* (*spatiotemporal domain* dan *frequency*

domain).

Dalam penelitian ini, di dalam representasi *input* digunakan pendekatan *time-delay neural network*. *Time-delay* adalah salah satu konsep dasar dalam penyesuaian pemrosesan signal. Jika *input* signal diperlambat dengan satu satuan waktu dan jaringan menerima signal asli dan signal yang telah diperlambat, itulah yang menjadi *time-delay neural networks* sederhana. Asumsi dari *time-delay neural networks* adalah *output* tergantung dari *input* sekarang (eksisting) ataupun *input* sebelumnya (adanya saling ketergantungan). Penggambaran *time-delay neural networks* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Time-Delay Neural Networks  
(Sumber: Fu, 1994)

#### **D. Perhitungan Kesalahan (*Error*)**

Perhitungan kesalahan merupakan pengukuran bagaimana jaringan dapat belajar dengan baik, sehingga jika dibandingkan dengan pola yang baru akan dengan mudah dikenali. Kesalahan pada keluaran jaringan merupakan selisih antara keluaran sebenarnya (*current output*) dan keluaran yang diinginkan (*desired output*). Selisih yang dihasilkan antara keduanya biasanya ditentukan dengan cara dihitung menggunakan beberapa persamaan, antara lain *mean square error* (MSE), *sum square error* (SSE), *root mean square error* (RMSE), dan kesalahan absolute rata-rata (KAR)

#### **E. Metode *Multilayer Perceptron* (MLP)**

Metode *multilayer perceptron* (MLP) adalah salah satu arsitektur *neural networks* yang paling populer digunakan saat ini, dimana metode ini termasuk ke dalam model *feedforward networks*. Banyak penelitian telah menggunakan metode ini, dimana algoritma pembelajaran yang dipakai adalah *back propagation*.

*Back propagation* merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi (*supervised*) dan biasanya digunakan oleh

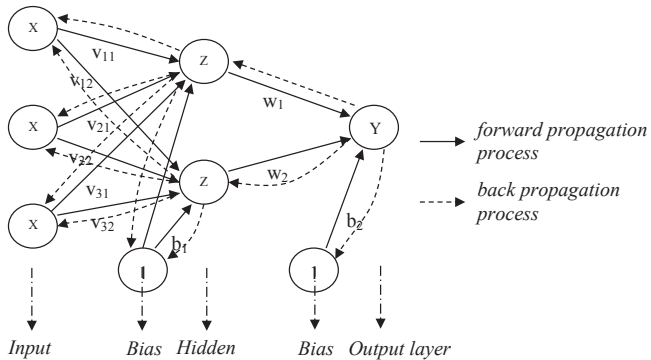
*perceptron* dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan *neuron-neuron* yang ada pada lapisan tersembunyinya. Algoritma *back propagation* menggunakan *error output* untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (*backward*).

Untuk mendapatkan *error* ini, tahap perambatan maju (*forward propagation*) harus dikerjakan terlebih dahulu. Pada saat perambatan maju, *neuron-neuron* diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi yang dapat dideferensialkan (Kusumadewi, 2004). Fungsi aktivasi yang digunakan dalam metode *back propagation* antara lain fungsi identitas, fungsi sigmoid, dan fungsi sigmoid bipolar.

Arsitektur jaringan *back propagation* seperti terlihat pada Gambar 2.4. Pada gambar tersebut, jaringan terdiri atas 3 unit (*neuron*) pada lapisan *input*, yaitu  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$ ; 1 lapisan tersembunyi dengan 2 *neuron*, yaitu  $Z_1$  dan  $Z_2$ ; serta 1 unit lapisan *output*, yaitu  $Y$ . Bobot yang menghubungkan  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$  dengan *neuron* pertama pada lapisan tersembunyi adalah  $v_{11}$ ,  $v_{21}$ , dan  $v_{31}$  ( $v_{ij}$  adalah bobot yang menghubungkan *neuron input* ke- $i$  ke *neuron* ke- $j$  pada lapisan tersembunyi). Sedangkan  $b_{11}$  dan  $b_{12}$

adalah bobot bias yang menuju ke *neuron* pertama dan kedua pada lapisan tersembunyi.

Bobot yang menghubungkan  $Z_1$  dan  $Z_2$  dengan *neuron* pada lapisan *output* adalah  $w_1$  dan  $w_2$ . Bobot bias  $b_2$  menghubungkan lapisan tersembunyi dengan lapisan *output*. Fungsi aktivasi yang dipergunakan, antara lapisan *input* dan lapisan tersembunyi adalah fungsi aktivasi sigmoid (*logsig*), dan antara lapisan tersembunyi dengan lapisan *output* adalah fungsi aktivasi identitas (*purelin*) (tidak diperlihatkan pada gambar).



Gambar 2.4 Arsitektur Jaringan *Back propagation*  
(Sumber: Kusumadewi, 2004)

Masalah utama yang dihadapi dalam *back propagation* adalah lamanya iterasi yang harus dilakukan. *Back propagation* tidak dapat memberi kepastian tentang berapa iterasi/siklus yang



harus dilalui untuk mencapai kondisi yang diinginkan (Jong Jek Siang, 2005).

Pemilihan bobot awal sangat mempengaruhi *neural networks* dalam mencapai nilai minimum global terhadap nilai *error*, serta cepat tidaknya proses pelatihan menuju kekonvergenan. Apabila nilai bobot awal terlalu besar, maka *input* ke setiap lapisan tersembunyi atau lapisan *output* akan jatuh pada daerah dimana turunan fungsi sigmoidnya akan sangat kecil.

Sebaliknya, apabila nilai bobot awal terlalu kecil, maka *input* ke setiap lapisan tersembunyi atau lapisan *output* akan sangat kecil, yang akan menyebabkan proses pelatihan akan berjalan sangat lambat. Biasanya bobot awal diinisialisasikan secara random dengan nilai antara -0,5 sampai 0,5, atau -1 sampai 1, ataupun interval yang lainnya (Fausett, 1994).

Algoritma pembelajaran metode *back propagation* adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi bobot awal (ambil bobot awal dengan nilai random yang kecil)
2. Lakukan tahap perambatan maju (*forward propagation*) untuk mendapatkan *error*:

- a. Tiap unit *input* ( $X_i, i = 1,2,3,\dots,n$ ) menerima sinyal  $x_i$  dan meneruskan sinyal tersebut ke semua unit pada lapisan yang ada di atasnya (lapisan tersembunyi)
- b. Tiap-tiap unit tersembunyi ( $Z_j, j=1,2,3,\dots,p$ ) menjumlahkan sinyal-sinyal *input* terbobot:

$$z_{in_j} = b_{1j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \quad (2.1)$$

Gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal *output*-nya:  $z_j = f(z_{in_j})$  dan kirimkan sinyal tersebut ke semua unit di lapisan atasnya (unit-unit *output*)

- c. Tiap-tiap unit *output* ( $Y_k, k = 1,2,3,\dots,m$ ), menjumlahkan sinyal-sinyal *input* terbobot.

$$y_{in_k} = b_{2k} + \sum_{j=1}^p z_j w_{jk} \quad (2.2)$$

Gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal *output*-nya:  $y = f(y_{in})$ , dan kirimkan sinyal tersebut ke semua unit lapisan atasnya (unit-unit *output*)

3. Lakukan tahap perambatan mundur (*back propagation*)
  - a. Tiap-tiap unit *output* ( $Y_k, k = 1,2,3,\dots,m$ ) menerima target

pola yang berhubungan dengan pola *input* pembelajaran, hitung informasi *error*-nya:

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y - \dot{n}_k) \quad (2.3)$$

Kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai  $w_{jk}$ ) dengan menggunakan nilai pembelajaran  $\alpha$  (*learning rate*):

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_k \cdot z_j \quad (2.4)$$

Hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai  $w_{0k}$ ):

$$\Delta w_{0k} = \alpha \delta_k \quad (2.5)$$

Kirimkan  $\delta_k$  ini ke unit-unit yang ada di lapisan bawahnya.

- b. Tiap unit tersembunyi ( $Z_j$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, p$ ) menjumlahkan *delta input*-nya (dari unit-unit yang berada di lapisan atasnya):

$$\delta - \dot{n}_j = \sum_{k=1}^p \delta_k \cdot w_{jk} \quad (2.6)$$

Kalikan nilai ini dengan turunan dari fungsi aktivasinya untuk menghitung informasi *error*:

$$\delta_j = \delta_{-n_j} f'(z_{-n_j}) \quad (2.7)$$

Kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai  $v_{ij}$ )

$$\Delta v_j = \alpha \delta_j x_i \quad (2.8)$$

Hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai  $v_{oj}$ ):

$$\Delta v_\phi = \alpha \delta_j \quad (2.9)$$

- c. Tiap unit *output* ( $Y_k, k = 1,2,3,\dots,m$ ) memperbaiki bias dan bobotnya ( $j = 1,2,3,\dots,p$ ):

$$w_{jk} (\text{baru}) = w_{jk} (\text{lama}) + \Delta w_{jk} \quad (2.10)$$

Tiap-tiap unit tersembunyi ( $Z_j, j = 1,2,3,\dots,p$ ) memperbaiki bias dan bobotnya ( $l = 1,2,3,\dots,n$ ):

$$v_j (\text{baru}) = v_j (\text{lama}) + \Delta v_j \quad (2.11)$$

Bobot-bobot baru ini digunakan sebagai bobot awal pada proses *epoch* berikutnya, proses ini dilakukan sampai target *error* tercapai atau sampai maksimum *epoch* (iterasi).

## F. Pemrograman ANN Metode *Back Propagation* Dengan MATLAB

MATLAB merupakan bahasa pemrograman, yang terutama digunakan pada teknik-teknik komputasi. MATLAB (*Matrix Laboratory*) menyediakan fasilitas-fasilitas untuk komputasi, visualisasi dan pemrograman. MATLAB memiliki beberapa fitur yang dikelompokkan berdasarkan aplikasi tertentu yang dikenal dengan nama *Toolbox*. Salah satu fitur *Toolbox* yang terdapat di dalam MATLAB yang berkaitan dengan *Artificial Neural Networks* adalah *Neural Network Tools* (Kusumadewi, 2004).

*Back propagation* dibentuk dengan membuat generalisasi aturan pelatihan dalam model Widrow-Hoff dengan cara menambahkan layer tersembunyi. Kata *back propagation* merujuk pada cara bagaimana gradien perubahan bobot dihitung. Standar *back propagation* menggunakan algoritma penurunan gradien (*gradien descent*). Variasi terhadap model standar *back propagation* dilakukan dengan mengganti algoritma penurunan gradien dengan metode optimisasi yang lain. Metode *back propagation* yang sudah dilatih dengan baik akan memberikan keluaran yang masuk akal jika diberikan masukan yang serupa

(tidak harus sama) dengan pola yang dipakai dalam pelatihan. Sifat generalisasi ini membuat pelatihan lebih efisien karena tidak diperlukan pada semua data (Siang, 2005). Langkah-langkah pemrograman ANN metode *back propagation* dengan *Neural Network Tools* pada MATLAB:

**a. Pengumpulan (tabulasi) data.**

Langkah awal dalam proses analisis adalah proses pengumpulan (tabulasi) data. Kumpulan data-data tersebut dibagi menjadi data *input* dan data *output/target*.

**% Input data dan target**

P = Data (1:m,1:n)';

T = Data (1:m, n+1:o)';

Dimana P adalah data *input* dan T adalah data *output/target*

**b. Proses normalisasi dan preprocessing**

Sebelum data diproses, dilakukan proses normalisasi dan *preprocessing* terlebih dahulu, dengan tujuan nilai masing-masing data bisa dihitung dengan nilai yang lebih kecil tanpa kehilangan karakteristiknya sendiri. Di dalam penelitian ini dilakukan

penskalaan pada *input* dan target sedemikian hingga data-data *input* dan target tersebut masuk dalam suatu range tertentu. Fungsi *premnmx* digunakan untuk menskala *input* dan *output* sedemikian hingga data-datanya akan terletak pada range [-1 1] (Kusumadewi, 2004).

### **% Preprocessing/normalisasi**

```
[pn,minp,maxp,tn,mint,maxt] = premnmx(P,T)
```

Variabel-variabel di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

*pn* = matriks *input* yang ternormalisasi (terletak pada range [-1 1])

*minp* = nilai minimum pada matriks *input* asli (*p*)

*maxp* = nilai maksimum pada matriks *input* asli (*p*)

*tn* = matriks *output* yang ternormalisasi (terletak pada range [-1 1])

*mint* = nilai minimum pada matriks *output/target* asli (*t*)

*maxt* = nilai maksimum pada matriks *output/target* asli (*t*)

### **c. Bangun jaringan *feedforward neural network***

Setelah semua data *input* dan target dinormalisasi, kemudian dibangun jaringan *feedforward neural network*, dengan fungsi sebagai berikut:

## **% Membangun jaringan *feedforward***

```
net = newff(minmax(pn),[x1 x2 x3 ...],{'act1''act2''act3''...'}, 'train');
```

Variabel-variabel di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

*net* = nama jaringan *neural network*

$x_i$  = jumlah neuron pada tiap-tiap *layer*. Misalkan ada 3 “ $x$ ”, berarti jaringan *neural network* mempunyai 2 *hidden layer* dan 1 *output layer*.

*act* = fungsi aktivasi pada masing-masing *layer*.

*train* = model pembelajaran (*learning*) jaringan yang dipergunakan

Dalam *programming neural network* dengan menggunakan MATLAB, terdapat 3 (tiga) macam fungsi aktivasi yang umum digunakan yaitu:

- tansig = fungsi sigmoid bipolar
- logsig = fungsi sigmoid unipolar
- purelin = fungsi identitas

Untuk metode pembelajaran (*learning*) *neural network*, terdapat beberapa metode yang umum digunakan dan tersedia dalam



*Toolbox* Matlab, yaitu:

- `traingd` = metode pembelajaran standar dengan algoritma dasar *gradient descent*
- `traindm` = metode pembelajaran yang dipercepat dengan momentum
- `traingda` = metode pembelajaran yang dipercepat dengan *learning rate* variabel
- `traingdx` = metode pembelajaran yang dipercepat dengan *learning rate* variabel dan momentum
- `trainrp` = metode *resilent backpropagation*
- `traincgf` = metode pembelajaran dengan gradien *conjugate* Fletcher-Reeves
- `traincgp` = metode pembelajaran dengan gradien *conjugate* Polak-Ribière
- `traincgb` = metode pembelajaran dengan gradien *conjugate* Powel Beale
- `trainlm` = metode pembelajaran dengan algoritma Levenberg-Marquardt

#### d. Menentukan parameter yang mempengaruhi proses pembelajaran *neural networks*

Setelah data *input*, target dan jaringan (*network*) yang akan dilatih, selanjutnya adalah penentuan parameter-parameter yang mempengaruhi proses pembelajaran *neural networks*. Parameter-parameter itu ditentukan dengan mengatur nilai masing-masing parameter dalam bentuk integer, desimal ataupun eksponensial. Fungsi yang dipergunakan sebagai berikut:

##### **% Set parameter**

```
net.trainParam.epochs = p1;
```

```
net.trainParam.goal = p2;
```

```
net.trainParam.lr = p3;
```

```
net.trainParam.show = p4;
```

Variabel-variabel di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

$p1$  = jumlah *epoch* (iterasi) pembelajaran maksimum jaringan

$p2$  = jumlah *error* minimum

$p3$  = nilai pembelajaran (*learning rate*), antara 0-1

$p4$  = jumlah *epoch* dimana penampilan grafik *error* akan di-*update*

#### e. Proses training

Setelah pengaturan *input*, *target*, *networks* dan parameter, langkah selanjutnya adalah melakukan proses *training*. Fungsi yang dipergunakan adalah:

#### % Proses pembelajaran

```
net = train(net, pn, tn);
```

#### f. Nilai *error* minimum

Setelah jaringan telah terlatih hingga mendapatkan nilai *error* minimum atau *epoch* maksimum, kemudian proses *testing* (simulasi) hasil pembelajaran dengan menggunakan fungsi:

#### % Proses simulasi jaringan

```
an = sim(net,pn);
```

```
a = postmnmx(an,minp,maxp);
```

Variabel-variabel di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

$an$  = mensimulasikan jaringan (*network*)

$a$  = men-denormalisasi target hasil simulasi jaringan

#### **g. Evaluasi kinerja *output network***

Setelah proses simulasi, kemudian dilakukan evaluasi kinerja *output network* yang disimulasikan dengan data pelatihan dan target dengan menggunakan fungsi:

#### **% Evaluasi output jaringan (data pelatihan dengan target)**

```
[mx,b,rx] = postreg (a,TQ);
```

Variabel-variabel di atas dapat dijelaskan sebagai berikut

*mx* = lereng regresi linear simulasi jaringan

*b* = perpotongan y untuk regresi linear

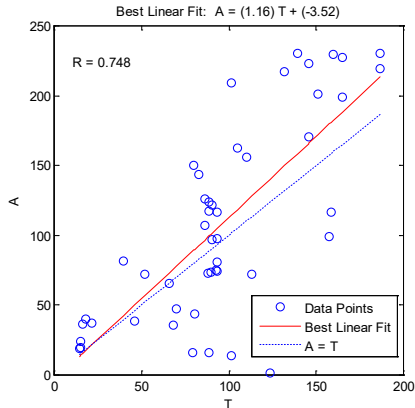
*rx* = nilai parameter regresi

#### **h. Setelah semua proses terlewati**

Setelah semua proses terlewati, telah terselesaikan program *back propagation neural network*. Di dalam aplikasinya, ada fungsi lain yang umum digunakan untuk melihat kinerja jaringan, misalnya seperti kode berikut:

Menampilkan grafik regresi hasil simulasi:

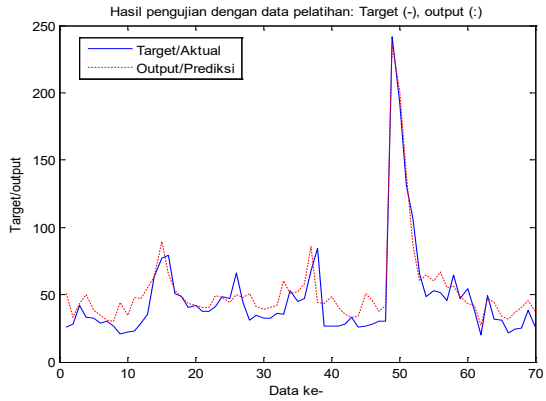
```
ShowNN = [(1:size(P,2))' T' a' (T'-a')];  
sprintf('%2d %9.2f %7.2f %5.2f\n',H')
```



Gambar 2.5 Contoh grafik regresi hasil simulasi

Menampilkan grafik hasil plot data simulasi jaringan:

```
plot([1:size(P,2)]',T,'b-',[1:size(P,2)]',a','r-');  
  
title('Hasil pengujian dengan data pelatihan: Target (-), output  
(-)');  
  
xlabel('Data ke-'); ylabel('Target/output');  
  
legend('Target/Aktual', 'Output/Prediksi');
```



Gambar 2.6 Contoh grafik hasil plot data simulasi jaringan

# **Bab 4**

## **Pemodelan Curah Hujan-Limpasan dengan Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Networks*)**

### **A. Data Hidrologi DAS Tukad Nyuling, DAS Tukad Jogading, dan DAS Tukad Petanu**

Tiga buah DAS yang ada di Provinsi Bali penulis gunakan dalam penelitian ini, dimana DAS yang ditinjau memiliki luas kurang dari 100 km<sup>2</sup>, dengan karakteristik DAS memanjang dan membentuk bulu burung serta dengan jaringan aliran sungai dengan pola *dendritic*. Adapun DAS yang menjadi obyek dalam penelitian ini adalah DAS Tukad Nyuling dengan luas 24,93 km<sup>2</sup>

yang terletak di Kabupaten Karangasem, DAS Tukad Jogading dengan luas 32,38 km<sup>2</sup> yang terletak di Kabupaten Jembrana dan DAS Tukad Petanu dengan luas 59,30 km<sup>2</sup> yang terletak di Kabupaten Gianyar.

