

ANALISA HUJAN LIMPASAN DI SUB DAS GONGSENG BOJONEGORO MENGGUNAKAN JARINGAN SARAF TIRUAN

Poetri Mustika Chandy¹⁾, Ery Suhartanto¹⁾, Sri Wahyuni^{1,*)}

¹⁾Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya
Jl. Mayjend, Hartono no 167, Malang, 65145, Indonesia

^{*)}Email: yuniteknik@ub.ac.id

Abstract

Discharge data or surface runoff data in a watershed need to be known to analyze water availability in the watershed. However, not all watersheds have measurements. Therefore, it needs analysis to transform rainfall data into discharge. This study aims to transform rainfall data into discharge using the Artificial Neural Network (ANN) method. The ANN model uses the Matlab R2014b application program. The research location is in the Gongseng Sub-watershed in Bojonegoro Regency, East Java. The data used are the number of rainy days, rainfall, runoff coefficients, and discharge data (as calibration). The data used are 12 years (2006-2017). Analysis was carried out on three (3) processes, namely calibration, verification and validation. The calculation results of the best calibration process when using 6 years of data (2006-2011) with epoch 2000 that produces an NSE value of 0.69 and an R value of 0.85. As for the verification and validation process when using 1 year of data (2017) with epoch 1000, it produces an NSE value of 0.79 (good) and an R value of 0.92 (a very strong relationship). From these results it was concluded that this method is appropriate to be applied at this research location, and also applied to other locations that have similarity condition with this watershed characteristics.

Kata kunci : *surface runoff, artificial neural network, calibration, verification, validation*

PENDAHULUAN

Hujan yang turun pada suatu Daerah Aliran Sungai sebagian terjadi infiltrasi dan yang lainnya menjadi limpasan permukaan. Limpasan terjadi pada curah hujan yang melebihi kapasitas infiltrasi. Pada beberapa daerah tertentu tidak terdapat alat pengukur debit, seperti halnya pada lokasi penelitian ini. Oleh karena itu dibutuhkan pemodelan hujan limpasan yang dapat dijadikan alat untuk mengontrol dan mengevaluasi aliran pada suatu kawasan atau DAS.

Masalah yang ada di daerah lokasi penelitian harapannya teratasi dengan memanfaatkan teknologi *software* komputer dengan menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) atau yang disebut *Artificial Neural Network* (ANN). JST ini mempunyai banyak kemampuan untuk mendapatkan informasi dan memecahkan suatu masalah, dari data yang rumit atau tidak tepat.

Peneliti terdahulu yang mengenai hujan limpasan menggunakan JST

diantaranya yaitu (Riad dkk, 2003; Widyastuti, 2016; Hadihardaja dan Sutikno, 2005; Ardana 2013). Pada penelitian Riad dkk (2003) menyebutkan bahwa pada terdapat hubungan antara model hujan limpasan dengan JST, yang dapat membantu dalam bidang perencanaan dan manajemen sumber daya air. Penelitian ini membandingkan 2 metode yaitu model JST dan model MLR, dengan hasil metode JST lebih bagus yaitu dengan nilai $R^2 = 0,948$ pada *training* dan 0,917 pada *testing*.

Penelitian yang dilakukan oleh Widyastuti (2006) menggunakan data berupa curah hujan, evapotranspirasi, koefisien aliran, dan debit stasiun AWLR. Penelitian tersebut menyatakan bahwa mengkaji keterkaitan besarnya curah hujan harian yang tersedia, faktor klimatologi terkait evapotranspirasi terhadap debit limpasan yang terjadi, dimana diperoleh nilai MSE 0,0393, NSE $R^2 > 0,999$ dan R dalam $R^2 > 0,999$.

Penelitian Hadihardaja dan Sutikno (2005) menggunakan *input* hujan dan *output* limpasan model, diperoleh koefisien korelasi tertinggi 0,813 dengan kesimpulan dapat diterapkan dalam pemodelan walaupun hasilnya masih ada penyimpangan. Sedangkan pada Ardana (2013) menggunakan data iklim (kecepatan angin, kelembaban relatif, kelembaban maksimum dan lama penyinaran) serta data hidrologi yaitu data hujan, data debit dan evapotranspirasi. Dari Hasil penelitian, model JST metode *backpropagation* dengan pembelajaran *Gradien Descent* dan *Adaptive*

Learning Rate memberikan hasil relatif baik pada proses *training* dan *testing*.