## 1. DAS Tukad Nyuling

### a. Iklim

Data ini menggambarkan kondisi cuaca di suatu daerah studi, dan faktor iklim yang terkumpul selama 10 (sepuluh) tahun yakni dari tahun 1994 – 2003. Data iklim ini didapat dari stasiun klimatologi Susuan, dengan data yang tercatat adalah data temperatur, kecepatan angin, kelembaban relatif, kelembaban maksimum, dan lama penyinaran. Berdasarkan data yang terdapat pada Lampiran IV-1 sampai dengan IV-5, temperatur (°C) dan kecepatan angin (km/hari) rata-rata bulanan pada daerah studi sesuai Tabel 4.1 berikut:

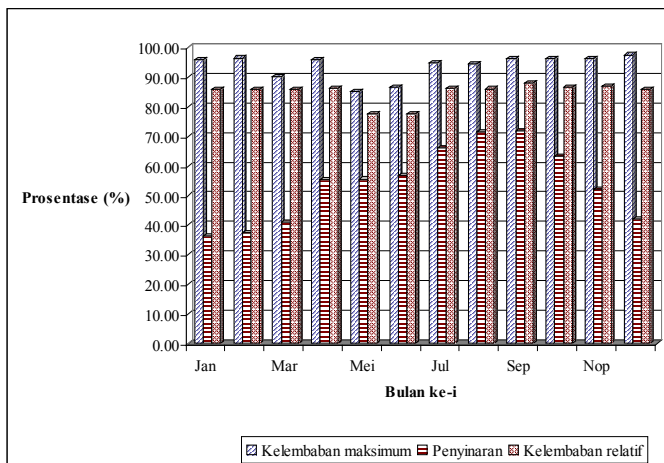
**Tabel 4.1 Data temperatur dan kecepatan angin rerata bulanan (1994-2003) DAS Tk. Nyuling**

Iklim	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
T (0°C)	26.11	26.16	26.51	26.90	24.03	23.60	23.07	25.64	26.19	27.09	27.17	26.67
Kec (km/hari)	50.06	72.40	62.83	46.55	31.28	31.78	30.31	35.16	37.15	47.04	43.13	46.94

Sumber : Hasil perhitungan, 2010



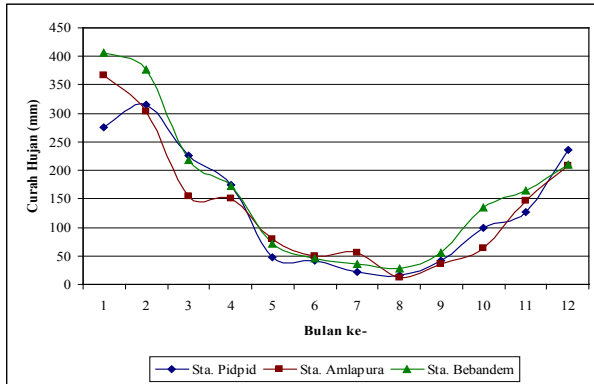
Sedangkan data kelembaban maksimum, penyinaran matahari dan kelembaban relatif sesuai Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Data kelembaban dan penyinaran (1994-2003) DAS Tk. Nyuling

## b. Curah Hujan

Ketersediaan data hidrologi berupa data curah hujan bulanan yang didapat dari stasiun hujan Pidpid, stasiun hujan Bebandem, dan stasiun hujan Amlapura. Data curah hujan yang terkumpul sebanyak 10 tahun dari tahun 1994 – 2003 dan terdapat pada Lampiran IV-6 sampai dengan IV-8. Data curah hujan rerata bulanan untuk masing-masing stasiun hujan ditampilkan pada Gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2 Data curah hujan rerata bulanan DAS Tk. Nyuling

## 2. DAS Tukad Jogading

### a. Iklim

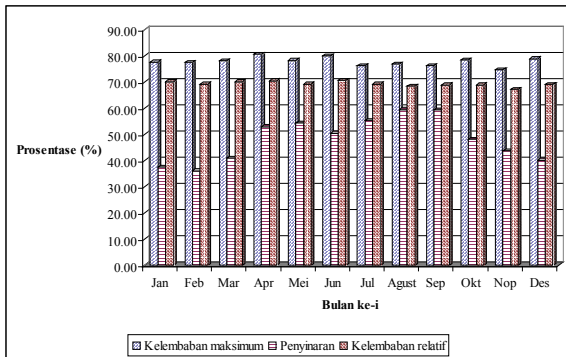
Data ini menggambarkan kondisi cuaca di suatu daerah studi, dan faktor iklim yang terkumpul selama 10 (sepuluh) tahun yakni dari tahun 1994 – 2003. Data iklim ini didapat dari stasiun klimatologi Negara, dengan data yang tercatat adalah data temperatur, kecepatan angin, kelembaban relatif, kelembaban maksimum, dan lama penyinaran. Berdasarkan data yang terdapat pada Lampiran IV-9 sampai dengan IV-13, temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan kecepatan angin (km/hari) rata-rata bulanan pada daerah studi sesuai Tabel 4.2 berikut:

**Tabel 4.2 Data temperatur dan kecepatan angin rerata bulanan (1994-2003) DAS Tk. Jogading**

Iklim	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
T (0°C)	25.09	25.12	25.00	24.77	24.41	23.98	23.36	23.30	24.07	24.78	25.23	25.12
Kec (km/hari)	116.82	112.09	97.71	114.29	137.46	161.19	182.67	225.18	234.59	200.80	169.29	106.37

Sumber: Hasil perhitungan

Sedangkan data kelembaban maksimum, penyinaran matahari dan kelembaban relatif sesuai Gambar 4.3 berikut:

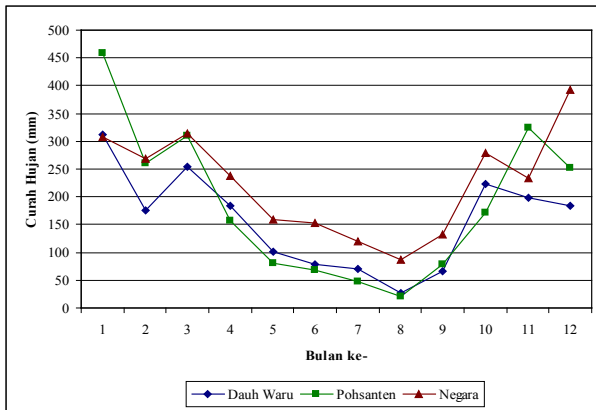


Gambar 4.3 Data kelembaban dan penyinaran (1994-2003) DAS Tk. Jogading

## b. Curah Hujan

Ketersediaan data hidrologi berupa data curah hujan bulanan yang didapat dari stasiun hujan Dauh Waru, stasiun hujan Pohsanten, dan stasiun hujan Negara. Data curah hujan yang terkumpul sebanyak 10 tahun dari tahun 1994 – 2003 dan terdapat pada Lampiran IV-14 sampai dengan IV-16. Data curah hujan rerata bulanan untuk masing-masing stasiun hujan ditampilkan

pada Gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4 Data curah hujan rerata bulanan DAS Tk. Jogading

### 3. DAS Tukad Petanu

#### a. Iklim

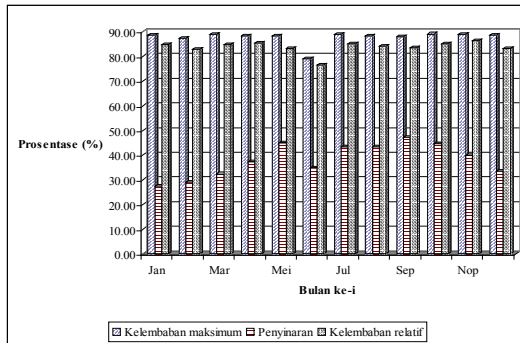
Data ini menggambarkan kondisi cuaca di suatu daerah studi, dan faktor iklim yang terkumpul selama 10 (sepuluh) tahun yakni dari tahun 1994 – 2003. Data iklim ini didapat dari stasiun klimatologi Tampaksiring, dengan data yang tercatat adalah data temperatur, kecepatan angin, kelembaban relatif, kelembaban maksimum, dan lama penyinaran. Berdasarkan data yang terdapat pada Lampiran IV-17 sampai dengan IV-21, temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan kecepatan angin (km/hari) rata-rata bulanan pada daerah studi sesuai Tabel 4.3 berikut:

**Tabel 4.3 Data temperatur dan kecepatan angin rerata bulanan (1994-2003) DAS Tk. Petanu**

Iklim	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
T (0°C)	23.48	23.56	23.24	23.22	22.73	19.78	21.59	21.76	19.47	20.31	20.99	21.09
Kec (km/hari)	35.11	41.92	40.35	32.89	36.96	30.92	34.61	45.79	47.94	44.97	37.60	30.62

Sumber: Hasil perhitungan

Sedangkan data kelembaban maksimum, penyinaran matahari dan kelembaban relatif sesuai Gambar 4.5 berikut:

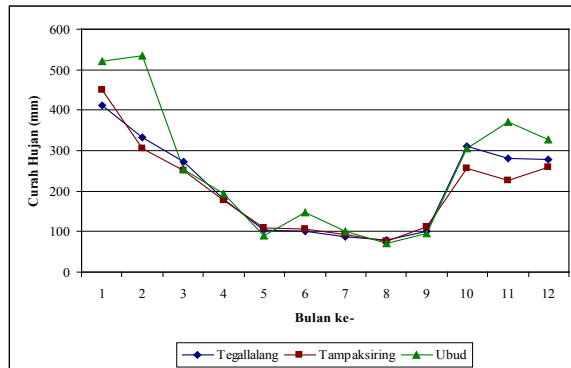


Gambar 4.5 Data kelembaban dan penyinaran (1994-2003) DAS Tk Petanu

## b. Curah Hujan

Ketersediaan data hidrologi berupa data curah hujan bulanan yang didapat dari stasiun hujan Tegallalang, stasiun hujan Tampaksiring, dan stasiun hujan Ubud. Data curah hujan yang terkumpul sebanyak 10 tahun dari tahun 1994 – 2003 dan terdapat pada Lampiran IV-22 sampai dengan IV-24. Data curah hujan

rerata bulanan untuk masing-masing stasiun hujan ditampilkan pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Data curah hujan rerata bulanan DAS Tk. Petanu

## B. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi ini meliputi; uji konsistensi data, evapotranspirasi, dan analisis curah hujan daerah (*areal rainfall*).

### a. Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data ini meliputi uji ketidakpangghahan data suatu stasiun sendiri dengan mendeteksi pergeseran nilai rata-rata (*mean*). Metode yang digunakan untuk pengujian ini adalah dengan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*).

Data hujan yang diuji dalam penelitian ini diambil dari 3

(tiga) DAS di Bali yakni; DAS Tukad Nyuling dengan stasiun pencatat hujan Amlapura, stasiun hujan Bebandem, dan stasiun hujan Pidpid; DAS Tukad Jogading dengan stasiun pencatat hujan Dauh Waru, stasiun hujan Pohsanten, dan stasiun hujan Negara; serta DAS Tukad Petanu dengan stasiun pencatat hujan Tegallalang, stasiun hujan Tampaksiring, dan stasiun hujan Ubud.

Dari hasil pengujian untuk kesembilan stasiun hujan didapat data hujan yang konsisten. Hal ini ditunjukkan dari nilai  $Q/\sqrt{n}$  dan  $R/\sqrt{n}$  lebih kecil dari harga yang didapat dari Tabel Sri Harto (1993). Hasil konsistensi data dapat dilihat pada Lampiran IV-25 sampai dengan IV-33.

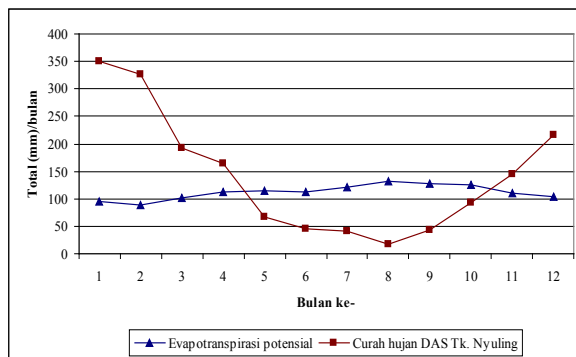
#### **b. Analisis Curah Hujan Daerah (*Areal Rainfall*) dan Evapotranspirasi**

Data curah hujan yang didapat dari stasiun penakar Pidpid, stasiun hujan Amlapura, stasiun hujan Bebandem, stasiun hujan Dauh Waru, stasiun hujan Pohsanten, stasiun hujan Negara, stasiun hujan Tegallalang, stasiun hujan Tampaksiring dan stasiun hujan Ubud merupakan curah hujan di suatu titik.

Curah hujan untuk suatu kawasan DAS (*areal rainfall*), dalam hal ini berturut-turut untuk DAS Tukad Nyuling, DAS Tukad Jogading, dan DAS Tukad Petanu, dianalisis dengan menggunakan metode *Poligon Thiessen*. Sebelum dilakukan perhitungan hujan daerah, proses perbaikan data hujan di setiap stasiun dikerjakan terlebih dahulu. Perhitungan hujan daerah terdapat pada Lampiran IV-34 sampai dengan IV-36. Sedangkan di dalam perhitungan evapotranspirasi dipergunakan metode Penman yang dapat dilihat pada Lampiran IV-37 sampai dengan IV-39. Hasil perhitungan untuk curah hujan daerah dan evapotranspirasi masing-masing DAS adalah sebagai berikut:

#### a. DAS Tukad Nyuling

Hasil rangkuman perhitungan curah hujan daerah dan evapotranspirasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.7:



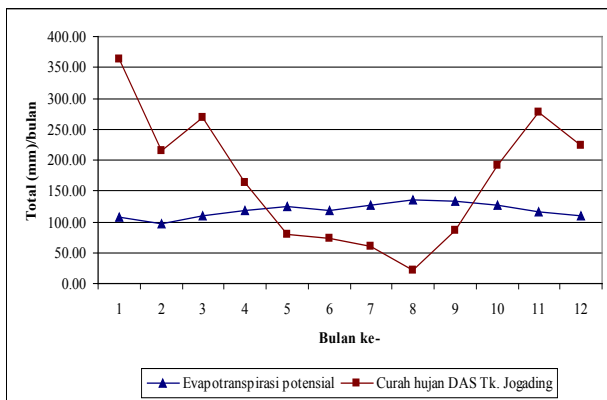
Gambar 4.7 Curah Hujan dan Evapotranspirasi DAS Tk. Nyuling



Dari hasil analisis curah hujan daerah rata-rata pertahun sebesar 1702,06 mm, dan ini menunjukkan potensi curah hujan yang relatif tinggi. Sedangkan evapotranspirasi tertinggi sebesar 130,89 mm/bulan terjadi di bulan Agustus dan terendah sebesar 89,16 mm/bulan pada bulan Pebruari.

### b. DAS Tukad Jogading

Hasil rangkuman perhitungan curah hujan daerah dan evapotranspirasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8:

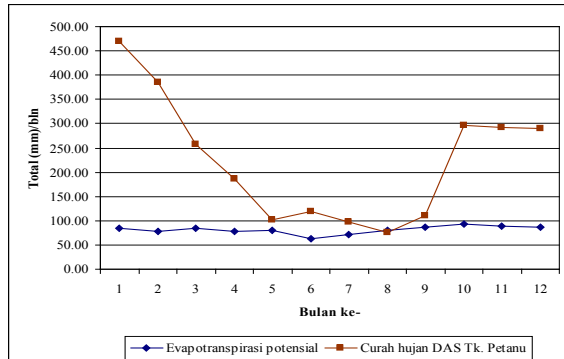


Gambar 4.8 Curah Hujan dan Evapotranspirasi DAS Tk. Jogading

Dari hasil analisis curah hujan daerah rata-rata pertahun sebesar 2024,69 mm, dan ini menunjukkan potensi curah hujan yang relatif tinggi. Sedangkan evapotranspirasi tertinggi sebesar 135,87 mm/bulan terjadi di bulan Agustus dan terendah sebesar 96,39 mm/bulan pada bulan Pebruari.

### c. DAS Tukad Petanu

Hasil rangkuman perhitungan curah hujan daerah dan evapotranspirasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.9:



Gambar 4.9 Curah Hujan dan Evapotranspirasi DAS Tk. Petanu

Dari hasil analisis curah hujan daerah rata-rata pertahun sebesar 2676,61 mm, dan ini menunjukkan potensi curah hujan yang relatif tinggi. Sedangkan evapotranspirasi tertinggi sebesar 93,55 mm/bulan terjadi di bulan Oktober dan terendah sebesar 61,86 mm/bulan pada bulan Juni.

### C. Hubungan Curah Hujan Limpasan

Analisis hubungan curah hujan limpasan untuk DAS, dalam hal ini yang ditinjau adalah DAS Tukad Nyuling, DAS Tukad Jogading, dan DAS Tukad Petanu, digunakan metode jaringan syaraf tiruan (*artificial neural networks*) yang dibantu dengan

*Toolbox ANN pada software MATLAB Release 14.*

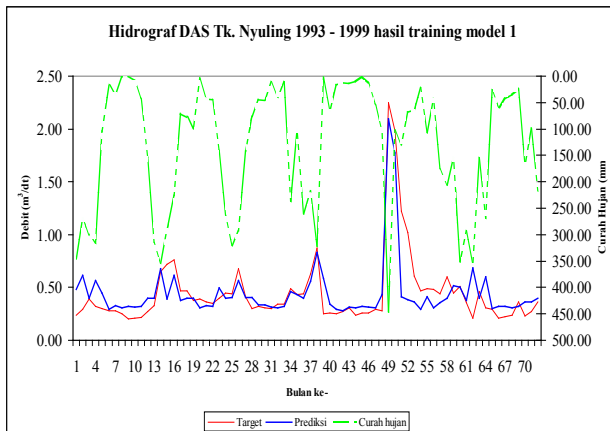
Berdasarkan hasil analisis dengan *artificial neural networks*, didapatkan hubungan curah hujan limpasan untuk ketiga DAS yang dijadikan obyek penelitian. Untuk DAS Tukad Nyuling dari enam model yang digunakan untuk proses analisis, tingkat kinerja jaringan model dengan 3 *input*, 10 *hidden layer* pertama, 5 *hidden layer* kedua, dan 1 *output* (arsitektur jaringan 3-10-5-1) mendapatkan nilai *mean square error* terkecil yakni sebesar 0,006. Model 5 dengan arsitektur 3-10-5-1 memberikan nilai KAR paling kecil yakni sebesar 0,157 dan koefisien korelasi paling besar yakni 0,973 atau 97,3% dari semua model yang sudah dilakukan proses pembelajaran (*training process*).

Adapun untuk proses pengujian (*testing process*), model dengan 4 *input*, 10 *hidden layer* pertama, 5 *hidden layer* kedua, dan 1 *output* (arsitektur jaringan 4-10-5-1) memberikan nilai KAR terkecil sebesar 0,337 dan memiliki koefisien korelasi sebesar yaitu 0,777 atau 77,7%. Dari hasil analisis untuk mendapatkan tingkat kinerja model, *artificial neural networks* metode *back propagation* dengan arsitektur 3-10-5-1 (model 5) memberikan hasil yang paling optimum untuk menggambarkan hubungan

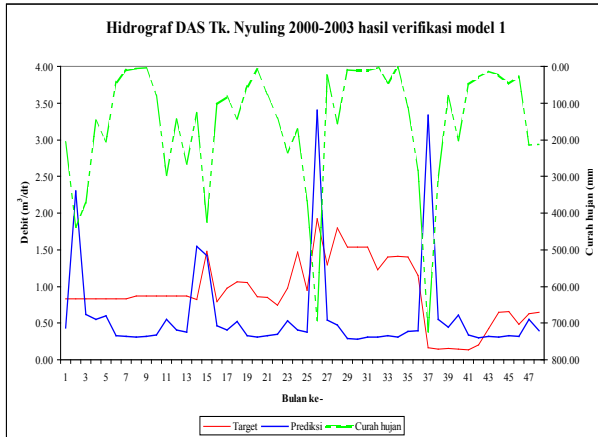
hujan-limpasan yang terjadi di DAS Tukad Nyuling.

Dari Gambar 4.10 dan 4.11 mengenai perbandingan *training* dan *testing* untuk model 1 sampai dengan model 6 terlihat bahwa pola antara garis target (merah) dengan garis prediksi (biru) menunjukkan suatu pola yang saling berdekatan, yang berarti telah menunjukkan adanya suatu keseimbangan antara proses memorisasi dan generalisasi dari jaringan.

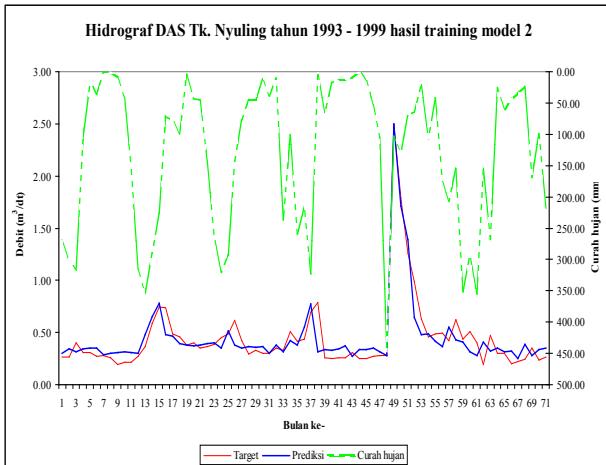
## 1. DAS Tukad Nyuling



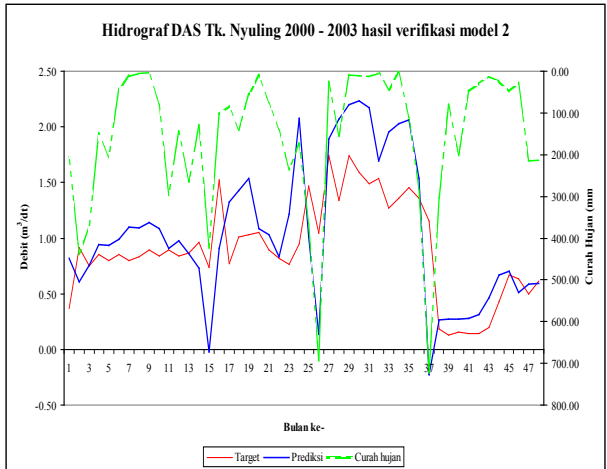
Training (model 1)



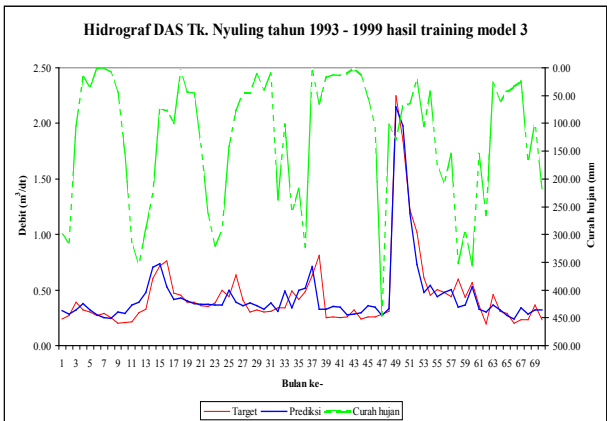
*Testing (model 1)*



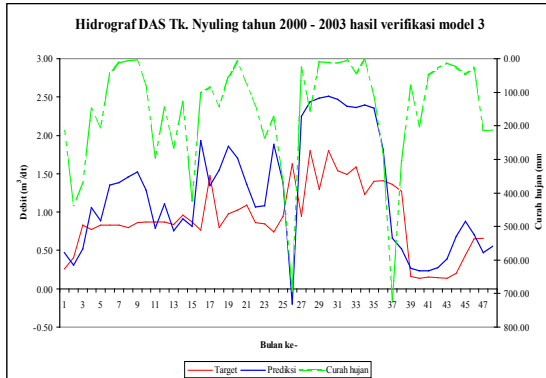
*Training (model 2)*



Testing (model 2)



Training (model 3)



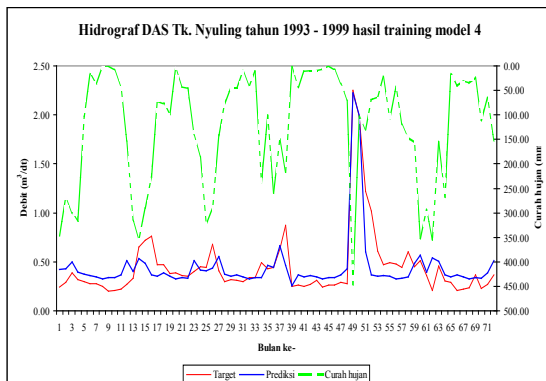
Testing (model 3)

Gambar 4.10 Perbandingan *training* dan *testing* (model 1 s.d model 3)

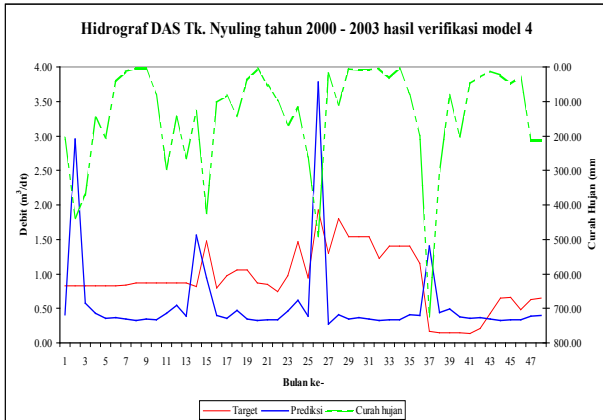
**Tabel 4.4 Kinerja model (model 1 s.d model 3) untuk DAS Tukad Nyuling**

Model	DAS Tukad Nyuling								
	MSE Jaringan	Training/Kalibrasi				Testing/Verifikasi			
		r	MSE	RMSE	KAR	r	MSE	RMSE	KAR
Model 1	0.0210	0.8430	355.680	18.8595	0.3005	0.0040	7707.987	87.7951	1.1235
Model 2	0.0126	0.9360	153.778	12.4007	0.2271	0.7340	2628.583	51.2697	0.9071
Model 3	0.0111	0.9450	134.709	11.6064	0.1997	0.6810	4657.377	68.2450	0.6272

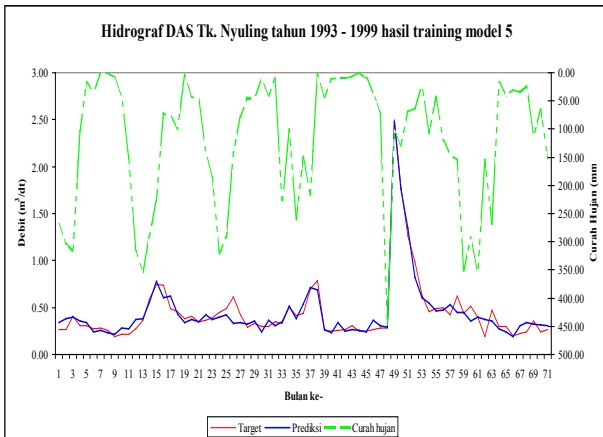
Sumber: Hasil analisis, 2010



Training (model 4)

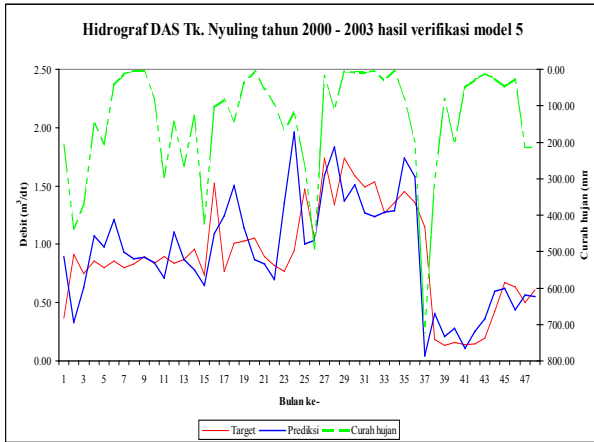


Testing (model 4)

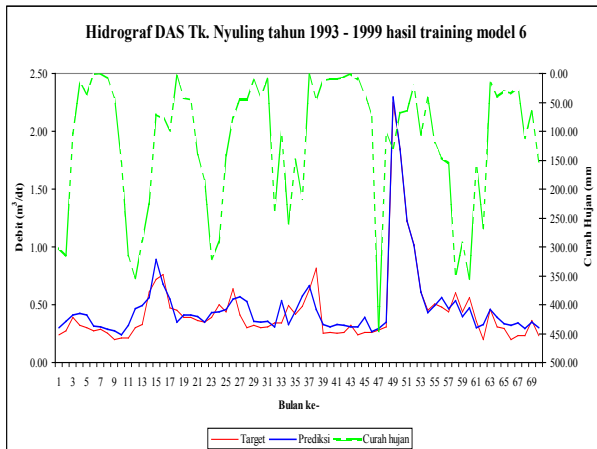


Testing (model 5)

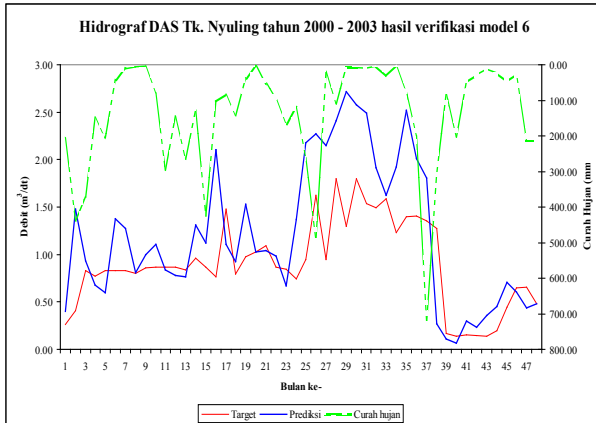




*Training (model 5)*



*Training (model 6)*



Testing (model 6)

Gambar 4.11 Perbandingan *training* dan *testing* (model 4 s.d model 6)

**Tabel 4.5 Kinerja model (model 4 s.d model 6) untuk DAS Tukad Nyuling**

Model	DAS Tukad Nyuling								
	MSE Jaringan	Training/Kalibrasi				Testing/Verifikasi			
		r	MSE	RMSE	KAR	r	MSE	RMSE	KAR
Model 4	0.0254	0.8630	311.493	17.6492	0.3062	0.1450	6411.592	80.0724	0.8835
Model 5	0.0055	0.9730	66.871	8.1775	0.1566	0.7190	1261.028	35.5110	0.3371
Model 6	0.0077	0.9610	93.527	9.6709	0.2032	0.7770	3602.05	60.0171	0.5235

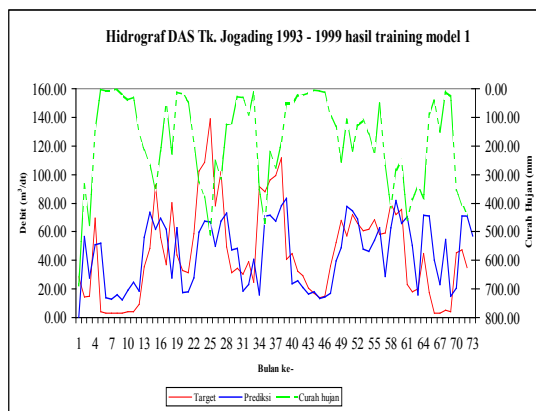
Sumber: Hasil analisis, 2010

Selanjutnya untuk DAS Tukad Jogading, tingkat kinerja jaringan terbaik diberikan oleh model 6 dengan arsitektur 4 *input*, 10 *hidden layer* pertama, 5 *hidden layer* kedua, dan 1 *output* yakni sebesar 0,053. Model 6 dengan arsitektur 4-10-5-1 memberikan nilai KAR sebesar 0,8161 dan koefisien korelasi paling besar yakni 0,916 atau 91,6% dari semua model yang sudah dilakukan proses

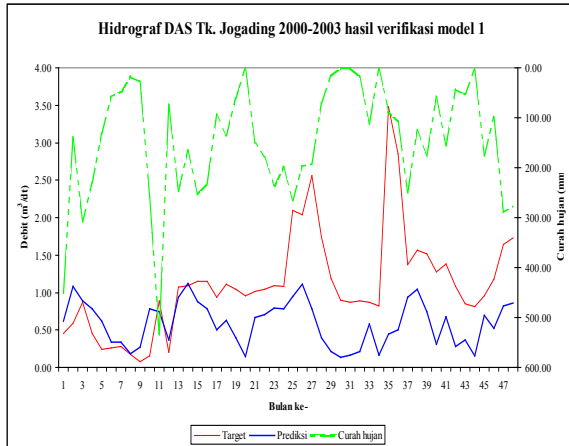
pembelajaran. Pada proses pengujian, model 5 memberikan nilai KAR sebesar 0,579 dan memiliki koefisien korelasi sebesar yaitu 0,699 atau 69,9%. Dari hasil analisis untuk mendapatkan tingkat kinerja model, *artificial neural networks* metode *back propagation* dengan arsitektur 3-10-5-1 (model 5) memberikan hasil yang paling optimum untuk menggambarkan hubungan hujan-limpasan yang terjadi di DAS Tukad Jogading.

Dari Gambar 4.12 dan 4.13 mengenai perbandingan *training* dan *testing* untuk model 1 sampai dengan model 6 terlihat bahwa pola antara garis target (merah) dengan garis prediksi (biru) menunjukkan suatu pola yang saling berdekatan, yang berarti telah adanya keseimbangan antara proses memorisasi dan generalisasi dari jaringan.

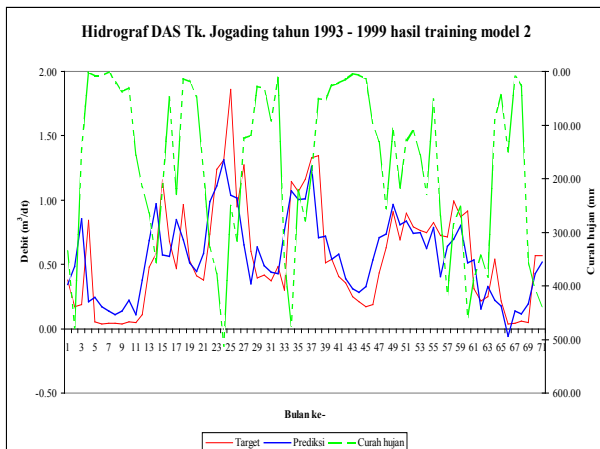
## 2. DAS Tukad Jogading



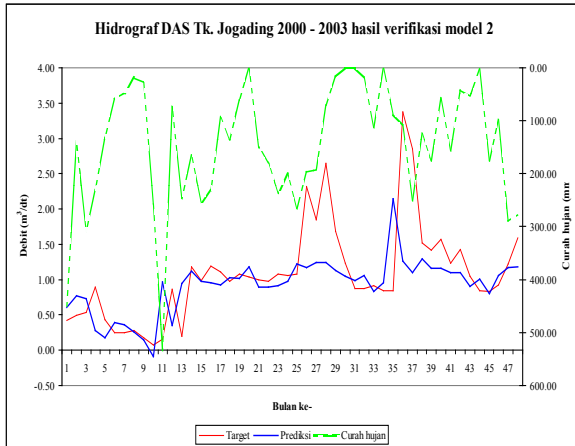
*Training (model 1)*



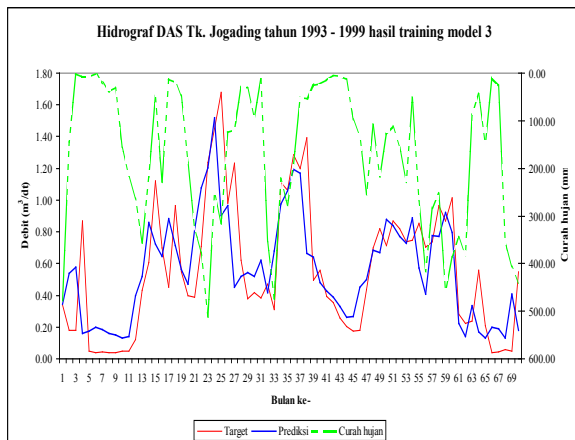
*Testing (model 1)*



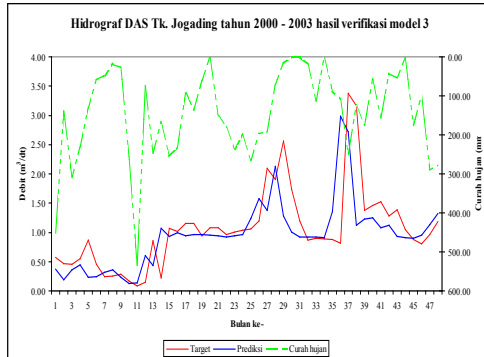
*Training (model 2)*



Testing (model 2)



Training (model 3)



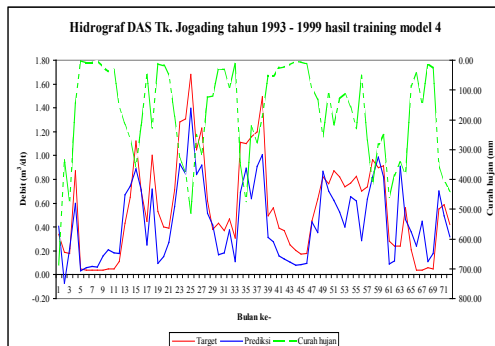
Testing (model 3)

Gambar 4.12 Perbandingan *training* dan *testing* (model 1 s.d model 3)

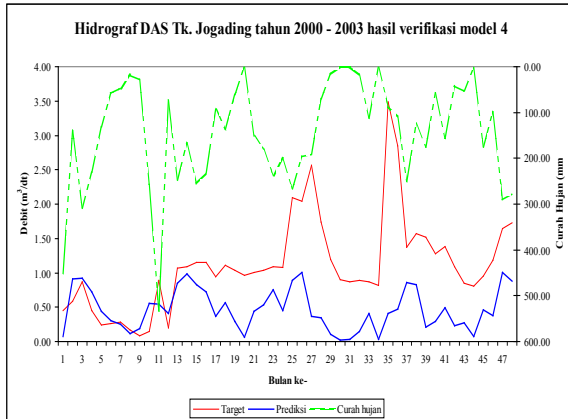
**Tabel 4.6 Kinerja model (model 1 s.d model 3) untuk DAS Tukad Jogading**

Model	DAS Tukad Jogading								
	MSE Jaringan	Training/Kalibrasi				Testing/Verifikasi			
		r	MSE	RMSE	KAR	r	MSE	RMSE	KAR
Model 1	0.113467	0.6605	522.905	22.8671	1.1503	0.2419	4648.351	68.1788	0.6448
Model 2	0.095244	0.7648	438.938	20.9509	0.7662	0.556	2959.934	54.4053	0.4946
Model 3	0.092476	0.7763	447.351	21.1507	0.8539	0.6326	1990.017	44.6096	0.4309

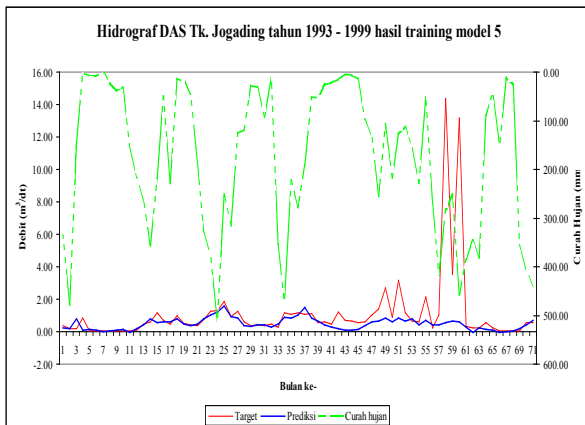
Sumber: Hasil analisis, 2010



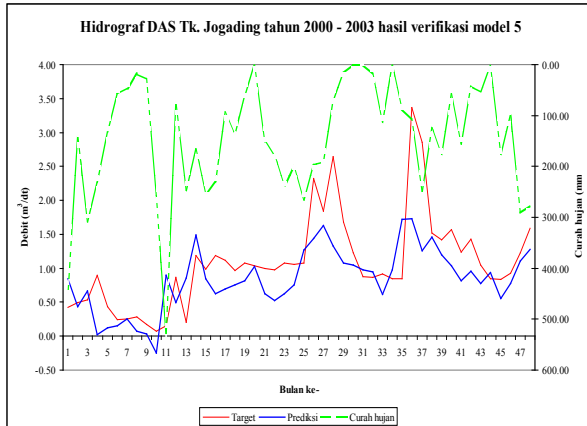
Training (model 4)



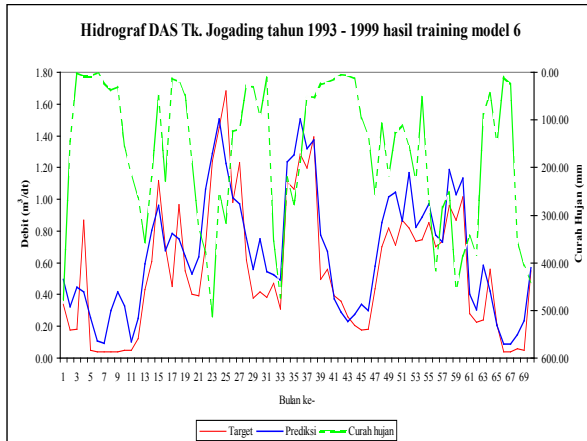
Testing (model 4)



Training (model 5)

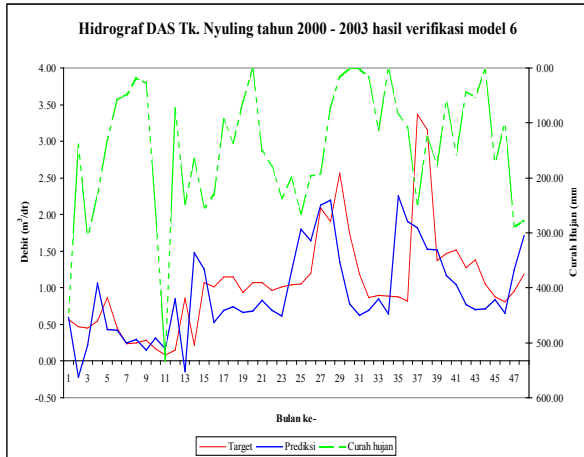


*Testing (model 5)*



*Training (model 6)*





Testing (model 6)

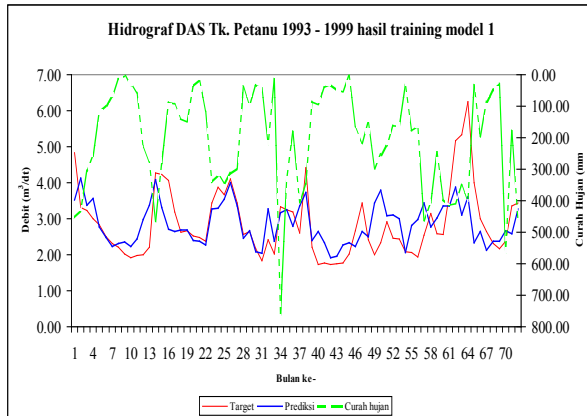
Gambar 4.13 Perbandingan *training* dan *testing* (model 4 s.d model 6)

**Tabel 4.7 Kinerja model (model 4 s.d model 6) untuk DAS Tukad Jogading**

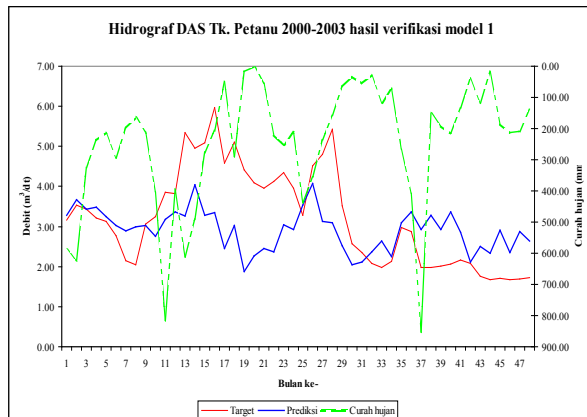
Model	DAS Tukad Jogading								
	MSE Jaringan	Training/Kalibrasi				Testing/Verifikasi			
		r	MSE	RMSE	KAR	r	MSE	RMSE	KAR
Model 4	0.0791669	0.8546	364.843	19.1009	0.7475	0.2488	5585.411	74.7356	0.6624
Model 5	0.0700245	0.8624	34773.815	186.4774	0.5774	0.6997	1902.010	43.6120	0.5789
Model 6	0.0528025	0.9164	243.328	15.5990	0.8161	0.5539	2487.17	49.8716	0.6398

Sumber: Hasil analisis, 2010

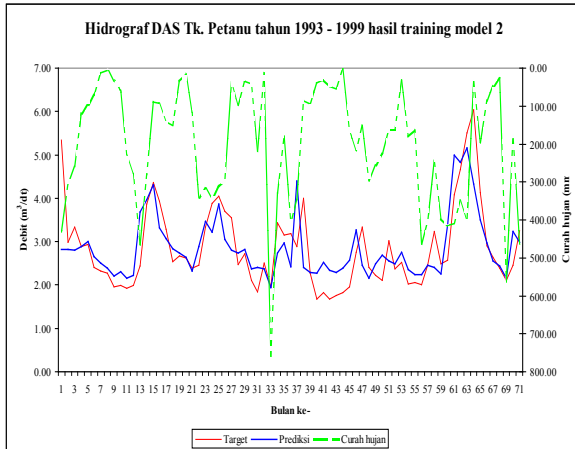
### 3. DAS Tukad Petanu



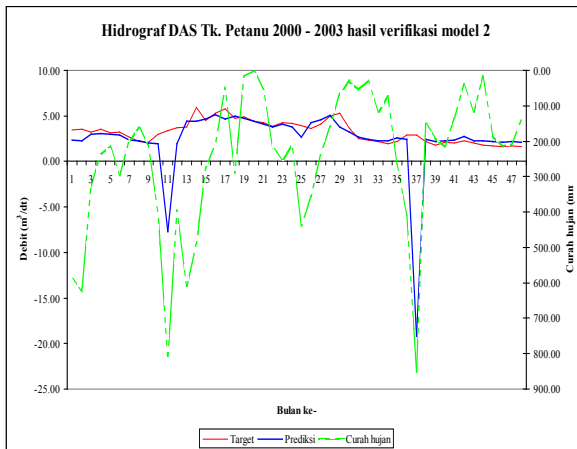
*Training (model 1)*



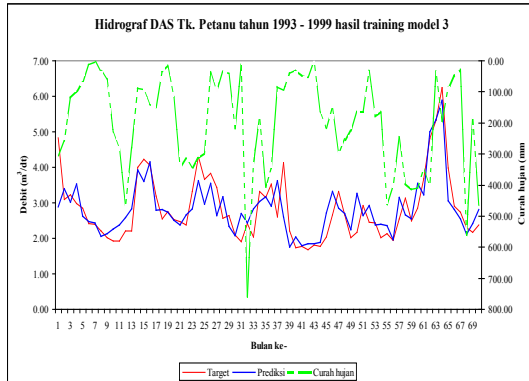
*Testing (model 1)*



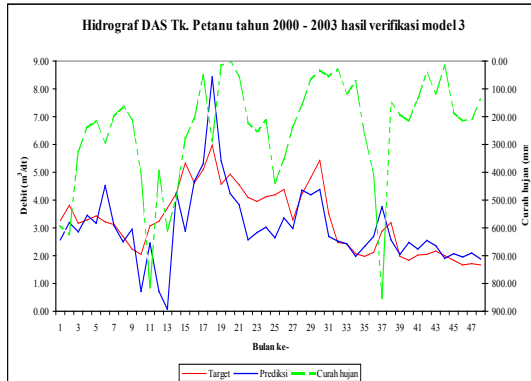
*Training (model 2)*



*Testing (model 2)*



Training (model 3)



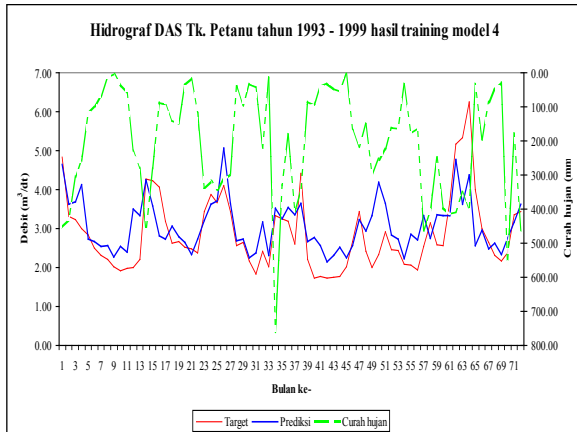
Testing (model 3)

Gambar 4.14 Perbandingan *training* dan *testing* (model 1 s.d model 3)

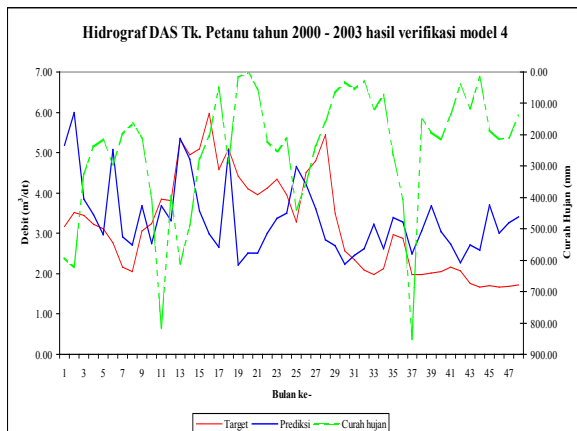
**Tabel 4.8 Kinerja model (model 1 s.d model 3) untuk DAS Tukad Petanu**

Model	DAS Tukad Petanu								
	MSE Jaringan	Training/Kalibrasi				Testing/Verifikasi			
		r	MSE	RMSE	KAR	r	MSE	RMSE	KAR
Model 1	0.109887	0.5753	1067.545	32.6733	0.1836	0.166	2710.854	52.0659	0.2957
Model 2	0.075641	0.7365	96.490	9.8229	0.1539	0.3156	27690.432	166.4044	0.3752
Model 3	0.0554063	0.8175	538.295	23.2012	0.1373	0.7123	2174.985	46.6367	0.2122

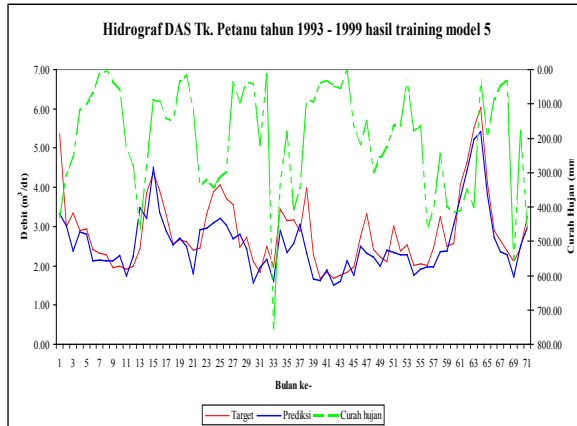
Sumber: Hasil analisis, 2010



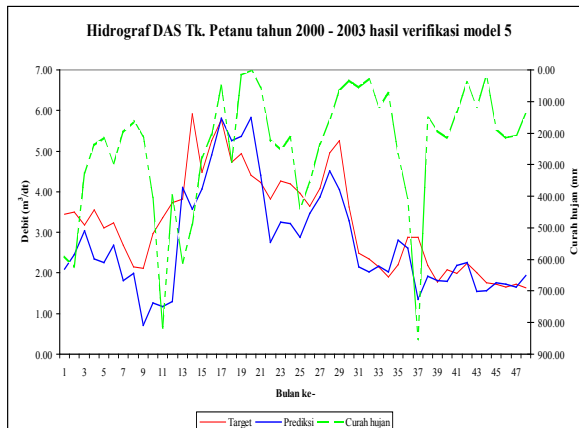
*Training (model 4)*



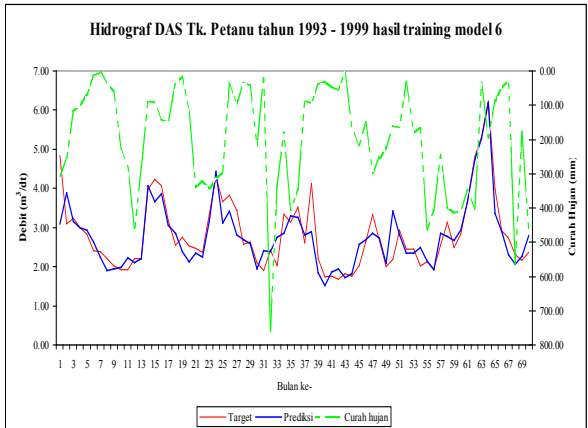
*Testing (model 4)*



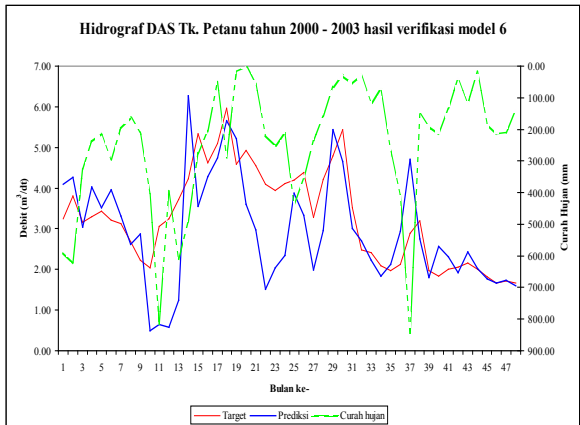
*Training (model 5)*



*Testing (model 5)*



*Training (model 6)*



*Testing (model 6)*

Gambar 4.15 Perbandingan *training* dan *testing* (model 1 s.d model 3)

**Tabel 4.9 Kinerja model (model 4 s.d model 6)  
untuk DAS Tukad Petanu**

Model	DAS Tukad Petanu								
	MSE Jaringan	Training/Kalibrasi				Testing/Verifikasi			
		r	MSE	RMSE	KAR	r	MSE	RMSE	KAR
Model 4	0.093106	0.7006	904.565	30.0760	0.1971	0.2274	3083.212	55.5267	0.3581
Model 5	0.0558376	0.8688	542.469	23.2910	0.1322	0.7536	1608.729	40.1090	0.1971
Model 6	0.0350548	0.8913	340.538	18.4537	0.0999	0.6045	2492.68	49.9267	0.2398

Sumber: Hasil analisis, 2010

Terakhir untuk DAS Tukad Petanu, tingkat kinerja jaringan terbaik diberikan oleh model 6 yakni sebesar 0,035. Model 6 dengan arsitektur 4-10-5-1 memberikan nilai KAR sebesar 0,099 dan koefisien korelasi paling besar yakni 0,891 atau 89,1% dari semua model yang sudah dilakukan proses pembelajaran. Pada proses pengujian, model 5 dengan arsitektur 3-10-5-1 mendapatkan nilai KAR sebesar 0,197 dan koefisien korelasi sebesar yaitu 0,754 atau 75,4%. Dari hasil analisis untuk mendapatkan tingkat kinerja model, *artificial neural networks* metode *back propagation* dengan arsitektur 4-10-5-1 (model 6) memberikan hasil yang paling optimum untuk menggambarkan hubungan hujan-limpasan yang terjadi di DAS Tukad Petanu.

Dari Gambar 4.14 dan 4.15 mengenai perbandingan *training* dan *testing* untuk model 1 sampai dengan model 6 terlihat bahwa pola antara garis target (merah) dengan garis prediksi



(biru) menunjukkan suatu pola yang saling berdekatan, yang berarti telah adanya keseimbangan antara proses memorisasi dan generalisasi dari jaringan.

Untuk mendapatkan tingkat kinerja model secara umum, dilakukan proses perataan dari semua variabel yang mempengaruhi kinerja model. Adapun hasil rerata yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.10:

**Tabel 4.10 Kinerja Model Rerata**

Model	KINERJA RERATA								
	MSE Jaringan	Training/Kalibrasi				Testing/Verifikasi			
		r	MSE	RMSE	KAR	r	MSE	RMSE	KAR
Model 1	0.081435	0.692933	648.71002	24.79997	0.544789	0.13731	5022.3972	69.34661	0.687998
Model 2	0.0611479	0.812433	229.73535	14.3915	0.382426	0.5352	11092.9831	90.69314	0.59228
Model 3	0.052994203	0.846267	373.4518	18.65276	0.396969	0.6753	2940.79318	53.16377	0.423432
Model 4	0.065904467	0.806067	526.967	22.27534	0.416956	0.207067	5026.73831	70.11157	0.634689
Model 5	0.043774687	0.9014	11794.385	72.64861	0.288746	0.7241	1590.58917	39.74399	0.371009
Model 6	0.03186431	0.9229	225.79764	14.57453	0.373057	0.645133	2860.63429	53.2718	0.467686

Sumber: Hasil analisis, 2010

Berdasarkan tabel di atas terlihat bahwa, secara umum model 5 dengan arsitektur 3-10-5-1 memberikan hasil yang paling optimum untuk menggambarkan hubungan curah hujan dengan limpasan dengan tingkat kinerja jaringan sebesar 0,044. Dari tabel 4.10, model 5 memberikan nilai kesalahan absolute rata-rata (KAR) terkecil sebesar 0,289 dengan nilai koefisien korelasi 0,9014 atau 90,14% pada proses pembelajaran. Sedangkan pada proses pengujian, model 5 memberikan nilai kesalahan absolute rata-

rata terkecil sebesar 0,371 dengan nilai koefisien korelasi 0,7241 atau 72,41%. Dari hasil tersebut terlihat bahwa ANN memiliki kemampuan yang bagus dalam mereplikasi fluktuasi debit yang acak ke dalam bentuk model buatan yang memiliki fluktuasi yang hampir sama.

#### **D. Aplikasi Model Dalam Peramalan Debit**

Di Tukad Nyuling, debit tertinggi terjadi pada bulan Mei 2004 dan Desember 2004 dengan debit dugaan sebesar  $1,849 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan  $1,772 \text{ m}^3/\text{dt}$ , selanjutnya akan berfluktuasi lebih rendah dan mencapai titik terendah pada bulan Juni 2005 dengan debit dugaan sebesar  $0,285 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

Di Tukad Jogading, pada bulan November 2004 diperkirakan akan terjadi perbedaan antara debit aktual dengan debit dugaan yang cukup besar. Debit aktual menunjukkan nilai sebesar  $4,289 \text{ m}^3/\text{dt}$  sedangkan debit dugaan sebesar  $1,084 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

Di Tukad Petanu, debit tertinggi terjadi pada bulan Mei 2004 debit perkiraan sebesar  $4,343 \text{ m}^3/\text{dt}$  yang selanjutnya akan mencapai titik terendah pada bulan Agustus 2005 dengan debit perkiraan sebesar  $1,59231 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Nilai-nilai tersebut terlihat pada

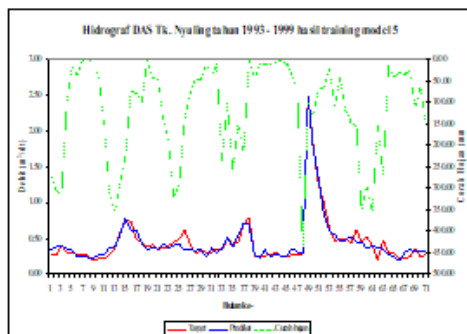
Tabel 4.11 dan Gambar 4.16.

Hasil prediksi tersebut memberikan gambaran bahwa debit bulanan di Tukad Nyuling diperkirakan akan tinggi (Atas Normal) sepanjang Pebruari 2004 sampai dengan Maret 2005 dan Agustus sampai Desember 2005. Sementara selama April 2005 sampai Juli 2005, debit bulanan di Tukad Nyuling diperkirakan dalam keadaan Normal.

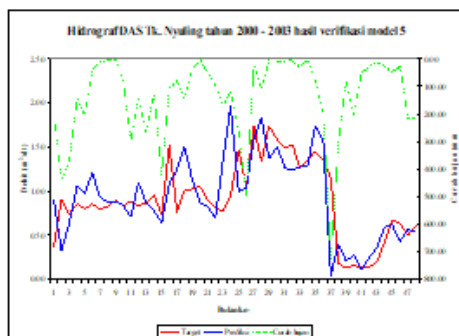
Untuk Tukad Jogading, nilai debit dugaan akan berfluktuasi selama tahun 2004-2005. Nilai debit dugaan akan berada di bawah normal pada Oktober dan November 2004, Oktober 2005 dan Desember 2005, sedangkan pada Pebruari, Maret dan Desember 2004 serta Pebruari - September 2005 akan berada dalam keadaan Normal. Keadaan Atas Normal di Tukad Jogading diperkirakan akan terjadi sepanjang April - September 2004. Sedangkan untuk Tukad Petanu, debit dengan kondisi Atas Normal terjadi pada bulan Pebruari 2004 sampai dengan Juli 2004. Sedangkan pada Agustus 2004 - Januari 2005 dan Agustus - November 2005 kondisi debit dalam keadaan Normal.

Selain itu untuk memperkirakan debit yang akan terjadi di tahun mendatang, dapat dipergunakan juga pola debit prediksi

yang diperoleh dari model terbaik. Pada penelitian ini telah didapatkan bahwa model 5 dengan arsitektur 3-10-5-1 menjadi model terbaik untuk menggambarkan hubungan curah hujan limpasan untuk DAS di Bali. Debit prediksi dari model tersebut (hasil debit prediksi dari proses *training* maupun *testing* selama 10 tahun) yang dijadikan pola untuk memprediksi debit mendatang. Pola debit prediksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Training (model 5)



Testing (model 5)

# Penutup

Ada beberapa kesimpulan dari judul buku *Pemodelan Curah Hujan-Limpasan Dengan*

*Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Networks)* yaitu :

Pertama, Model *Artificial Neural Networks* (ANN) metode *Multi Layer Perceptron* (MLP) dengan pembelajaran metode *back propagation* dapat diterapkan dalam modelisasi hubungan curah hujan limpasan untuk DAS di Bali. Secara grafis, untuk proses *training* maupun *testing*, hubungan curah hujan dengan limpasan telah terpolakan dengan baik. Begitu juga dilihat dari kinerja, untuk proses *training* maupun *testing*, parameter-parameter statistik yang digunakan memberikan hasil yang relatif baik.

Kedua, Tingkat kinerja model *Artificial Neural Networks* metode *Multi Layer Perceptron* (MLP) dengan pembelajaran metode *back propagation* dalam penggambaran hubungan curah hujan limpasan untuk DAS di Bali, menunjukkan bahwa model dengan arsitektur 3-10-5-1 memberikan hasil yang paling optimum

dengan tingkat kinerja jaringan 0,044. Model ini memberikan nilai kesalahan absolute rata-rata (KAR) terkecil 0,289 dengan nilai koefisien korelasi 0,9014 atau 90,14% pada proses pembelajaran. Sedangkan pada proses pengujian, model ini memberikan nilai KAR terkecil 0,371 dengan nilai koefisien korelasi 0,7241 atau 72,41%. Ini berarti bahwa ANN memiliki kemampuan yang bagus dalam mereplikasi fluktuasi debit yang acak ke dalam bentuk model buatan yang memiliki fluktuasi yang hampir sama.

Ketiga, Hasil prediksi memberikan gambaran bahwa debit bulanan di Tk. Nyuling diperkirakan akan tinggi (Atas Normal) pada Pebruari 2004-Maret 2005 dan Agustus-Desember 2005. Sedangkan pada April 2005-Juli 2005, diperkirakan dalam keadaan Normal. Untuk Tk. Jogading, debit dugaan akan berfluktuasi selama tahun 2004-2005. Debit dugaan akan berada di Bawah Normal pada Oktober-November 2004, Oktober-Desember 2005, sedangkan pada Pebruari, Maret dan Desember 2004 serta Pebruari-September 2005 diperkirakan akan Normal. Keadaan Atas Normal diperkirakan akan terjadi sepanjang April-September 2004. Sedangkan untuk Tk. Petanu, debit Atas Normal terjadi pada bulan Pebruari-Juli 2004. Sedangkan pada Agustus 2004-Januari 2005 dan Agustus-November 2005 kondisi debit dalam keadaan Normal.

Adapun saran yang bisa disampaikan berdasarkan penelitian ini yaitu pemodelan curah hujan limpasan menggunakan *input* berupa data klimatologi (curah hujan, debit dan evapotranspirasi) bulanan, oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan *input* berupa data klimatologi dengan periode harian dan yang ditambahkan dengan data lainnya seperti infiltrasi dan perkolasi.

# Daftar Pustaka

Abdulla, F. and Badranih, L.A., 2000, *“Application of a Rainfall-Runoff Model to Three Catchments in Iraq”*, Journal of Hydrological Sciences, 45: 13-25.

Adidarma, W.K., Hadihardaja, I.K., Legowo, S., 2004, *“Perbandingan Pemodelan Hujan-Limpasan Antara Artificial Neural Network (ANN) dan NRECA”*, Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 11 No. 3: 105-115.

Andina, D. And Pham, D.T., 2007, *“Artificial Neural Network”*, Computational Intelligence – Springer: 67-92.

Anonim, 2007, *“Buku Pedoman Penulisan Usulan Penelitian, Tesis dan Disertasi”*, Universitas Udayana, Denpasar.

Anonim, 2006, *“Laporan Hidrologi”*, Departemen Pekerjaan Umum – Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Satuan Kerja NVT Pengembangan dan Pengelolaan Sumber Air Bali, Denpasar.

Anonim, 2004, *“Undang-Undang No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air”*, PT. MEDISA – Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

Anonim, 2006, *“Identifikasi Masalah Pengelolaan Sumber Daya Air Di Pulau Jawa”* (laporan akhir), Direktorat Pengairan dan Irigasi Kementerian Negara Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.



- Anonim, 2009, "*Peraturan Daerah Provinsi Bali Nomor 6 Tahun 2009 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Daerah (RPJPD) Provinsi Bali Tahun 2005-2025*", Denpasar.
- Anonim, 2007, "*Profil Balai Wilayah Sungai Bali-Penida*", Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Departemen Pekerjaan Umum. Available from: URL: <http://www.pu.go.id>.
- Arsana, K. IGN, 2005, "*Pengembangan dan Pengelolaan Sumber Daya Air Di Daerah Aliran Sungai Ayung Secara Terintegrasi*" (tesis), Universitas Udayana, Denpasar.
- Asdak, C., 2004, "*Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988, "*Applied Hydrology*", McGraw-Hill, Singapore.
- Cigizoglu, H.K., 2000, "*Suspended Sediment Estimation for Rivers Using Artificial Neural Networks and Sediment Rating Curves*", Turkish J. Eng. Env. Sci, 26: 27-36.
- Dawson, C.W. and Wilby, R.L., 2001, "*Hydrological Modelling Using Artificial Neural Networks*", Progress in Physical Geography, 25-1: 80-108.
- Fausett, L., 1994, "*Fundamental of Neural Networks*", Prentice Hall, Engelwood Cliffs, New Jersey.
- Fendi, Suwandi, A., 2000, "*Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Dalam Bidang Teknik Sipil*", Makalah Seminar Mahasiswa FKMTSI, Palembang.

- Fu, LiMin, 1994, *“Neural Networks In Computer Intelligence”*, McGraw-Hill Inc., Singapore.
- Hadi, P.M., 2006, *“Pemahaman Karakteristik Hujan Sebagai Dasar Pemilihan Model Hidrologi (Studi Kasus di DAS Bengawan Solo Hulu)”*, Forum Geografi, Vol. 20 No. 1: 13-26.
- Hadihardaja, I.K., Sutikno, S., 2005, *“Pemodelan Curah Hujan-Limpasan Menggunakan Artificial Neural Network (ANN) dengan Metode Backpropagation”*, Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 12 No. 4: 249-258.
- Harto, S., Br., 1993, *“Analisis Hidrologi”*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hermawan, A., 2006, *“Jaringan Syaraf Tiruan; Teori dan Aplikasi”*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Hu, T.S., Lam, K.C., and NG, S.T., 2001, 2001, *“River Flow Time Series Prediction With a Range-Dependent Neural Network”*, Journal of Hydrological Sciences, 46: 729-745.
- Joorabchi, A., H. Zhang, M. Blumenstein, 2007, *“Application of Artificial Neural Networks in Flow Discharge Prediction for the Fitzroy River, Australia”*, Journal of Coastal Research, Australia.
- Junsawang, P., Asavanant, J., Lursinsap, C, 2007, *“Artificial Neural Network Model for Rainfall-Runoff Relationship”*, ASIMMOD, Chiang Mai, Thailand.

- Kalteh, A.M., 2008, *“Rainfall-Runoff Modelling Using Artificial Neural Networks (ANNs): Modelling and Understanding”*, Caspian J. Env. Sci, Vol. 6 No. 1: 53-58.
- Kusumadewi, S., 2004, *“Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan MATLAB dan Excel Link”*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Lekkas, D.F., Onof, C., Lee, M.J., Baltas, E.A., 2005, *“Application Of Artificial Neural Networks For Flood Forecasting”*, Global Nest, Greece.
- Margiantono, A., 2003, *“Prediksi Debit Sungai Cikapundung Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan”* (tesis), Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Modarres, R., 2009, *“Multi-criteria Validation of Artificial Neural Network Rainfall-Runoff Modeling”*, Hydrology and Earth System Sciences, 13: 411-421.
- Ponce, V.M., 1989, *“Engineering Hydrology, Principles and Practices”*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Pramudia, A., Koesmaryono, Y., Las, I., June, T., Astika, I.W., dan Runtunuwu, E., 2006, *“Penyusunan Model Prediksi Curah Hujan dengan Teknik Analisis Jaringan Syaraf (Neural Network Analysis) di Sentra Produksi Padi di Jawa Barat dan Banten”*, Jurnal Tanah dan Iklim, 27: 11-20.
- Rajurkar, M.P., Kothiyari, U.C., Chaube, U.C., 2002, *“Artificial Neural Networks For Daily Rainfall-Runoff Modelling”*, Hydrological Science Journal, 47(6): 865-877.

- Santosa, B., 2007, "*Data Mining Terapan dengan MATLAB*", Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Setiawan, B.I., Rudiyanto, 2004, "*Aplikasi Neural Networks Untuk Prediksi Aliran Sungai*", Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi 2004 – BPPT, Jakarta.
- Sharma, K.D. and Murthy, J.S.R., 1998, "*A Practical Approach to Rainfall-Runoff Modelling in Arid Zone Drainage Basins*", Journal of Hydrology Sciences, 43: 331-348.
- Siang, J.J., 2005, "*Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan MATLAB*", Andi Offset, Yogyakarta.
- Soemarto, C.D., 1999, "*Hidrologi Teknik*", Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Sohail, A., Watanabe, K., Takeuchi, S., 2008, "*Runoff Analysis for a Small Watershed of Tono area Japan by Back Propagation Artificial Neural Network with Seasonal Data*", Water Resour Manage, 22: 1-22
- Sosrodarsono, S. Dan Takeda, K., 1983, "*Hidrologi untuk Pengairan*", PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Srinivasulu, S., Jain, A., 2008, "*Rainfall-Runoff Modelling: Integrating Available Data and Modern Techniques*", Water Science and Technology Library 68, Springer-Verlag Berlin Heidelberg : 59-70.
- Sunaryo, T.M., dkk, 2004, "*Pengelolaan Sumber Daya Air; Konsep dan Penerapannya*", Bayumedia Publishing, Malang.

Triatmodjo, B., 2008, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.

Warsito, B., Tarno, Sugiharto, A., 2008, "*Prediksi Curah Hujan Sebagai Dasar Perencanaan Pola Tanam Padi dan Palawija Menggunakan Model General Regression Neural Network*", Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro, Semarang.

# Tentang Penulis

Dr. Ir. Putu Doddy Heka Ardana, ST., MT., IPM lahir di Denpasar 1 Mei 1980. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Ngurah Rai. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana pada tahun 2023.

Setelah itu melanjutkan S2 pada Program Studi Magister Teknik Fakultas Teknik Universitas Udayana Konsentrasi Manajemen Sumber Daya Air pada tahun 2010.

Berikutnya, penulis menyelesaikan studi S3 pada Program Studi Doktor Ilmu Teknik Fakultas Teknik Universitas Udayana pada tahun 2022.

Hingga saat ini penulis masih aktif mengajar mata kuliah yang berhubungan dengan Sumber Daya Air pada jenjang S1 antara lain Hidrologi, Drainase dan Pengendalian Banjir Perkotaan, Irigasi dan Bangunan Air, dan Studio Irigasi.

# **LAMPIRAN A**

## **ALGORITMA PROGRAM**

### Lampiran III-1 Algoritma ANN dalam mencari hubungan hujan limpasan

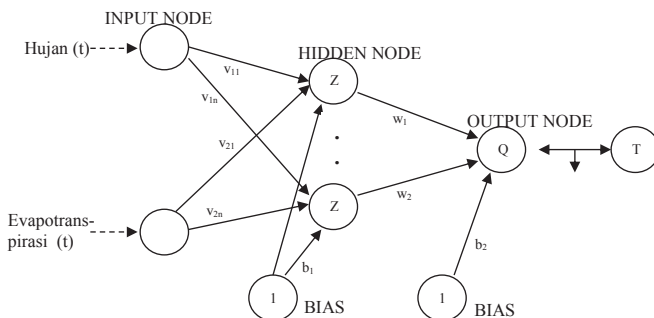
#### 3.3 Algoritma Artificial Neural Networks Back Propagation Method

Contoh penerapan algoritma pembelajaran metode *back propagation* di dalam mencari hubungan curah hujan dengan limpasan adalah sebagai berikut:

Diketahui suatu data curah hujan, evapotranspirasi, dan data tinggi aliran pada DAS Tukad Nyuling seperti berikut:

No	Tahun	Bulan	Uraian		
			Curah Hujan Kawasan (mm)	Evapotranspirasi (mm/bln)	Tinggi Aliran (mm)
1	1994	Januari	349.40	96.07	25.78
		Februari	268.10	89.16	28.14
		Maret	305.00	102.18	41.90

Setelah data tersebut terkumpul, akan dilakukan proses analisis dengan menggunakan model ANN dengan metode *back propagation* model 2-5-1 dengan gambaran arsitektur sebagai berikut:



Dimana:

- Jumlah neuron pada *input layer* = 2
- Jumlah neuron pada *hidden layer* = 5
- Jumlah neuron pada *output layer* = 1
- Nilai pembelajaran (*learning rate*) /  $\alpha = 0,5$
- Maksimum *epoch* (iterasi) = 5000
- Target kesalahan (*error*) = 0,001

Setelah semua parameter ditetapkan, langkah selanjutnya adalah melakukan proses normalisasi data (*preprocessing*). Dalam penelitian ini, proses normalisasi dilakukan untuk merubah nilai data *input* dan *output* ke dalam skala -1 sampai 1 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Santosa, 2007):

$$X' = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} (BA - BB) + (BB)$$

Maka akan didapatkan data hasil normalisasi sebagai berikut:

No	Tahun	Bulan	Uraian		
			Curah Hujan Kawasan (mm)	Evapotranspirasi (mm/bln)	Tinggi Aliran (mm)
1	1994	Januari	0.859	-0.669	-0.829
		Februari	0.426	-1.000	-0.748
		Maret	0.623	-0.376	-0.275



Kemudian data-data tersebut disusun membentuk matriks sebagai berikut:

$p_n =$

0,859 -0,669  
0,426 -1,000  
0,623 -0,376

$t_n =$

-0,829  
-0,748  
-0,275

Setelah itu dilakukan proses inialisasi bobot secara acak (random) dengan menggunakan bantuan MATLAB, didapatkan nilai sebagai berikut:

Bobot awal *input* ke *hidden* ( $v$ ):

-3,5603 -2,3859 5,5711 -5,9005 -5,591  
-5,1502 5,7886 2,857 -2,0938 2,818

Bobot awal bias ke *hidden* ( $b_1$ ):

6,261 3,1305 0 -3,1305 -6,261

Bobot awal *hidden* ke *output* ( $w$ ):

-0,3321 -0,1342 -0,5481 0,1596 0,5207

Bobot awal bias ke *output* ( $b_2$ ):

0,0596

Selanjutnya dilakukan proses pembelajaran (*training*):

Iterasi ke = 1

Data ke = 1

- Operasi pada *hidden layer*

• Perkalian [ $z_{in} = b_1 + \text{jumlah}(v * p_n)$ ]:

6,6447 -2,7905 2,8777 -6,8016 -12,9503

• Pengaktifan [ $z = f(z_{in})$ ] → fungsi sigmoid logsig:

0,9987 0,0578 0,9467 0,0011 0,0000

- Operasi pada *output layer*

• Perkalian [ $y_{in} = b_2 + \text{jumlah}(w * z)$ ]:

-0,79856

• Pengaktifan [ $y = f(y_{in})$ ] → fungsi identitas purelin:

-0,79856

- Error ( $T - y$ ) = -0,0300

- Jumlah kuadrat error ( $E = E + \text{error} * \text{error}$ ) = 0,002

- Informasi error dari *output layer*:

• Delta ke-1 = -0,030 ( $\text{error} * f'(y_{in})$ ):

○ Perubahan bobot bias [ $db_2(1) = -0,0150$  (alfa\*delta)

○ Perubahan bobot lapisan [ $dw(1-1) = -0,0150$  (alfa\*delta\*z(1-1))

○ Perubahan bobot lapisan [ $dw(2-1) = -0,0009$  (alfa\*delta\*z(2-1))

○ Perubahan bobot lapisan [ $dw(3-1) = -0,0142$  (alfa\*delta\*z(3-1))

○ Perubahan bobot lapisan [ $dw(4-1) = 0,0000$  (alfa\*delta\*z(4-1))

○ Perubahan bobot lapisan [ $dw(5-1) = 0,0000$  (alfa\*delta\*z(5-1))

- Informasi error dari *hidden layer*:

• Delta\_in ke-1 = 0,010 (Sum(delta\*w))

• Delta ke-1 = 0,000 ( $\text{error} * f'(y_{in})$ )

○ Perubahan bobot bias [ $db_1(1) = 0,000$  (alfa\*delta)

○ Perubahan bobot *input* [ $dv(1-1) = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(1-1))

○ Perubahan bobot *input* [ $dv(2-1) = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(2-1))

- Delta\_in ke-2 = 0,004 (Sum(delta\*w))
- Delta ke-2 = 0,000 ( $error * f'(y_{in})$ )
  - Perubahan bobot bias  $[db_1(2)] = 0,000$  (alfa\*delta)
  - Perubahan bobot *input*  $[dv(1-2)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(1-2))
  - Perubahan bobot *input*  $[dv(2-2)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(2-2))
- Delta\_in ke-3 = 0,016 (Sum(delta\*w))
- Delta ke-3 = 0,001 ( $error * f'(y_{in})$ )
  - Perubahan bobot bias  $[db_1(3)] = 0,000$  (alfa\*delta)
  - Perubahan bobot *input*  $[dv(1-3)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(1-3))
  - Perubahan bobot *input*  $[dv(2-3)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(2-3))
- Delta\_in ke-4 = -0,005 (Sum(delta\*w))
- Delta ke-4 = 0,000 ( $error * f'(y_{in})$ )
  - Perubahan bobot bias  $[db_1(4)] = 0,000$  (alfa\*delta)
  - Perubahan bobot *input*  $[dv(1-4)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(1-4))
  - Perubahan bobot *input*  $[dv(2-4)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(2-4))
- Delta\_in ke-5 = -0,016 (Sum(delta\*w))
- Delta ke-5 = 0,000 ( $error * f'(y_{in})$ )
  - Perubahan bobot bias  $[db_1(5)] = 0,000$  (alfa\*delta)
  - Perubahan bobot *input*  $[dv(1-5)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(1-5))
  - Perubahan bobot *input*  $[dv(2-5)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(2-5))
- Bobot akhir *input* ke *hidden* ( $v = v + dv$ )
 

-3,5603	-2,3858	5,5715	-5,9005	-5,5910
-5,1502	5,7885	2,8567	-2,0938	2,8180
- Bobot akhir bias ke *hidden* ( $b_1 = b_1 + db_1$ )
 

6,2610	3,1306	0,0004	-3,1305	-6,2610
--------	--------	--------	---------	---------
- Bobot akhir *hidden* ke *output* ( $w = w + dw$ )
 

-0,3471	-0,1351	-0,5623	0,1596	0,5207
---------	---------	---------	--------	--------
- Bobot akhir bias ke *output* ( $b_2 = b_2 + db_2$ )
 

0,0446
--------

Data ke = 2

- Operasi pada *hidden layer*
  - Perkalian  $[z_{in} = b_1 + \text{jumlah}(v * pn)]$ :
 

9,8944	-3,6743	-0,4827	-3,5505	-11,4609
--------	---------	---------	---------	----------
  - Pengaktifan  $[z = f(z_{in})] \rightarrow$  fungsi sigmoid logsig:
 

0,9999	0,0247	0,3816	0,0279	0,0000
--------	--------	--------	--------	--------
- Operasi pada *output layer*
  - Perkalian  $[y_{in} = b_2 + \text{jumlah}(w * z)]$ :
 

-0,51595
----------
  - Pengaktifan  $[y = f(y_{in})] \rightarrow$  fungsi identitas purelin:
 

-0,79856
----------
- $Error(T-y) = -0,2317$
- Jumlah kuadrat *error* ( $E = E_{data1} + error * error$ ) = 0,056
- Informasi *error* dari *output layer*:
  - Delta ke-1 = -0,232 ( $error * f'(y_{in})$ ):

- Perubahan bobot bias  $[db_2(1)] = -0,1158$  (alfa\*delta)
- Perubahan bobot lapisan  $[dw(1-1)] = -0,1158$  (alfa\*delta\*z(1-1))
- Perubahan bobot lapisan  $[dw(2-1)] = -0,0029$  (alfa\*delta\*z(2-1))
- Perubahan bobot lapisan  $[dw(3-1)] = -0,0442$  (alfa\*delta\*z(3-1))
- Perubahan bobot lapisan  $[dw(4-1)] = 0,0032$  (alfa\*delta\*z(4-1))
- Perubahan bobot lapisan  $[dw(5-1)] = 0,0000$  (alfa\*delta\*z(5-1))
- Informasi *error* dari *hidden layer*:
  - Delta\_in ke-1 = 0,008 (Sum(delta\*w))
  - Delta ke-1 = 0,000 (*error*\*f'(y\_in))
    - Perubahan bobot bias  $[db_1(1)] = 0,000$  (alfa\*delta)
    - Perubahan bobot *input*  $[dv(1-1)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(1-1))
    - Perubahan bobot *input*  $[dv(2-1)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(2-1))
  - Delta\_in ke-2 = 0,031 (Sum(delta\*w))
  - Delta ke-2 = 0,001 (*error*\*f'(y\_in))
    - Perubahan bobot bias  $[db_1(2)] = 0,000$  (alfa\*delta)
    - Perubahan bobot *input*  $[dv(1-2)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(1-2))
    - Perubahan bobot *input*  $[dv(2-2)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(2-2))
  - Delta\_in ke-3 = 0,130 (Sum(delta\*w))
  - Delta ke-3 = 0,031 (*error*\*f'(y\_in))
    - Perubahan bobot bias  $[db_1(3)] = 0,015$  (alfa\*delta)
    - Perubahan bobot *input*  $[dv(1-3)] = 0,007$  (alfa\*delta\*pn(1-3))
    - Perubahan bobot *input*  $[dv(2-3)] = -0,015$  (alfa\*delta\*pn(2-3))
  - Delta\_in ke-4 = -0,037 (Sum(delta\*w))
  - Delta ke-4 = -0,001 (*error*\*f'(y\_in))
    - Perubahan bobot bias  $[db_1(4)] = -0,001$  (alfa\*delta)
    - Perubahan bobot *input*  $[dv(1-4)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(1-4))
    - Perubahan bobot *input*  $[dv(2-4)] = 0,001$  (alfa\*delta\*pn(2-4))
  - Delta\_in ke-5 = -0,121 (Sum(delta\*w))
  - Delta ke-5 = 0,000 (*error*\*f'(y\_in))
    - Perubahan bobot bias  $[db_1(5)] = 0,000$  (alfa\*delta)
    - Perubahan bobot *input*  $[dv(1-5)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(1-5))
    - Perubahan bobot *input*  $[dv(2-5)] = 0,000$  (alfa\*delta\*pn(2-5))
- Bobot akhir *input* ke *hidden* ( $v = v_{data1} + dv$ )
 

-3,5603	-2,3856	5,5780	-5,9007	-5,5910
-5,1502	5,7881	2,8414	-2,0933	2,8180
- Bobot akhir bias ke *hidden* ( $b_1 = b_{1data1} + db_1$ )
 

6,2610	3,1310	0,0158	-3,1310	-6,2610
--------	--------	--------	---------	---------
- Bobot akhir *hidden* ke *output* ( $w = w_{data1} + dw$ )
 

-0,4629	-0,1379	-0,6065	0,1564	0,5207
---------	---------	---------	--------	--------
- Bobot akhir bias ke *output* ( $b_2 = b_{2data1} + db_2$ )
 

-0,0712
---------

Diketahui hasil analisis hidologi sebagai berikut:

No	Tahun	Bulan	Uraian		
			Curah Hujan Kawasan (mm)	Evapotranspirasi (mm/bln)	Tinggi Aliran (mm)
1	1994	Januari	349.40	96.07	25.78
		Februari	268.10	89.16	28.14
		Maret	305.00	102.18	41.90
		April	285.20	113.15	33.27
		Mei	92.93	114.62	32.23
		Juni	19.07	111.53	29.11
		Juli	28.47	120.20	30.08
		Agustus	0.83	130.89	26.86
		September	0.60	127.34	20.79
		Oktober	10.07	125.19	22.56
		November	40.37	109.86	22.87
		Desember	159.03	102.84	29.01
2	1995	Januari	312.90	96.07	35.45
		Februari	375.77	89.16	63.08
		Maret	311.90	102.18	77.35
		April	241.07	113.15	79.02
		Mei	64.40	114.62	50.50
		Juni	73.33	111.53	48.87
		Juli	86.07	120.20	40.83
		Agustus	4.43	130.89	41.90
		September	44.23	127.34	37.43
		Oktober	49.43	125.19	37.60
		November	130.23	109.86	41.59
		Desember	176.67	102.84	48.35
	Max		375.77	130.89	79.02
	Min		0.60	89.16	20.79

Langkah pertama adalah melakukan proses normalisasi data, baik itu data *training* maupun data *testing*. Dalam perhitungan ini diambil normalisasi data *training* untuk data di atas.

No	Tahun	Bulan	Uraian		
			Curah Hujan Kawasan (mm)	Evapotranspirasi (mm/bln)	Tinggi Aliran (mm)
1	1994	Januari	0.8594	-0.6686	-0.8286
		Februari	0.4260	-1.0000	-0.7476
		Maret	0.6227	-0.3758	-0.2750
		April	0.5172	0.1498	-0.5714
		Mei	-0.5078	0.2203	-0.6071
		Juni	-0.9016	0.0722	-0.7143
		Juli	-0.8514	0.4878	-0.6810
		Agustus	-0.9988	1.0000	-0.7917
		September	-1.0000	0.8298	-1.0000
		Oktober	-0.9495	0.7270	-0.9393
		November	-0.7880	-0.0078	-0.9286
		Desember	-0.1554	-0.3442	-0.7179
2	1995	Januari	0.6649	-0.6686	-0.4964
		Februari	1.0000	-1.0000	0.4524
		Maret	0.6595	-0.3758	0.9429
		April	0.2819	0.1498	1.0000
		Mei	-0.6599	0.2203	0.0202
		Juni	-0.6123	0.0722	-0.0357
		Juli	-0.5444	0.4878	-0.3119
		Agustus	-0.9796	1.0000	-0.2750
		September	-0.7674	0.8298	-0.4286
		Oktober	-0.7397	0.7270	-0.4226
		November	-0.3089	-0.0078	-0.2857
		Desember	-0.0614	-0.3442	-0.0536













A large grid table with multiple columns and rows, containing numerical data. The grid is approximately 25 columns wide and 100 rows high, with some cells containing numerical values while others are blank.







### Lampiran IV-1

Data Temperatur (°C) Stasiun Klimatologi Susuan

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	26.79	26.95	26.33	27.38	26.56	25.79	25.32	25.91	26.42	27.75	28.82	27.03
1995	26.48	26.06	26.58	26.93	27.46	26.74	26.31	26.03	27.12	28.56	27.05	26.80
1996	26.63	26.34	27.26	27.28	26.69	26.27	25.79	25.91	26.29	27.18	27.13	26.63
1997	24.24	24.12	25.43	26.68	26.37	26.24	24.97	24.91	25.58	27.14	27.92	27.01
1998	26.85	27.16	27.42	27.55	27.81	27.18	26.92	26.73	26.79	27.10	26.92	26.42
1999	26.25	26.38	26.47	26.98	26.20	26.17	25.34	25.90	26.28	27.65	27.18	26.72
2000	25.53	25.95	26.16	26.46	26.45	25.39	25.57	24.90	25.82	26.23	26.49	26.56
2001	26.25	26.76	26.26	26.87	26.48	26.84	25.15	25.58	26.05	26.45	26.77	26.07
2002	26.27	25.86	26.78	26.67	0.00	0.00	0.00	25.19	25.88	26.50	26.64	27.05
2003	25.82	26.06	26.41	26.31	26.26	26.17	25.29	25.32	25.62	26.29	26.79	26.44
<b>Rata-rata</b>	<b>26.11</b>	<b>26.16</b>	<b>26.51</b>	<b>26.90</b>	<b>24.03</b>	<b>23.60</b>	<b>23.07</b>	<b>25.64</b>	<b>26.19</b>	<b>27.09</b>	<b>27.17</b>	<b>26.67</b>

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMKG

### Lampiran IV-2

Data Kecepatan Angin (km/hari) Stasiun Klimatologi Susuan

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	59.04	81.60	83.10	50.44	36.03	35.99	36.57	43.85	51.91	71.66	69.13	52.53
1995	58.96	68.04	49.80	51.74	36.95	36.50	41.99	32.03	39.30	48.59	50.35	91.65
1996	56.23	75.91	67.57	43.59	31.50	30.81	32.41	38.83	58.88	67.93	48.40	80.01
1997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1998	53.37	98.04	85.29	74.69	42.05	81.99	56.90	34.10	42.40	39.42	41.73	62.83
1999	52.63	80.98	68.22	38.14	33.26	23.11	19.46	33.00	33.25	32.71	50.00	64.28
2000	0.00	96.07	75.49	64.47	47.80	29.58	33.69	41.65	45.84	47.72	54.30	88.10
2001	72.47	87.45	55.53	39.84	42.04	36.29	49.44	33.83	45.33	44.12	41.18	60.45
2002	64.50	54.20	66.25	53.21	0.00	0.00	0.00	47.86	0.00	61.03	72.00	75.36
2003	83.43	81.69	77.08	49.33	43.15	43.57	32.61	46.43	54.64	57.20	54.18	81.95
<b>Rata-rata</b>	<b>50.06</b>	<b>72.40</b>	<b>62.83</b>	<b>46.55</b>	<b>31.28</b>	<b>31.78</b>	<b>30.31</b>	<b>35.16</b>	<b>37.15</b>	<b>47.04</b>	<b>43.13</b>	<b>46.94</b>

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMKG

### Lampiran IV-3

Data Kelembaban Maksimum (%) Stasiun Klimatologi Susuan

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	93.00	94.00	99.00	96.00	94.00	96.00	99.00	97.00	99.00	99.00	98.00	98.00
1995	99.00	97.00	99.00	99.00	98.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	98.00
1996	98.00	99.00	99.00	98.00	99.00	98.00	98.00	98.00	97.00	97.00	97.00	97.00
1997	97.00	95.25	97.75	99.00	98.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	98.00
1998	94.00	96.00	94.00	95.00	94.00	96.00	96.00	96.00	96.00	97.00	97.00	97.00
1999	99.00	96.00	98.00	97.00	97.00	95.00	94.00	95.00	96.00	93.00	95.00	97.00
2000	91.00	94.00	96.00	90.00	90.00	96.00	91.00	90.00	95.00	90.00	98.00	97.00
2001	97.00	98.00	95.00	90.00	87.00	93.00	98.00	88.00	95.00	93.00	90.00	97.00
2002	95.00	98.00	32.80	97.00	0.00	0.00	81.50	91.00	93.50	98.00	94.00	100.00
2003	97.00	98.00	93.00	99.00	95.00	95.00	95.00	93.00	93.00	97.00	96.00	97.00
<b>Rata-rata</b>	<b>96.00</b>	<b>96.53</b>	<b>90.36</b>	<b>96.00</b>	<b>85.20</b>	<b>86.70</b>	<b>95.05</b>	<b>94.60</b>	<b>96.25</b>	<b>96.20</b>	<b>96.30</b>	<b>97.60</b>

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMKG

### Lampiran IV-4

Data Penyinaran Matahari (%) Stasiun Klimatologi Susuan

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	29.52	29.61	30.42	57.80	62.19	54.27	55.74	60.97	71.97	73.26	69.90	54.19
1995	21.32	25.36	34.03	58.87	67.74	57.20	57.71	58.94	67.57	65.04	41.80	41.06
1996	40.10	34.45	50.00	63.37	70.68	64.80	64.32	67.10	71.33	68.97	60.30	28.45
1997	72.54	82.00	76.15	76.30	65.59	65.54	68.84	71.41	72.77	75.94	73.23	79.87
1998	35.68	47.00	43.74	62.86	57.31	74.63	61.92	71.84	65.63	61.30	31.17	26.81
1999	25.48	27.50	35.29	57.51	49.47	54.33	55.19	73.19	65.83	61.32	57.73	26.65
2000	28.45	26.31	42.81	46.10	50.58	77.29	96.87	95.16	69.14	55.95	47.37	54.16
2001	34.39	45.54	40.06	71.90	71.23	57.07	67.48	72.33	62.87	0.00	0.00	0.00
2002	49.36	23.71	0.00	0.00	0.00	0.00	77.93	80.63	80.84	77.34	73.24	72.08
2003	25.45	33.60	56.84	59.93	60.97	64.28	54.03	64.57	92.07	92.76	68.09	37.94
<b>Rata-rata</b>	<b>36.23</b>	<b>37.51</b>	<b>40.93</b>	<b>55.46</b>	<b>55.58</b>	<b>56.94</b>	<b>66.01</b>	<b>71.61</b>	<b>72.00</b>	<b>63.19</b>	<b>52.28</b>	<b>42.12</b>

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMKG

## Lampiran IV-5

Data Kelembaban Relatif (%) Stasiun Klimatologi Susunan

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	83.26	87.32	90.00	86.43	90.58	85.20	93.35	92.06	93.63	92.58	94.03	92.97
1995	94.65	94.79	94.48	94.20	95.16	95.13	94.16	94.13	94.53	94.23	91.47	89.94
1996	91.90	88.59	94.03	88.83	92.52	93.33	90.10	90.13	88.43	88.26	86.40	86.84
1997	63.68	64.75	63.24	73.50	68.47	69.60	78.77	81.51	82.54	77.83	72.06	67.41
1998	89.68	90.43	88.84	89.37	87.10	88.70	89.77	89.71	89.63	92.74	92.87	91.87
1999	96.58	92.25	90.13	91.77	92.32	90.53	89.71	87.81	90.33	85.45	88.83	91.84
2000	82.90	84.48	83.84	82.73	82.90	87.00	84.81	79.74	85.43	82.77	86.93	84.19
2001	81.03	80.82	85.61	82.87	80.52	83.23	81.45	80.71	85.87	84.35	85.43	83.84
2002	86.90	88.89	84.19	86.33	0.00	0.00	75.26	82.19	85.73	85.52	86.87	86.71
2003	90.06	86.75	86.23	87.47	88.06	85.37	84.71	83.06	84.63	83.16	85.60	84.42
Rata-rata	86.06	85.91	86.06	86.35	77.76	77.81	86.21	86.11	88.08	86.69	87.05	86.00

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMG

## Lampiran IV-6

Data Curah Hujan Bulanan Untuk Stasiun Pencatat Pidpid

Pos Hujan : PIDPID Pada DAS : TK.NYULING  
 No. Kad : - No Pos hujan : 513020  
 Tahun : - Lokasi Pos : 8°21'19"LS - 115°30'02"BT  
 Kecamatan : ABANG Tinggi Dari Muka Laut : 350 M  
 Kabupaten : KARANGASEM Tahun Pendirian : 1981  
 Propinsi : B A L I Dibangun Oleh/Pemilik : P.H.B

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	338.20	287.30	391.00	220.60	41.80	4.20	7.40	2.50	1.80	0.20	53.10	132.10
Jml Hr	24	19	19	17	6	3	3	2	3	1	6	17
1995	122.7	342.30	360.70	234.20	68.20	78.00	21.20	3.30	18.70	43.30	82.70	265.00
Jml Hr	21	20	27	14	9	5	7	3	5	9	14	0
1996	405.90	236.90	98.40	80.50	64.00	14.00	1.00	73.40	6.30	283.30	111.70	405.50
Jml Hr	21	22	9	5	7	7	1	10	3	13	15	21
1997	230.50	355.50	2.00	72.00	19.00	13.00	14.00	11.00	0.00	13.00	62.50	115.50
Jml Hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	282.50	35.80	98.50	74.40	10.70	0.00	44.20	4.00	185.00	210.50	116.40	202.90
Jml Hr	12	2	7	4	2	0	6	1	0	0	9	16
1999	98.50	265.10	261.20	325.50	27.50	65.00	47.50	25.90	10.60	192.25	113.50	218.50
Jml Hr	6	8	18	16	0	0	0	4	2	0	0	0
2000	0.00	406.70	287.00	2.90	170.90	19.00	10.10	12.00	9.00	75.00	262.00	270.90
Jml Hr	0	24	29	1	1	3	6	17	4	13	26	14
2001	286.50	148.20	553.00	178.90	29.00	175.90	53.50	11.50	73.50	152.50	235.25	177.75
Jml Hr	20	27	29	21	15	18	0	0	0	0	0	0
2002	355.75	682.50	22.00	155.75	10.00	13.50	12.00	4.00	45.00	2.25	111.25	285.50
Jml Hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	629.60	383.60	189.00	397.00	35.10	26.00	15.00	16.50	69.70	17.90	115.00	275.90
Jml Hr	27	25	13	22	10	10	9	9	12	11	19	25

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum

## Lampiran IV-7

### Data Curah Hujan Bulanan Untuk Stasiun Pencatat Amlapura

Pos Hujan : AMLAPURA Pada DAS : TK.NYULING  
 No. Kad : - No Pos hujan : 442  
 Tahun : - Lokasi Pos : 08° 24' 22" S - 115° 36' 31"E  
 Kecamatan : - Tinggi Dari Muka Laut : 105 M  
 Kabupaten : KARANGASEM Tahun Pendirian : -  
 Propinsi : B A L I Dibangun Oleh/Pemilik : -

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	337.00	272.00	271.00	476.00	167.00	16.00	73.00	0.00	0.00	0.00	53.00	128.00
Jml Hr	17	15	18	12	5	4	7	0	0	0	5	10
1995	361.00	256.00	176.00	156.00	105.00	101.00	173.00	5.00	40.00	25.00	204.00	255.00
Jml Hr	12	15	12	9	6	10	8	2	3	6	15	11
1996	300.00	298.00	164.00	38.00	26.00	88.00	14.00	22.00	20.00	102.00	14.00	200.00
Jml Hr	8	10	6	2	3	5	2	4	3	8	2	9
1997	153.00	164.00	4.00	37.00	9.00	14.00	12.00	4.00	0.00	12.00	12.00	52.00
Jml Hr	18	22	3	9	5	7	10	5	0	3	6	12
1998	531.00	106.00	109.00	95.00	50.00	22.00	151.00	35.00	129.00	191.00	139.00	354.00
Jml Hr	22	16	13	16	15	11	18	5	12	15	18	19
1999	308.20	333.00	7.00	153.40	22.00	31.00	26.00	10.00	0.00	57.50	26.00	217.00
Jml Hr	18	22	3	12	5	7	10	5	0	4	6	13
2000	274.40	452.50	404.50	218.00	229.00	71.00	18.50	3.50	3.50	131.50	343.50	148.50
Jml Hr	19	20	18	13	16	9	4	3	3	12	19	8
2001	217.50	125.50	330.50	59.50	121.00	132.00	57.00	3.00	91.00	82.00	243.50	148.00
Jml Hr	17	9	16	11	7	8	3	2	2	7	10	10
2002	423.00	751.00	44.00	158.00	10.00	1.00	15.00	8.00	37.00	0.00	112.00	278.00
Jml Hr	19	24	7	10	4	2	4	2	3	0	7	16
2003	769.00	276.00	30.00	122.00	51.00	26.00	11.00	34.00	33.00	26.00	319.00	302.00
Jml Hr	23	20	5	8	8	3	7	3	4	7	7	19

Sumber : BMKG Wilayah III

## Lampiran IV-8

### Data Curah Hujan Bulanan Untuk Stasiun Pencatat Bebandem

Pos Hujan : BEBANDEM Pada DAS : TK.NYULING  
 No. Kad : - No Pos hujan : 442d  
 Tahun : - Lokasi Pos : 08° 26' 40" S - 115° 34' 43"E  
 Kecamatan : - Tinggi Dari Muka Laut : 327 M  
 Kabupaten : KARANGASEM Tahun Pendirian : -  
 Propinsi : B A L I Dibangun Oleh/Pemilik : -

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	373.00	245.00	253.00	159.00	70.00	37.00	5.00	0.00	0.00	30.00	15.00	217.00
Jml Hr	13	8	6	6	3	3	2	0	0	1	5	9
1995	455.00	529.00	399.00	333.00	20.00	41.00	64.00	5.00	74.00	80.00	104.00	275.00
Jml Hr	21	20	22	12	4	7	8	2	4	6	12	12
1996	262.00	348.00	157.00	137.00	56.00	11.00	20.00	32.00	0.00	410.00	233.00	200.00
Jml Hr	9	12	9	3	5	1	3	4	0	9	9	6
1997	308.00	547.00	0.00	107.00	29.00	12.00	16.00	18.00	0.00	14.00	113.00	179.00
Jml Hr	11	15	0	7	1	2	5	2	0	2	6	7
1998	492.00	175.00	200.00	21.00	145.00	45.00	106.00	99.00	241.00	230.00	224.00	515.00
Jml Hr	16	12	7	3	5	6	7	9	13	12	9	18
1999	483.00	493.00	279.00	395.00	33.00	99.00	69.00	83.00	77.00	327.00	201.00	220.00
Jml Hr	15	17	11	11	2	12	10	7	5	10	9	14
2000	322.00	450.00	417.00	199.00	204.00	20.00	4.00	0.00	0.00	0.00	261.00	0.00
Jml Hr	9	14	16	10	12	4	2	0	0	0	12	0
2001	322.00	111.60	438.00	89.00	82.00	124.00	50.00	20.00	56.00	223.00	227.00	207.50
Jml Hr	14	6	11	5	4	5	2	3	2	6	13	9
2002	288.50	614.00	0.00	153.50	10.00	26.00	9.00	0.00	53.00	4.50	110.50	293.00
Jml Hr	8	10	0	2	1	1	1	0	2	1	3	10
2003	754.00	262.50	44.50	122.00	56.50	35.50	12.50	16.00	46.00	38.50	153.50	0.00
Jml Hr	16	13	5	6	4	1	4	4	4	6	9	0

Sumber : BMKG Wilayah III





### Lampiran IV-13

Data Kelembaban Relatif (%) Stasiun Klimatologi Negara

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	78.26	77.75	81.13	76.47	75.87	77.20	74.68	75.68	76.30	75.06	70.10	73.06
1995	78.55	78.25	78.65	77.27	76.58	79.67	76.77	78.19	79.23	77.35	80.40	75.74
1996	76.71	78.34	78.80	73.93	76.65	79.03	75.19	75.42	74.30	74.97	71.13	76.29
1997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1998	75.39	74.71	77.35	76.53	77.71	77.90	78.16	72.77	77.53	77.06	74.57	80.52
1999	79.84	77.00	77.39	77.53	75.03	78.07	75.94	74.84	77.10	77.81	72.91	77.55
2000	75.39	73.48	73.26	76.13	76.61	73.63	74.61	75.97	73.73	75.68	70.57	70.81
2001	84.48	81.58	84.73	85.01	82.37	87.05	84.34	80.31	81.06	79.81	82.11	83.48
2002	75.52	73.04	75.74	76.57	74.97	76.93	76.16	73.42	75.17	75.90	74.33	75.03
2003	76.94	77.25	74.32	85.46	76.06	75.60	76.48	77.48	74.63	75.10	75.87	77.35
<b>Rata-rata</b>	<b>70.11</b>	<b>69.14</b>	<b>70.14</b>	<b>70.49</b>	<b>69.19</b>	<b>70.51</b>	<b>69.23</b>	<b>68.41</b>	<b>68.90</b>	<b>68.88</b>	<b>67.20</b>	<b>68.98</b>

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMKG

### Lampiran IV-14

Data Curah Hujan Bulanan Untuk Stasiun Pencatat Dauh Waru

Pos Hujan : Dauh Waru Pada DAS : TK. DAYA TIMUR  
 No. Kad : - No Pos hujan : 513001  
 Tahun : - Lokasi Pos : 8°22'03"LS - 114°38'43"BT  
 Kecamatan : NEGARA Tinggi Dari Muka Laut : 254 M  
 Kabupaten : JEMBRANA Tahun Pendirian : 1971  
 Propinsi : B A L I Dibangun Oleh/Pemilik : P3SA

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	713.00	239.50	367.00	223.50	1.00	7.00	14.50	1.00	11.00	47.00	38.00	215.50
Jml Hr	20	12	17	11	1	1	3	1	2	3	4	15
1995	233.50	341.50	339.00	212.00	37.00	304.00	27.00	13.00	54.00	167.50	228.10	275.00
Jml Hr	15	14	18	12	2	7	2	2	3	7	17	12
1996	346.00	215.50	419.00	114.00	75.00	61.00	7.50	173.50	0.50	421.50	282.00	155.50
Jml Hr	15	14	16	7	8	4	1	5	1	14	16	14
1997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jml Hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	211.50	69.00	144.90	131.00	137.00	120.00	216.50	46.00	253.50	547.50	276.50	325.00
Jml Hr	11	8	11	10	9	8	12	2	9	19	15	24
1999	516.50	517.00	433.80	465.00	157.50	31.00	254.50	4.00	16.50	424.60	520.50	438.00
Jml Hr	24	18	18	20	4	4	13	1	3	15	15	15
2000	465.20	127.90	364.10	319.60	181.40	57.90	84.10	23.85	51.00	315.10	0.00	0.00
Jml Hr	24	21	24	19	20	12	10	0	10	17	0	0
2001	292.10	85.10	202.60	259.70	134.00	135.00	93.00	1.00	162.30	208.10	292.10	176.60
Jml Hr	23	20	22	19	11	14	2	2	16	13	19	21
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jml Hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	341.20	151.10	264.30	112.40	286.90	66.60	14.50	6.10	117.40	109.30	346.50	243.10
Jml Hr	23	21	20	16	14	10	3	2	12	13	22	30

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum

## Lampiran IV-15

### Data Curah Hujan Bulanan Untuk Stasiun Pencatat Poh Santen

Pos Hujan : POHSANTEN Pada DAS : TK.PERGUNG  
 No. Kad : - No Pos hujan : 513013  
 Tahun : - Lokasi Pos : 8°25'04"LS - 114°40'30"BT  
 Kecamatan : MENDOYO Tinggi Dari Muka Laut : 8 M  
 Kabupaten : JEMBRANA Tahun Pendirian : 1997  
 Propinsi : B A L I Dibangun Oleh/Pemilik : P.H.B

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	744.10	476.00	759.00	130.00	1.00	13.00	6.00	2.00	50.00	61.50	55.00	147.00
Jml Hr	20	20	17	7	1	1	1	1	1	5	4	9
1995	327.00	220.00	348.00	234.00	90.00	249.00	13.00	44.00	46.00	264.00	436.00	633.00
Jml Hr	17	15	13	8	1	5	3	3	3	7	14	12
1996	864.00	296.00	348.00	159.00	186.00	0.00	73.00	29.00	25.00	269.00	649.00	302.00
Jml Hr	14	9	10	6	3	0	3	3	3	15	15	9
1997	508.00	281.00	112.00	83.00	39.00	28.00	8.00	14.00	0.00	18.00	139.00	129.00
Jml Hr	12	14	10	9	6	4	1	2	0	3	8	8
1998	259.00	159.00	235.00	73.00	96.00	140.00	192.00	57.00	263.00	308.00	362.00	240.00
Jml Hr	10	11	11	6	8	10	13	3	10	15	16	18
1999	462.00	318.00	322.00	342.00	45.00	45.00	89.00	7.00	20.00	328.00	274.00	465.00
Jml Hr	23	19	16	16	3	5	6	1	2	12	13	19
2000	424.00	172.00	253.00	186.00	85.00	40.00	21.00	11.00	20.00	217.00	924.00	162.00
Jml Hr	19	12	18	12	6	3	2	2	2	9	18	4
2001	278.00	188.00	349.00	207.00	63.00	132.00	28.00	0.00	66.00	118.00	144.00	238.00
Jml Hr	10	10	10	9	4	10	3	0	5	9	12	15
2002	300.00	271.00	251.00	97.00	26.00	0.00	0.00	31.00	147.00	0.00	0.00	0.00
Jml Hr	14	17	11	5	3	0	0	3	3	0	0	0
2003	411.70	220.70	122.00	61.00	182.00	36.00	38.00	2.00	158.20	127.80	255.30	213.70
Jml Hr	24	18	17	14	13	4	6	2	8	15	20	24

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMKG Wilayah III

## Lampiran IV-16

### Data Curah Hujan Bulanan Untuk Stasiun Pencatat Negara

Pos Hujan : NEGARA Pada DAS : -  
 No. Kad : - No Pos hujan : 437 p.  
 Tahun : - Lokasi Pos : 08° 11' 19" S - 114° 26' 03"E  
 Kecamatan : - Tinggi Dari Muka Laut : 23,65 M  
 Kabupaten : JEMBRANA Tahun Pendirian : -  
 Propinsi : B A L I Dibangun Oleh/Pemilik : BMG Wil. III

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	610.00	610.00	610.00	610.00	610.00	610.00	610.00	610.00	610.00	610.00	610.00	610.00
Jml Hr	21	14	18	6	2	1	1	1	1	1	7	12
1995	350.00	561.00	562.50	170.50	56.00	373.00	60.00	18.00	61.00	269.00	323.50	361.50
Jml Hr	20	15	19	8	4	10	3	3	4	9	15	11
1996	431.50	249.00	370.00	192.00	116.00	27.00	83.50	154.00	0.20	575.50	250.00	483.00
Jml Hr	15	15	16	9	12	2	3	4	1	17	15	15
1997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jml Hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	323.50	109.50	384.00	259.00	156.50	92.00	155.00	34.00	274.50	407.50	213.00	1237.00
Jml Hr	12	8	15	11	8	6	9	3	8	7	13	18
1999	478.00	501.00	279.00	557.00	187.00	64.50	93.00	18.00	76.50	643.00	397.25	628.00
Jml Hr	21	14	16	22	6	3	5	1	2	17	0	19
2000	371.60	183.50	324.50	301.40	148.30	84.00	20.30	36.70	112.00	0.00	0.00	0.00
Jml Hr	0 27	20	24	18	20	6	3	4	8	0	0	0
2001	170.90	177.20	269.90	153.30	0.00	146.60	84.00	0.00	114.00	168.90	244.50	283.60
Jml Hr	13	12	19	8	0	8	5	0	4	9	13	23
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jml Hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	340.60	288.60	334.70	138.60	308.70	123.50	102.10	4.05	78.50	119.50	292.60	319.70
Jml Hr	19	16	19	16	11	8	4	0	8	7	16	24

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum dan BMKG Wilayah III

## Lampiran IV-17

Data Temperatur (°C) Stasiun Klimatologi Tampaksirang

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	25.00	25.00	24.70	25.10	24.50	24.00	22.80	23.00	23.20	23.60	25.10	24.80
1995	25.20	24.90	24.90	24.70	24.70	24.00	23.40	23.00	23.50	24.80	25.10	24.90
1996	25.10	25.10	25.70	25.00	24.30	24.30	23.80	23.60	23.70	25.30	25.60	25.70
1997	25.70	25.50	25.00	25.20	24.80	24.60	23.10	23.20	23.60	25.50	26.30	26.70
1998	26.30	26.50	25.60	25.90	24.80	26.20	24.20	25.70	25.10	25.30	27.00	26.60
1999	27.10	26.60	26.40	25.90	25.70	25.20	24.50	24.70	25.40	26.10	26.70	27.00
2000	27.00	28.40	26.50	26.40	26.40	24.50	24.70	24.80	25.00	26.50	27.10	27.20
2001	26.70	26.80	26.80	27.00	26.00	25.00	24.70	24.80	25.00	26.00	27.00	28.00
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	26.73	26.81	26.85	27.02	26.05	0.00	24.74	24.79	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Rata-rata</b>	<b>23.48</b>	<b>23.56</b>	<b>23.24</b>	<b>23.22</b>	<b>22.73</b>	<b>19.78</b>	<b>21.59</b>	<b>21.76</b>	<b>19.47</b>	<b>20.31</b>	<b>20.99</b>	<b>21.09</b>

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMKG

## Lampiran IV-18

Data Kecepatan Angin (km/hari) Stasiun Klimatologi Tampaksirang

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	34.70	37.60	62.40	35.60	45.20	48.40	45.10	74.70	64.90	80.00	81.00	73.00
1995	50.90	57.80	52.30	52.80	49.90	50.80	52.30	65.60	69.40	61.00	40.50	73.40
1996	60.40	68.30	66.60	53.50	45.30	39.30	38.40	51.50	58.40	58.10	44.20	64.00
1997	62.50	63.60	62.90	42.10	46.20	46.90	34.30	45.90	54.60	56.90	53.60	42.70
1998	37.60	26.10	26.20	25.20	27.00	28.90	30.00	42.50	41.20	37.70	25.60	42.70
1999	36.60	60.10	29.70	30.40	38.70	36.70	31.60	38.60	41.90	39.20	28.90	28.40
2000	34.40	33.10	39.10	29.00	39.50	28.20	36.80	49.90	48.40	37.20	18.60	25.90
2001	11.30	46.20	30.80	27.10	38.70	30.00	38.80	44.60	50.30	39.80	41.80	39.30
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	22.67	26.36	33.45	33.25	39.13	0.00	38.83	44.61	50.26	39.79	41.81	39.27
<b>Rata-rata</b>	<b>35.11</b>	<b>41.92</b>	<b>40.35</b>	<b>32.89</b>	<b>36.96</b>	<b>30.92</b>	<b>34.61</b>	<b>45.79</b>	<b>47.94</b>	<b>44.97</b>	<b>37.60</b>	<b>30.62</b>

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMKG

## Lampiran IV-19

Data Kelembaban Maksimum (%) Stasiun Klimatologi Tampaksirang

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	99.00	99.00	98.00	97.00	99.00	99.00	99.00	99.00	98.00	99.00	99.00	98.00
1995	99.00	99.00	99.00	94.00	99.00	99.00	99.00	99.00	98.00	99.00	99.00	96.00
1996	99.00	98.00	99.00	98.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00
1997	97.00	99.00	99.00	99.00	91.00	98.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00
1998	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00
1999	99.00	99.00	98.00	99.00	99.00	98.00	98.00	97.00	97.00	99.00	97.00	99.00
2000	99.00	83.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	98.00	96.00	99.00	99.00	99.00
2001	98.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	98.00	97.00	96.00	99.00	99.00	99.00
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	98.00	99.00	99.00	99.00	98.00	0.00	98.00	97.00	98.00	99.00	99.00	99.00
<b>Rata-rata</b>	<b>88.70</b>	<b>87.40</b>	<b>88.90</b>	<b>88.30</b>	<b>88.20</b>	<b>79.00</b>	<b>88.80</b>	<b>88.40</b>	<b>88.00</b>	<b>89.10</b>	<b>88.90</b>	<b>88.70</b>

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMKG

## Lampiran IV-20

Data Penyinaran Matahari (%) Stasiun Klimatologi Tampaksirang

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	29.00	22.00	23.00	55.00	59.00	47.00	50.00	49.00	62.00	66.00	60.00	54.00
1995	25.00	26.00	31.00	49.00	56.00	30.00	40.00	30.00	48.00	52.00	28.00	23.00
1996	28.00	32.00	46.00	40.00	45.00	46.00	47.00	55.00	60.00	54.00	46.00	27.00
1997	29.00	20.00	62.00	46.00	63.00	57.00	50.00	54.00	63.00	63.00	50.00	37.00
1998	41.00	40.00	31.00	39.00	36.00	43.00	44.00	53.00	47.00	41.00	42.00	28.00
1999	18.00	32.00	26.00	28.00	55.00	51.00	42.00	56.00	51.00	45.00	42.00	29.00
2000	19.00	30.00	21.00	29.00	35.00	27.00	55.00	47.00	49.00	39.00	27.00	46.00
2001	50.00	47.00	42.00	46.00	50.00	24.00	54.00	44.00	48.00	43.00	51.00	46.00
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	35.39	43.21	40.42	40.90	50.42	24.33	52.65	44.77	44.67	43.52	51.80	46.48
<b>Rata-rata</b>	<b>27.44</b>	<b>29.22</b>	<b>32.44</b>	<b>37.29</b>	<b>44.94</b>	<b>34.93</b>	<b>43.46</b>	<b>43.28</b>	<b>47.27</b>	<b>44.65</b>	<b>39.78</b>	<b>33.65</b>

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMKG

## Lampiran IV-21

### Data Kelembaban Relatif (%) Stasiun Klimatologi Tampaksiring

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	93.00	91.00	94.00	93.00	94.00	94.00	94.00	93.00	94.00	94.00	95.00	93.00
1995	95.00	95.00	95.00	94.00	95.00	95.00	93.00	94.00	94.00	93.00	97.00	79.00
1996	96.00	94.00	94.00	94.00	94.00	96.00	91.00	92.00	90.00	93.00	96.00	94.00
1997	92.00	95.00	96.00	96.00	83.00	94.00	96.00	93.00	96.00	95.00	98.00	96.00
1998	94.00	97.00	96.00	96.00	96.00	97.00	97.00	96.00	96.00	94.00	96.00	98.00
1999	93.00	92.00	93.00	93.00	95.00	96.00	96.00	96.00	96.00	95.00	95.00	96.00
2000	96.00	73.00	97.00	98.00	97.00	97.00	94.00	93.00	88.00	97.00	97.00	96.00
2001	94.00	96.00	87.00	95.00	84.00	96.00	95.00	92.00	89.00	95.00	95.00	85.00
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	94.61	96.64	97.10	95.37	94.71	0.00	95.10	92.58	90.83	95.13	95.00	95.77
<b>Rata-rata</b>	<b>84.76</b>	<b>82.96</b>	<b>84.91</b>	<b>85.44</b>	<b>83.27</b>	<b>76.50</b>	<b>85.11</b>	<b>84.16</b>	<b>83.38</b>	<b>85.11</b>	<b>86.40</b>	<b>83.28</b>

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, BMKG

## Lampiran IV-22

### Data Curah Hujan Bulanan Untuk Stasiun Pencatat Tegallalang

Pos Hujan : TEGALLALANG Pada DAS : TK. PETANU  
 No. Kad : - No Pos hujan : 513001  
 Tahun : - Lokasi Pos : 8°23'44"LS - 115°15'20"BT  
 Kecamatan : TEGALLALANG Tinggi Dari Muka Laut : 339 M  
 Kabupaten : GIANYAR Tahun Pendirian : 1981  
 Propinsi : B A L I Dibangun Oleh/Pemilik : P.H.B

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	466.00	315.50	310.50	193.50	118.00	27.50	34.50	3.50	3.50	15.50	63.50	223.50
Jml Hr	27	19	25	14	11	7	5	1	2	3	10	17
1995	233.50	376.50	382.00	120.50	106.50	107.00	132.50	57.00	32.00	292.00	282.00	292.00
Jml Hr	23	19	23	9	10	13	17	13	7	31	30	31
1996	337.50	288.00	211.00	52.00	117.00	22.00	41.00	164.00	7.00	764.00	320.00	194.00
Jml Hr	24	19	14	10	11	7	9	11	2	15	17	19
1997	396.50	329.00	113.00	61.50	54.00	51.00	48.00	160.00	8.00	350.50	227.00	140.50
Jml Hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	278.00	246.00	226.00	198.00	210.00	21.00	273.00	234.00	524.00	452.00	224.00	312.00
Jml Hr	19	15	17	17	5	4	15	19	13	22	18	28
1999	414.50	410.00	349.25	402.50	34.25	196.75	86.00	49.00	28.00	563.50	178.00	465.00
Jml Hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	445.60	532.30	393.80	289.80	255.20	305.20	109.00	54.10	57.10	339.90	675.90	91.00
Jml Hr	28	26	31	27	25	22	12	20	11	19	28	20
2001	415.20	176.70	296.90	144.30	22.50	199.30	28.30	6.80	69.00	137.30	333.80	249.00
Jml Hr	27	24	26	20	4	19	14	3	12	13	22	26
2002	437.90	417.75	257.00	134.00	68.75	22.50	35.25	30.25	57.75	24.75	284.50	400.00
Jml Hr	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	685.30	232.10	193.80	209.60	61.00	50.00	92.30	23.70	234.90	175.10	232.10	424.80
Jml Hr	26	23	18	22	10	7	17	13	11	15	24	31

Sumber : Pusat Litbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum

## Lampiran IV-23

### Data Curah Hujan Bulanan Untuk Stasiun Pencatat Tampaksiring

Pos Hujan : TAMPAKSIRING Pada DAS : TK.PETANU  
 No. Kad : - No Pos hujan : 440c  
 Tahun : - Lokasi Pos : 8°29'01"LS - 115°17'37"BT  
 Kecamatan : - Tinggi Dari Muka Laut : 350 M  
 Kabupaten : GIANYAR Tahun Pendirian : -  
 Propinsi : B A L I Dibangun Oleh/Pemilik : -

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	442.00	267.00	295.00	160.00	143.00	30.00	43.00	12.00	4.00	22.00	57.00	289.00
Jml Hr	19	10	12	10	9	3	4	1	1	2	6	9
1995	319.00	480.00	181.00	55.00	60.00	181.00	191.00	47.00	6.00	31.00	273.00	267.00
Jml Hr	16	13	9	4	5	12	14	9	1	6	25	15
1996	371.00	243.00	203.00	39.00	79.00	76.00	53.00	316.00	16.00	605.00	308.00	146.00
Jml Hr	16	18	16	6	8	4	7	15	2	14	18	11
1997	405.00	299.00	119.00	141.00	38.00	14.00	50.00	0.00	0.00	52.00	281.00	177.00
Jml Hr	14	13	4	9	1	4	8	0	0	4	11	12
1998	343.00	269.00	284.00	106.00	136.00	31.00	180.00	183.00	621.00	490.00	72.00	449.00
Jml Hr	16	13	15	7	7	2	10	10	12	18	6	20
1999	450.00	432.00	320.50	427.00	48.50	197.00	91.00	65.00	42.00	604.00	183.00	478.00
Jml Hr	18	26	20	24	3	13	15	6	3	21	17	27
2000	424.00	447.00	342.00	200.50	218.00	204.00	67.00	83.00	65.00	194.50	636.50	64.00
Jml Hr	23	23	31	25	25	20	10	8	10	12	26	15
2001	369.00	201.00	173.50	163.50	27.00	318.50	23.00	0.00	64.50	303.50	258.50	134.50
Jml Hr	23	18	16	15	2	15	4	0	6	16	12	21
2002	375.00	315.00	383.00	210.00	107.00	7.00	53.50	27.00	89.00	43.50	17.00	594.00
Jml Hr	16	22	10	8	1	12	8	8	5	1	21	19
2003	1002.50	106.50	214.50	275.50	238.50	17.50	187.50	28.00	222.50	215.00	169.50	0.00
Jml Hr	22	6	11	14	9	1	5	6	9	5	13	0

Sumber : BMKG Wilayah III

## Lampiran IV-24

### Data Curah Hujan Bulanan Untuk Stasiun Pencatat Ubud

Pos Hujan : UBUD Pada DAS : TK. PETANU  
 No. Kad : - No Pos hujan : 443a  
 Tahun : - Lokasi Pos : 8°25'19"LS - 115°14'42"BT  
 Kecamatan : UBUD Tinggi Dari Muka Laut : 325 M  
 Kabupaten : GIANYAR Tahun Pendirian : -  
 Propinsi : B A L I Dibangun Oleh/Pemilik : -

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1994	449.00	713.00	311.00	424.00	95.00	235.00	136.00	25.00	7.00	64.00	54.00	177.00
Jml Hr	26	22	19	15	10	6	5	1	1	3	7	11
1995	286.00	545.00	281.00	91.00	113.00	134.00	130.00	1.00	10.00	27.00	466.00	395.00
Jml Hr	17	20	13	11	9	13	13	1	3	6	26	18
1996	321.00	409.00	476.00	22.00	98.00	5.00	32.00	181.00	19.00	914.00	363.00	202.00
Jml Hr	17	21	20	3	9	1	6	11	5	13	11	8
1997	422.00	415.00	23.00	84.00	29.00	26.00	43.00	4.00	0.00	96.00	146.00	135.00
Jml Hr	12	16	2	7	3	3	9	2	0	1	4	11
1998	274.00	251.00	170.00	185.00	145.00	46.00	85.00	73.00	249.00	277.00	440.00	425.00
Jml Hr	23	21	11	10	9	5	9	10	14	19	16	25
1999	379.00	388.00	378.00	378.00	20.00	196.50	81.00	33.00	14.00	523.00	173.00	425.00
Jml Hr	18	22	19	19	2	6	8	5	2	18	12	22
2000	901.00	890.00	241.00	222.00	168.00	380.00	415.00	357.00	510.00	680.00	1139.00	1034.00
Jml Hr	19	17	7	9	7	12	9	11	12	16	20	17
2001	1053.00	1095.00	357.50	317.50	100.00	356.50	0.00	0.00	28.00	217.50	163.50	257.50
Jml Hr	21	15	11	5	2	9	0	0	2	8	9	16
2002	259.50	520.50	131.00	58.00	30.50	38.00	17.00	33.50	26.50	6.00	552.00	206.00
Jml Hr	13	24	6	3	2	3	2	4	6	1	10	5
2003	873.00	119.00	165.00	158.00	107.00	52.00	76.00	0.00	96.00	251.00	224.50	0.00
Jml Hr	21	9	6	12	4	2	4	0	3	6	11	0

Sumber : BMKG Wilayah III

### Lampiran IV-25 Uji Konsistensi Metode RAPS Stasiun Pidpid

No	Tahun	Hujan (mm)	Sk*	Dy <sup>2</sup>	Sk**	[Sk**]
1	1994	1480.20	(139.42)	1,943.65	-0.4016	0.4016
2	1995	1640.30	20.69	42.79	0.0596	0.0596
3	1996	1780.90	161.29	2,601.29	0.4645	0.4645
4	1997	908.00	(711.62)	50,639.59	-2.0496	2.0496
5	1998	1264.90	(354.72)	12,582.27	-1.0217	1.0217
6	1999	1651.05	31.44	98.82	0.0905	0.0905
7	2000	1525.50	(94.11)	885.76	-0.2711	0.2711
8	2001	2075.50	455.89	20,783.11	1.3131	1.3131
9	2002	1699.50	79.89	638.16	0.2301	0.2301
10	2003	2170.30	550.69	30,325.40	1.5861	1.5861
	Jumlah =	16,196.15				
	Rerata =	1619.615		120,540.84		
<p>n = 10  Dy = 347.19  Sk**mak = 1.5861  Sk**min = 0.2301  Q =  Sk**maks  = 0.2301  R = Sk**mak - Sk**min = 1.3560  Q/n<sup>0.5</sup> = 0.072760911 &lt; 1.05 90% -----&gt; oke  R/n<sup>0.5</sup> = 0.428814385 &lt; 1.21 90% -----&gt; oke</p>						
Kesimpulan ; Data hujan konsisten						

Sumber: hasil analisis, 2010

### Lampiran IV-26 Uji Konsistensi Metode RAPS Stasiun Amlapura

No	Tahun	Hujan (mm)	Sk*	Dy <sup>2</sup>	Sk**	[Sk**]
1	1994	1793.00	167.30	2,798.93	0.3392	0.3392
2	1995	1857.00	231.30	5,349.97	0.4689	0.4689
3	1996	1286.00	(339.70)	11,539.61	-0.6887	0.6887
4	1997	473.00	(1,152.70)	132,871.73	-2.3368	2.3368
5	1998	1912.00	286.30	8,196.77	0.5804	0.5804
6	1999	1191.10	(434.60)	18,887.72	-0.8810	0.8810
7	2000	2298.40	672.70	45,252.53	1.3637	1.3637
8	2001	1610.50	(15.20)	23.10	-0.0308	0.0308
9	2002	1837.00	211.30	4,464.77	0.4284	0.4284
10	2003	1999.00	373.30	13,935.29	0.7568	0.7568
	Jumlah =	16,257.00				
	Rerata =	1625.7		243,320.41		
<p>n = 10  Dy = 493.28  Sk**mak = 1.3637  Sk**min = -2.3368  Q =  Sk**maks  = 2.3368  R = Sk**mak - Sk**min = 3.7006  Q/n<sup>0.5</sup> = 0.738970364 &lt; 1.05 90% -----&gt; oke  R/n<sup>0.5</sup> = 1.170223391 &lt; 1.21 90% -----&gt; oke</p>						
Kesimpulan ; Data hujan konsisten						

Sumber: hasil analisis, 2010

**Lampiran IV-27 Uji Konsistensi Metode RAPS Stasiun Bebandem**

No	Tahun	Hujan (mm)	Sk*	Dy <sup>2</sup>	Sk**	Sk**
1	1994	1404.00	(513.46)	26,364.12	-1.1154	1.1154
2	1995	2379.00	461.54	21,301.92	1.0026	1.0026
3	1996	1866.00	(51.46)	264.81	-0.1118	0.1118
4	1997	1343.00	(574.46)	33,000.43	-1.2479	1.2479
5	1998	2493.00	575.54	33,124.63	1.2502	1.2502
6	1999	2759.00	841.54	70,818.96	1.8281	1.8281
7	2000	1877.00	(40.46)	163.70	-0.0879	0.0879
8	2001	1950.10	32.64	106.54	0.0709	0.0709
9	2002	1562.00	(355.46)	12,635.18	-0.7722	0.7722
10	2003	1541.50	(375.96)	14,134.59	-0.8167	0.8167
	Jumlah =	19,174.60				
	Rerata =	1917.46		211,914.87		
<p>n = 10  Dy = 460.34  Sk**mak = 1.8281  Sk**min = -1.2479  Q =  Sk**maks  = 1.8281  R = Sk**mak - Sk**min= 3.0760  Q/n<sup>0.5</sup> 0.578088118 &lt; 1.05 90% -----&gt; oke  R/n<sup>0.5</sup> 0.972708101 &lt; 1.21 90% -----&gt; oke</p>						
Kesimpulan ; Data hujan konsisten						

Sumber: hasil analisis, 2010

**Lampiran IV-28 Uji Konsistensi Metode RAPS Stasiun Dauh Waru**

No	Tahun	Hujan (mm)	Sk*	Dy <sup>2</sup>	Sk**	Sk**
1	1994	1878.00	5.10	2.60	0.0048	0.0048
2	1995	2231.60	358.70	12,866.21	0.3363	0.3363
3	1996	2271.00	398.10	15,847.96	0.3732	0.3732
4	1997	0.00	(1,872.91)	350,777.31	-1.7557	1.7557
5	1998	2478.40	605.50	36,662.42	0.5676	0.5676
6	1999	3778.40	1,906.00	363,281.69	1.7868	1.7868
7	2000	1990.15	117.25	1,374.64	0.1099	0.1099
8	2001	2041.60	168.70	2,845.80	0.1581	0.1581
9	2002	0.00	(1,872.91)	350,777.31	-1.7557	1.7557
10	2003	2059.40	186.50	3,478.04	0.1748	0.1748
	Jumlah =	18,729.05				
	Rerata =	1872.905		1,137,913.99		
<p>n = 10  Dy = 1,066.73  Sk**mak = 1.7868  Sk**min = -1.7557  Q =  Sk**maks  = 1.7868  R = Sk**mak - Sk**min= 3.5425  Q/n<sup>0.5</sup> 0.565024187 &lt; 1.05 90% -----&gt; oke  R/n<sup>0.5</sup> 1.120238983 &lt; 1.21 90% -----&gt; oke</p>						
Kesimpulan ; Data hujan konsisten						

Sumber: hasil analisis, 2010



### Lampiran IV-29 Uji Konsistensi Metode RAPS Stasiun Poh Santen

No	Tahun	Hujan (mm)	Sk*	Dy <sup>2</sup>	Sk**	Sk**
1	1994	2444.60	216.00	4,665.60	0.3372	0.3372
2	1995	2904.00	675.40	45,616.52	1.0543	1.0543
3	1996	3200.00	971.40	94,361.80	1.5163	1.5163
4	1997	1359.00	(869.60)	75,620.42	-1.3574	1.3574
5	1998	2384.00	155.40	2,414.92	0.2426	0.2426
6	1999	2717.00	488.40	23,853.46	0.7624	0.7624
7	2000	2515.00	286.40	8,202.50	0.4470	0.4470
8	2001	1811.00	(417.60)	17,438.98	-0.6518	0.6518
9	2002	1123.00	(1,105.60)	122,235.14	-1.7258	1.7258
10	2003	1828.40	(400.20)	16,016.00	-0.6247	0.6247
	Jumlah =	22,286.00				
	Rerata =	2228.6		410,425.31		
<p>n = 10  Dy = 640.64  Sk**mak = 1.5163  Sk**min = -1.7258  Q =  Sk**maks  = 1.7258  R = Sk**mak - Sk**min = 3.2420  Q/n<sup>0.5</sup> = 0.545733937 &lt; 1.05 90% -----&gt; oke  R/n<sup>0.5</sup> = 1.025225567 &lt; 1.21 90% -----&gt; oke</p>						
Kesimpulan :						
Data hujan konsisten						

Sumber: hasil analisis, 2010

### Lampiran IV-30 Uji Konsistensi Metode RAPS Stasiun Negara

No	Tahun	Hujan (mm)	Sk*	Dy <sup>2</sup>	Sk**	Sk**
1	1994	7320.00	4,636.82	2,150,009.97	2.2990	2.2990
2	1995	3166.00	482.82	23,311.52	0.2394	0.2394
3	1996	2931.70	248.52	6,176.22	0.1232	0.1232
4	1997	0.00	(2,683.18)	719,945.49	-1.3304	1.3304
5	1998	3645.50	962.32	92,605.98	0.4771	0.4771
6	1999	3922.25	1,239.07	153,529.45	0.6143	0.6143
7	2000	1582.30	(1,100.88)	121,193.68	-0.5458	0.5458
8	2001	1812.90	(870.28)	75,738.73	-0.4315	0.4315
9	2002	0.00	(2,683.18)	719,945.49	-1.3304	1.3304
10	2003	2451.15	(232.03)	5,383.79	-0.1150	0.1150
	Jumlah =	26,831.80				
	Rerata =	2683.18		4,067,840.31		
<p>n = 10  Dy = 2,016.89  Sk**mak = 0.4771  Sk**min = -1.3304  Q =  Sk**maks  = 1.3304  R = Sk**mak - Sk**min = 1.8075  Q/n<sup>0.5</sup> = 0.420695494 &lt; 1.05 90% -----&gt; oke  R/n<sup>0.5</sup> = 0.57157754 &lt; 1.21 90% -----&gt; oke</p>						
Kesimpulan :						
Data hujan konsisten						

Sumber: hasil analisis, 2010

**Lampiran IV-33 Uji Konsistensi Metode RAPS Stasiun Ubud**

No	Tahun	Hujan (mm)	Sk*	Dy <sup>2</sup>	Sk**	Sk**
1	1994	2690.00	(325.25)	10.578.76	-0.2222	0.2222
2	1995	2479.00	(536.25)	28.756.41	-0.3664	0.3664
3	1996	3042.00	26.75	71.56	0.0183	0.0183
4	1997	1423.00	(1.592.25)	253.526.01	-1.0879	1.0879
5	1998	2620.00	(395.25)	15.622.26	-0.2700	0.2700
6	1999	3015.50	0.25	0.01	0.0002	0.0002
7	2000	6937.00	3.921.75	1.538.012.31	2.6794	2.6794
8	2001	3946.00	930.75	86.629.56	0.6359	0.6359
9	2002	1878.50	(1,136.75)	129.220.06	-0.7766	0.7766
10	2003	2121.50	(893.75)	79.878.91	-0.6106	0.6106
	Jumlah =	30,152.50				
	Rerata =	3015.25		2,142,295.81		
<p>n = 10  Dy = 1,463.66  Sk**mak = 2.6794  Sk**min = -1.0879  Q =  Sk**maks  = 2.6794  R = Sk**mak - Sk**min = 3.7673  Q/n*0.5 0.847305813 &lt; 1.05 90% -----&gt; oke  R/n*0.5 1.191316186 &lt; 1.21 90% -----&gt; oke</p>						
Kesimpulan :						
Data hujan konsisten						

Sumber: hasil analisis, 2010

**Lampiran IV-40**

Contoh analisis model *artificial neural network* dengan bantuan software MATLAB untuk DAS Tukad Nyuling.

**LISTING PROGRAM ANN BACKPROPAGATION MODEL 3-10-5-1**

```
% Data input dan target
Data = [...
269.28 89.16 28.14 25.78
301.58 102.18 41.90 28.14
315.73 113.15 33.27 41.90
104.08 114.62 32.23 33.27
18.14 111.53 29.11 32.23
35.43 120.20 30.08 29.11
0.74 130.89 26.86 30.08
0.53 127.34 20.79 26.86
8.10 125.19 22.56 20.79
42.85 109.86 22.87 22.56
153.05 102.84 29.01 22.87
315.87 96.07 35.45 29.01
354.59 89.16 63.08 35.45
290.23 102.18 77.35 63.08
226.49 113.15 79.02 77.35
71.37 114.62 50.50 79.02
78.14 111.53 48.87 50.50
99.01 120.20 40.83 48.87
4.50 130.89 41.90 40.83
42.82 127.34 37.43 41.90
```

45.13	125.19	37.60	37.43
141.42	109.86	41.59	37.60
185.12	102.84	48.35	41.59
321.07	96.07	47.27	48.35
293.37	89.16	65.99	47.27
142.77	102.18	44.05	65.99
77.06	113.15	31.19	44.05
45.25	114.62	34.38	31.19
45.54	111.53	32.23	34.38
11.77	120.20	32.23	32.23
39.84	130.89	36.53	32.23
10.60	127.34	35.35	36.53
238.00	125.19	52.64	35.35
101.49	109.86	44.71	52.64
260.63	102.84	47.27	44.71
149.38	96.07	67.69	47.27
218.21	89.16	84.42	67.69
1.75	102.18	26.86	84.42
44.83	113.15	27.03	26.86
11.70	114.62	26.86	27.03
9.33	111.53	28.07	26.86
9.53	120.20	33.31	28.07
6.57	130.89	25.78	33.31
0.00	127.34	27.03	25.78
9.00	125.19	27.93	27.03
35.51	109.86	30.15	27.93
70.68	102.84	30.08	30.15
447.23	96.07	241.73	30.08
103.77	89.16	192.14	241.73
130.28	102.18	131.07	192.14
69.10	113.15	106.05	131.07
63.85	114.62	65.54	106.05
21.67	111.53	48.87	65.54
107.43	120.20	52.64	48.87
43.00	130.89	51.57	52.64
120.94	127.34	45.75	51.57
145.09	125.19	64.46	45.75
155.10	109.86	46.79	64.46
352.55	102.84	54.79	46.79
293.15	96.07	38.61	54.79
355.83	89.16	20.43	38.61
154.87	102.18	49.33	20.43
268.90	113.15	31.97	49.33
18.46	114.62	31.33	31.97
40.07	111.53	21.59	31.33
29.85	120.20	24.15	21.59
34.25	130.89	25.29	24.15
23.75	127.34	38.02	25.29
112.73	125.19	24.86	38.02
65.21	109.86	28.16	24.86
153.78	102.84	39.22	28.16];

```
P = Data (:,1:3)';
```

```
T = Data (:,4)';
```

```
% Preprocessing
```

```

[pn,minp,maxp,tn,mint,maxt] = premmmx(P,T)

% Membangun jaringan syaraf feedforward
net = newff(minmax(pn),[10 5 1],{'logsig' 'logsig'
'purelin'}, 'traingd');

% Melihat bobot-bobot awal input, lapisan, dan bias
BobotAwal_input = net.IW{1,1}
BobotAwal_Bias_Input = net.b{1,1}
BobotAwal_Lapisan1 = net.LW{2,1}
BobotAwal_Bias_Lapisan1 = net.b{2,1}
BobotAwal_Lapisan2 = net.LW{3,2}
BobotAwal_Bias_Lapisan2 = net.b{3,1}

% Set max epoch, goal, learning rate, show step
net.trainParam.epochs = 5000;
net.trainParam.goal = 1e-3;
net.trainParam.lr = 0.5;
net.trainParam.show = 200;

% Melakukan pembelajaran
net = train(net,pn,tn); pause

% Melihat bobot-bobot akhir input, lapisan, dan bias
BobotAkhir_input = net.IW{1,1}
BobotAkhir_Bias_Input = net.b{1,1}
BobotAkhir_Lapisan1 = net.LW{2,1}
BobotAkhir_Bias_Lapisan1 = net.b{2,1}
BobotAkhir_Lapisan2 = net.LW{3,2}
BobotAkhir_Bias_Lapisan2 = net.b{3,1}

% Melakukan simulasi
an = sim(net,pn);
a = postmnmx(an,mint,maxt);
e = T-a
perf = mse (e)
H = [(1:size(P,2))' T' a' (T'-a)'];
sprintf('%2d %9.2f %7.2f %5.2f\n',H')

% Evaluasi output jaringan (data pelatihan dengan target)
[m1,a1,r1] = postreg(a,T)
pause
plot([1:size(P,2)]',T,'b-',[1:size(P,2)]',a', 'r-');
title('Hasil pengujian dengan data pelatihan: Target (-), output (-)');
xlabel('Data ke-'); ylabel('Target/output');
legend('Target/Aktual', 'Output/Prediksi');
pause

% Input baru Q akan dites, dengan target TQ
Cek = [...
206.19 96.07 88.87 39.22
438.32 89.16 80.27 88.87
373.18 102.18 88.87 80.27
149.44 113.15 86.01 88.87
205.16 114.62 88.87 86.01

```

42.00	111.53	86.01	88.87
12.14	120.20	89.57	86.01
5.07	130.89	93.19	89.57
4.19	127.34	90.18	93.19
79.60	125.19	93.19	90.18
297.35	109.86	90.18	93.19
144.84	102.84	93.19	90.18
265.85	96.07	93.19	93.19
128.47	89.16	79.23	93.19
424.95	102.18	158.51	79.23
102.63	113.15	82.71	158.51
83.41	114.62	104.77	82.71
142.81	111.53	110.50	104.77
38.31	120.20	113.30	110.50
6.67	130.89	92.82	113.30
54.77	127.34	88.09	92.82
95.58	125.19	79.80	88.09
167.23	109.86	101.72	79.80
120.27	102.84	157.86	101.72
262.16	96.07	101.35	157.86
492.71	89.16	187.00	101.35
19.23	102.18	139.23	187.00
110.18	113.15	186.89	139.23
7.05	114.62	165.19	186.89
7.40	111.53	160.18	165.19
8.97	120.20	164.97	160.18
3.50	130.89	132.09	164.97
30.37	127.34	145.68	132.09
1.21	125.19	151.06	145.68
78.55	109.86	145.87	151.06
199.99	102.84	123.64	145.87
723.85	96.07	17.61	123.64
304.13	89.16	14.07	17.61
80.80	102.18	16.20	14.07
203.14	113.15	15.12	16.20
47.78	114.62	14.86	15.12
28.54	111.53	21.38	14.86
12.58	120.20	45.98	21.38
24.01	130.89	69.84	45.98
47.31	127.34	68.32	69.84
26.96	125.19	51.96	68.32
214.48	109.86	65.62	51.96
213.40	102.84	69.95	65.62];

```

Q = Cek(:,1:3)';
TQ = Cek(:,4)';

% Normalisasi input baru
Qn = trannmx(Q,minp,maxp);
bn = sim(net,Qn);
b = postnmx(bn,mint,maxt);
e = TQ-b
perf = mse (e)
L = [(1:size(Q,2))' TQ' b' (TQ'-b')];
sprintf('%2d %11.2f %9.2f %7.2f\n', L')

```

```

% Evaluasi output jaringan (data testing dengan data target)
[m2,b1,r2] = postreg(b,TQ)
pause
k = [1:size(Q,2)]';
plot(k,TQ,'b-',k,b,'r-');
title('Hasil pengujian dengan data pelatihan: Target (-), output (-)');
xlabel('Data ke-'); ylabel('Target/output');
legend('Target/Aktual', 'Output/Prediksi');

```

```
>> Model5_Nyuling
```

```
pn =
```

Columns 1 through 10

0.2042	0.3487	0.4119	-0.5346	-0.9189	-0.8416	-
0.9967	-0.9976	-0.9638	-0.8084			
-1.0000	-0.3760	0.1498	0.2202	0.0721	0.4877	
1.0000	0.8299	0.7268	-0.0079			
-0.9303	-0.8060	-0.8840	-0.8934	-0.9216	-0.9128	-
0.9419	-0.9967	-0.9808	-0.9779			

Columns 11 through 20

-0.3156	0.4126	0.5857	0.2979	0.0129	-0.6808	-
0.6506	-0.5572	-0.9799	-0.8085			
-0.3444	-0.6688	-1.0000	-0.3760	0.1498	0.2202	
0.0721	0.4877	1.0000	0.8299			
-0.9225	-0.8643	-0.6146	-0.4856	-0.4705	-0.7282	-
0.7430	-0.8156	-0.8060	-0.8464			

Columns 21 through 30

-0.7982	-0.3676	-0.1721	0.4358	0.3119	-0.3615	-
0.6554	-0.7976	-0.7963	-0.9474			
0.7268	-0.0079	-0.3444	-0.6688	-1.0000	-0.3760	
0.1498	0.2202	0.0721	0.4877			
-0.8448	-0.8088	-0.7477	-0.7574	-0.5883	-0.7865	-
0.9028	-0.8739	-0.8934	-0.8934			

Columns 31 through 40

-0.8218	-0.9526	0.0643	-0.5461	0.1655	-0.3320	-
0.0242	-0.9922	-0.7995	-0.9477			
1.0000	0.8299	0.7268	-0.0079	-0.3444	-0.6688	-
1.0000	-0.3760	0.1498	0.2202			
-0.8545	-0.8652	-0.7089	-0.7806	-0.7574	-0.5729	-
0.4217	-0.9419	-0.9404	-0.9419			

Columns 41 through 50

-0.9583	-0.9574	-0.9706	-1.0000	-0.9598	-0.8412	-
0.6839	1.0000	-0.5359	-0.4174			
	0.0721	0.4877	1.0000	0.8299	0.7268	-0.0079
0.3444	-0.6688	-1.0000	-0.3760			
-0.9310	-0.8836	-0.9516	-0.9404	-0.9322	-0.9122	-
0.9128	1.0000	0.5518	-0.0001			

Columns 51 through 60

-0.6910	-0.7145	-0.9031	-0.5196	-0.8077	-0.4592	-
0.3512	-0.3064	0.5766	0.3110			
	0.1498	0.2202	0.0721	0.4877	1.0000	0.8299
0.7268	-0.0079	-0.3444	-0.6688			
-0.2262	-0.5923	-0.7430	-0.7089	-0.7186	-0.7712	-
0.6021	-0.7618	-0.6895	-0.8357			

Columns 61 through 70

0.5913	-0.3074	0.2025	-0.9174	-0.8208	-0.8665	-
0.8468	-0.8938	-0.4959	-0.7084			
-1.0000	-0.3760	0.1498	0.2202	0.0721	0.4877	
1.0000	0.8299	0.7268	-0.0079			
-1.0000	-0.7388	-0.8957	-0.9015	-0.9895	-0.9664	-
0.9561	-0.8410	-0.9600	-0.9301			

Column 71

-0.3123  
-0.3444  
-0.8302

minp =

0  
89.1600  
20.4300

maxp =

447.2300  
130.8900  
241.7300

tn =

Columns 1 through 10

-0.9516	-0.9303	-0.8060	-0.8840	-0.8934	-0.9216	-
0.9128	-0.9419	-0.9967	-0.9808			

Columns 11 through 20

```
-0.9779 -0.9225 -0.8643 -0.6146 -0.4856 -0.4705 -  
0.7282 -0.7430 -0.8156 -0.8060
```

Columns 21 through 30

```
-0.8464 -0.8448 -0.8088 -0.7477 -0.7574 -0.5883 -  
0.7865 -0.9028 -0.8739 -0.8934
```

Columns 31 through 40

```
-0.8934 -0.8545 -0.8652 -0.7089 -0.7806 -0.7574 -  
0.5729 -0.4217 -0.9419 -0.9404
```

Columns 41 through 50

```
-0.9419 -0.9310 -0.8836 -0.9516 -0.9404 -0.9322 -  
0.9122 -0.9128 1.0000 0.5518
```

Columns 51 through 60

```
-0.0001 -0.2262 -0.5923 -0.7430 -0.7089 -0.7186 -  
0.7712 -0.6021 -0.7618 -0.6895
```

Columns 61 through 70

```
-0.8357 -1.0000 -0.7388 -0.8957 -0.9015 -0.9895 -  
0.9664 -0.9561 -0.8410 -0.9600
```

Column 71

```
-0.9301
```

mint =

```
20.4300
```

maxt =

```
241.7300
```

BobotAwal\_input =

```
-4.2531 -4.0119 1.4851  
-4.1425 -0.5148 4.3548  
3.9368 -4.5600 0.3125  
2.5525 5.2526 1.5115  
-4.6369 1.0562 -3.7113  
-5.7909 -0.9074 -1.4254  
4.8947 0.1928 3.5207  
-4.6737 -2.5795 2.8094  
-5.6290 -1.8764 -1.0880  
2.9946 -5.0833 1.2581
```



BobotAwal\_Bias\_Input =

6.0324  
4.6919  
-3.3513  
-2.0108  
0.6703  
-0.6703  
2.0108  
-3.3513  
-4.6919  
6.0324

BobotAwal\_Lapisan1 =

1.9206	-1.2730	3.1993	0.9367	1.5965	-1.8764	
0.6998	-2.9775	1.1954	-3.1611			
-2.5839	2.1944	1.6932	-1.0549	-1.3602	1.9885	
0.7613	-2.7714	-2.3866	-2.8349			
0.7360	-3.4699	-0.4389	3.2918	-0.4298	0.9214	-
0.9267	-1.3402	-3.3245	-2.2174			
-3.1003	1.8471	-0.0116	1.5623	2.9875	-2.5246	
0.5180	-3.3581	0.7748	0.5992			
-0.6846	3.8090	-2.3140	-0.7123	1.4831	-2.3692	-
0.3930	-0.9387	0.8781	-3.5791			

BobotAwal\_Bias\_Lapisan1 =

-3.4191  
4.8217  
3.5991  
-1.2917  
-0.8786

BobotAwal\_Lapisan2 =

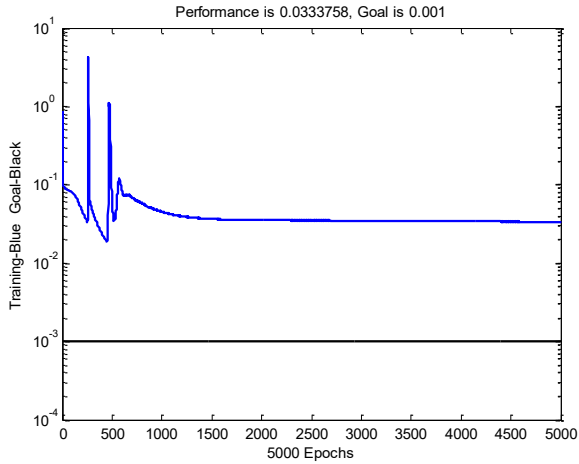
-0.2649    0.2629    0.4353    0.3853    -0.8318

BobotAwal\_Bias\_Lapisan2 =

-0.0913

TRAINGD, Epoch 0/5000, MSE 0.872996/0.001, Gradient 2.46474/1e-010  
TRAINGD, Epoch 200/5000, MSE 0.0458125/0.001, Gradient 0.0249024/1e-010  
TRAINGD, Epoch 400/5000, MSE 0.023308/0.001, Gradient 0.0157467/1e-010  
TRAINGD, Epoch 600/5000, MSE 0.0823839/0.001, Gradient 0.720879/1e-010  
TRAINGD, Epoch 800/5000, MSE 0.0574851/0.001, Gradient 0.591374/1e-010

TRAINGD, Epoch 1000/5000, MSE 0.0449251/0.001, Gradient 0.50854/1e-010  
TRAINGD, Epoch 1200/5000, MSE 0.0395056/0.001, Gradient 0.469107/1e-010  
TRAINGD, Epoch 1400/5000, MSE 0.0371152/0.001, Gradient 0.451674/1e-010  
TRAINGD, Epoch 1600/5000, MSE 0.0359952/0.001, Gradient 0.444148/1e-010  
TRAINGD, Epoch 1800/5000, MSE 0.0354474/0.001, Gradient 0.441155/1e-010  
TRAINGD, Epoch 2000/5000, MSE 0.0351733/0.001, Gradient 0.440297/1e-010  
TRAINGD, Epoch 2200/5000, MSE 0.0350305/0.001, Gradient 0.440407/1e-010  
TRAINGD, Epoch 2400/5000, MSE 0.0349448/0.001, Gradient 0.44088/1e-010  
TRAINGD, Epoch 2600/5000, MSE 0.0348769/0.001, Gradient 0.441401/1e-010  
TRAINGD, Epoch 2800/5000, MSE 0.0348066/0.001, Gradient 0.441816/1e-010  
TRAINGD, Epoch 3000/5000, MSE 0.0347249/0.001, Gradient 0.442063/1e-010  
TRAINGD, Epoch 3200/5000, MSE 0.034629/0.001, Gradient 0.442129/1e-010  
TRAINGD, Epoch 3400/5000, MSE 0.034519/0.001, Gradient 0.442029/1e-010  
TRAINGD, Epoch 3600/5000, MSE 0.0343967/0.001, Gradient 0.441787/1e-010  
TRAINGD, Epoch 3800/5000, MSE 0.0342645/0.001, Gradient 0.441431/1e-010  
TRAINGD, Epoch 4000/5000, MSE 0.0341246/0.001, Gradient 0.440986/1e-010  
TRAINGD, Epoch 4200/5000, MSE 0.0339793/0.001, Gradient 0.440477/1e-010  
TRAINGD, Epoch 4400/5000, MSE 0.0338304/0.001, Gradient 0.439924/1e-010  
TRAINGD, Epoch 4600/5000, MSE 0.0336794/0.001, Gradient 0.439345/1e-010  
TRAINGD, Epoch 4800/5000, MSE 0.0335275/0.001, Gradient 0.438754/1e-010  
TRAINGD, Epoch 5000/5000, MSE 0.0333758/0.001, Gradient 0.438161/1e-010  
TRAINGD, Maximum epoch reached, performance goal was not met.



BobotAkhir\_input =

-4.2626	-4.0399	1.6182
-4.0090	-0.7741	3.3598
4.0795	-4.4844	-0.0925
2.6581	5.2145	1.6423
-4.3999	1.0884	-3.7613
-5.9221	-0.5669	-1.5585
4.9088	0.3255	3.5670
-5.4732	-2.2608	3.3168
-5.0767	-2.8494	-2.4538
2.4229	-4.3236	0.6714

BobotAkhir\_Bias\_Input =

5.9331  
 5.7388  
 -3.0216  
 -1.9925  
 -0.4297  
 0.6276  
 1.7698  
 -2.4007  
 -4.9607  
 6.6777

BobotAkhir\_Lapisan1 =

1.9485	-1.2783	3.4246	0.9226	1.2462	-2.1729	
0.9823	-2.9662	1.1212	-2.8741			
-3.6616	1.1647	1.5548	-1.1753	-2.3459	1.1171	
0.3647	-2.9969	-2.6958	-3.5915			
	0.2908	-3.7944	-0.5776	3.2544	-0.8222	0.6238
1.0238	-1.3162	-3.4020	-2.5918			
	-2.1883	2.2152	1.4634	1.4168	3.2953	-2.0920
0.0621	-4.3936	2.5887	0.7310			
	-0.9168	3.5455	-2.3154	-1.0296	1.3523	-2.3767
0.8190	-1.0370	1.5842	-3.3189			

BobotAkhir\_Bias\_Lapisan1 =

-3.3857
3.7387
3.1401
-0.3304
-1.1178

BobotAkhir\_Lapisan2 =

-0.6060	-0.1698	0.2019	-1.9034	-0.5531
---------	---------	--------	---------	---------

BobotAkhir\_Bias\_Lapisan2 =

0.8019
--------

e =

Columns 1 through 10

13.4628	0.2170	14.3702	9.9631	12.0241	12.1501
23.6365	22.6792	12.2361	9.9716		

Columns 11 through 20

5.5238	9.7006	10.4899	18.8577	36.1143	49.3630
23.6026	18.9446	21.9893	18.2511		

Columns 21 through 30

13.2519	9.4132	11.6114	26.3289	17.3005	44.8451
26.7390	13.1503	17.6480	14.9134		

Columns 31 through 40

10.1904	19.6247	15.3932	28.5662	11.3747	11.8948
18.5715	31.9015	13.0006	10.0631		

Columns 41 through 50

```
    4.3062    9.8244    25.8129    17.3483    14.7982    10.0133
14.5725    15.5074    26.1770    5.1900
```

Columns 51 through 60

```
   -0.9628    59.2414    25.6973    15.0775    24.0235    22.8891
16.6511    32.3049    17.6598    33.6551
```

Columns 61 through 70

```
    20.8470    -4.9942    17.3431    13.2519    19.5603    8.3142
8.3757    4.2654    9.7453    11.2567
```

Column 71

```
    6.9789
```

perf =

```
    408.6336
```

ans =

```
 1    25.78    12.32    13.46
 2    28.14    27.92    0.22
 3    41.90    27.53    14.37
 4    33.27    23.31    9.96
 5    32.23    20.21    12.02
 6    29.11    16.96    12.15
 7    30.08     6.44    23.64
 8    26.86     4.18    22.68
 9    20.79     8.55    12.24
10    22.56    12.59    9.97
11    22.87    17.35    5.52
12    29.01    19.31    9.70
13    35.45    24.96    10.49
14    63.08    44.22    18.86
15    77.35    41.24    36.11
16    79.02    29.66    49.36
17    50.50    26.90    23.60
18    48.87    29.93    18.94
19    40.83    18.84    21.99
20    41.90    23.65    18.25
21    37.43    24.18    13.25
22    37.60    28.19    9.41
23    41.59    29.98    11.61
24    48.35    22.02    26.33
25    47.27    29.97    17.30
26    65.99    21.14    44.85
27    44.05    17.31    26.74
28    31.19    18.04    13.15
29    34.38    16.73    17.65
30    32.23    17.32    14.91
31    32.23    22.04    10.19
```

32	36.53	16.91	19.62
33	35.35	19.96	15.39
34	52.64	24.07	28.57
35	44.71	33.34	11.37
36	47.27	35.38	11.89
37	67.69	49.12	18.57
38	84.42	52.52	31.90
39	26.86	13.86	13.00
40	27.03	16.97	10.06
41	26.86	22.55	4.31
42	28.07	18.25	9.82
43	33.31	7.50	25.81
44	25.78	8.43	17.35
45	27.03	12.23	14.80
46	27.93	17.92	10.01
47	30.15	15.58	14.57
48	30.08	14.57	15.51
49	241.73	215.55	26.18
50	192.14	186.95	5.19
51	131.07	132.03	-0.96
52	106.05	46.81	59.24
53	65.54	39.84	25.70
54	48.87	33.79	15.08
55	52.64	28.62	24.02
56	51.57	28.68	22.89
57	45.75	29.10	16.65
58	64.46	32.16	32.30
59	46.79	29.13	17.66
60	54.79	21.13	33.66
61	38.61	17.76	20.85
62	20.43	25.42	-4.99
63	49.33	31.99	17.34
64	31.97	18.72	13.25
65	31.33	11.77	19.56
66	21.59	13.28	8.31
67	24.15	15.77	8.38
68	25.29	21.02	4.27
69	38.02	28.27	9.75
70	24.86	13.60	11.26
71	28.16	21.18	6.98

m1 =

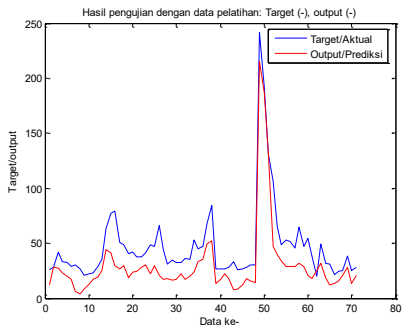
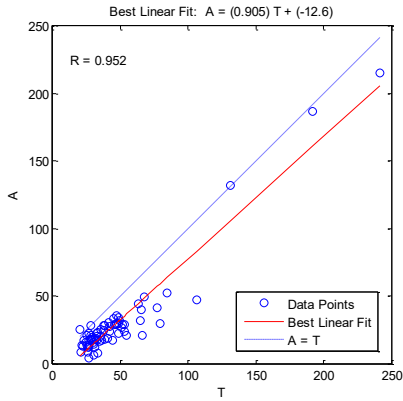
0.9047

a1 =

-12.6440

r1 =

0.9520



e =

Columns 1 through 10

-23.5931	59.6610	48.9922	38.5024	42.6686	-15.9117	-
30.9178	7.0413	-4.7659	42.9951			

Columns 11 through 20

43.8112	7.7213	37.2566	31.6431	64.3509	98.5277	-
26.8726	17.8465	-34.0984	33.1540			

Columns 21 through 30

```
42.8205 51.3569 10.0237 -108.5821 91.9435 85.3055
20.3174 -73.1603 -11.2937 -28.8694
```

Columns 31 through 40

```
-37.2519 14.3107 -25.1777 -41.3551 -44.4066 10.6688
106.9348 5.7032 5.2505 -18.8545
```

Columns 41 through 48

```
5.6526 1.8671 -8.7378 5.2102 30.1395 35.4255
10.5581 21.2543
```

perf =

1.9589e+003

ans =

```
1 39.22 62.81 -23.59
2 88.87 29.21 59.66
3 80.27 31.28 48.99
4 88.87 50.37 38.50
5 86.01 43.34 42.67
6 88.87 104.78 -15.91
7 86.01 116.93 -30.92
8 89.57 82.53 7.04
9 93.19 97.96 -4.77
10 90.18 47.18 43.00
11 93.19 49.38 43.81
12 90.18 82.46 7.72
13 93.19 55.93 37.26
14 93.19 61.55 31.64
15 79.23 14.88 64.35
16 158.51 59.98 98.53
17 82.71 109.58 -26.87
18 104.77 86.92 17.85
19 110.50 144.60 -34.10
20 113.30 80.15 33.15
21 92.82 50.00 42.82
22 88.09 36.73 51.36
23 79.80 69.78 10.02
24 101.72 210.30 -108.58
25 157.86 65.92 91.94
26 101.35 16.04 85.31
27 187.00 166.68 20.32
28 139.23 212.39 -73.16
29 186.89 198.18 -11.29
30 165.19 194.06 -28.87
31 160.18 197.43 -37.25
32 164.97 150.66 14.31
33 132.09 157.27 -25.18
34 145.68 187.04 -41.36
35 151.06 195.47 -44.41
```



36	145.87	135.20	10.67
37	123.64	16.71	106.93
38	17.61	11.91	5.70
39	14.07	8.82	5.25
40	16.20	35.05	-18.85
41	15.12	9.47	5.65
42	14.86	12.99	1.87
43	21.38	30.12	-8.74
44	45.98	40.77	5.21
45	69.84	39.70	30.14
46	68.32	32.89	35.43
47	51.96	41.40	10.56
48	65.62	44.37	21.25

```

m2 =
    1.0000
b1 =
   -12.3982
r2 =
    0.7319

```