Penelitian tentang hujan limpasan dengan metode Nreca dan Mock, Wahyuni (2014). Lokasi penelitian tersebut dekat dengan lokasi penelitian ini. Dimana dari dua metode tersebut metode Mock lebih baik, dengan hasil RMSE = 0,109; ME = 0,014; dan $R^2 = 0,758$ pada Kalibrasi. Pada uji validasi diperoleh RMSE = 0,126 ME = 0,051; dan $R^2 = 0,604$.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimanakah hasil kalibrasi, verifikasi dan validasi debit model jaringan saraf tiruan dengan debit pengamatan, menggunakan metode uji NSE, R, KR dan RMSE.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini memiliki tiga tahap utama, yaitu tahapan pertama berupa pengolahan data *input* yaitu data curah hujan, data debit, serta koefisien aliran. Selanjutnya tahap pengolahan data dengan pemodelan Jaringan Saraf Tiruan menggunakan *software* Matlab R2014b, dan tahap terakhir adalah hasil dari data pemodelan akan dihitung nilai penyimpangannya.

1. Pengolahan data *input* dilakukan analisa kualitas data hidrologi dengan uji konsistensi (uji kurva massa ganda untuk data hujan dan uji RAPS untuk data debit), uji ketidakadaan trend, uji stasioner, dan uji persistensi. Selanjutnya menghitung hujan rerata daerah poligon thiessen dan nilai koefisien aliran.

2. Tahap pengolahan data dengan JST menggunakan Matlab. Pembagian data antara lain data *input*, data sampel dan data target. Komposisi data pembagian dibagi menjadi beberapa pengerjaan antara lain:
 - a. 6 – 6 tahun
 - b. 7 – 5 tahun
 - c. 8 – 4 tahun
 - d. 9 – 3 tahun
 - e. 10 – 2 tahun, dan
 - f. 11 – 1 tahun.

Sebagai contoh pada pembagian data menjadi 6–6 tahun artinya 6 tahun pertama (2006-2011) sebagai perhitungan debit untuk tahap kalibrasi, dan 6 tahun berikutnya (2012-2017) sebagai tahap validasi. Setelah itu melakukan perancangan model arsitektur jaringan dengan metode *backpropagation*, dan dilanjutkan pelatihan data, validasi data, pengujian data serta melakukan simulasi model data sampel.

3. Tahap uji kalibrasi, verifikasi dan validasi dengan 4 metode uji yaitu *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), koefisien korelasi (R), kesalahan relatif (KR) dan *Root Mean Square Error* (RMSE).

Diagram alir penelitian dapat dilihat seperti pada gambar 1 di bawah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dibutuhkan antara lain data curah hujan, data debit, jumlah hari hujan dan nilai koefisien aliran. Pengumpulan data curah hujan dan data debit masing-masing selama 12 tahun (2006 - 2017) diperoleh dari UPT PSDA di Bojonegoro, Jawa

Timur. Adapun stasiun yang dimaksud adalah Pos Stasiun Hujan Tretes, Gangseng, Sugihan dan Pos Duga Air Gangseng.

Uji konsistensi data yang digunakan pada penelitian ini adalah kurva massa ganda untuk data curah hujan. Sedangkan data debit menggunakan uji RAPS.

Uji kurva massa ganda dengan membandingkan akumulasi curah hujan tahunan dengan akumulasi curah hujan rerata stasiun hujan di sekitarnya sebagai stasiun pembanding. Uji ini dilakukan untuk melihat apakah terdapat penyimpangan dari data yang dipakai. Pengujian dikatakan konsisten apabila diperoleh besar kemiringan sudut garis trend pada grafik sebesar $\alpha = 45$.

Perhitungan besar sudut α kurva massa ganda Stasiun Tretes :

$$y = bx$$

$$b = \text{kemiringan garis } b \text{ (S)}$$

$$y = 0,7838 x$$

$$S = 0,7838$$

$$\text{Sehingga, nilai } \alpha = \arctan S$$

$$\alpha = \arctan (0,7838)$$

$$= 38,09^\circ$$

Nilai α Stasiun Tretes adalah $38,09^\circ$ yang berarti tidak konsisten, maka pada perlu dilakukan perhitungan faktor koreksi (F_K) dengan tujuan memperbaiki data sehingga nilai α sesuai dengan batas yang diijinkan. Berikut contoh perhitungan nilai F_K :

$$F_k = \frac{S_{koreksi}}{S_1} = \frac{1}{0,7836} = 1,276$$

Setelah didapatkan nilai faktor koreksi (F_K), maka curah hujan di

Stasiun Tretes dikalikan dengan (F_K) yaitu 1,276 sehingga data menjadi terkoreksi. Perhitungan besar sudut α kurva massa ganda Stasiun Tretes setelah dikoreksi :

$$y = 1,0003 \times x$$

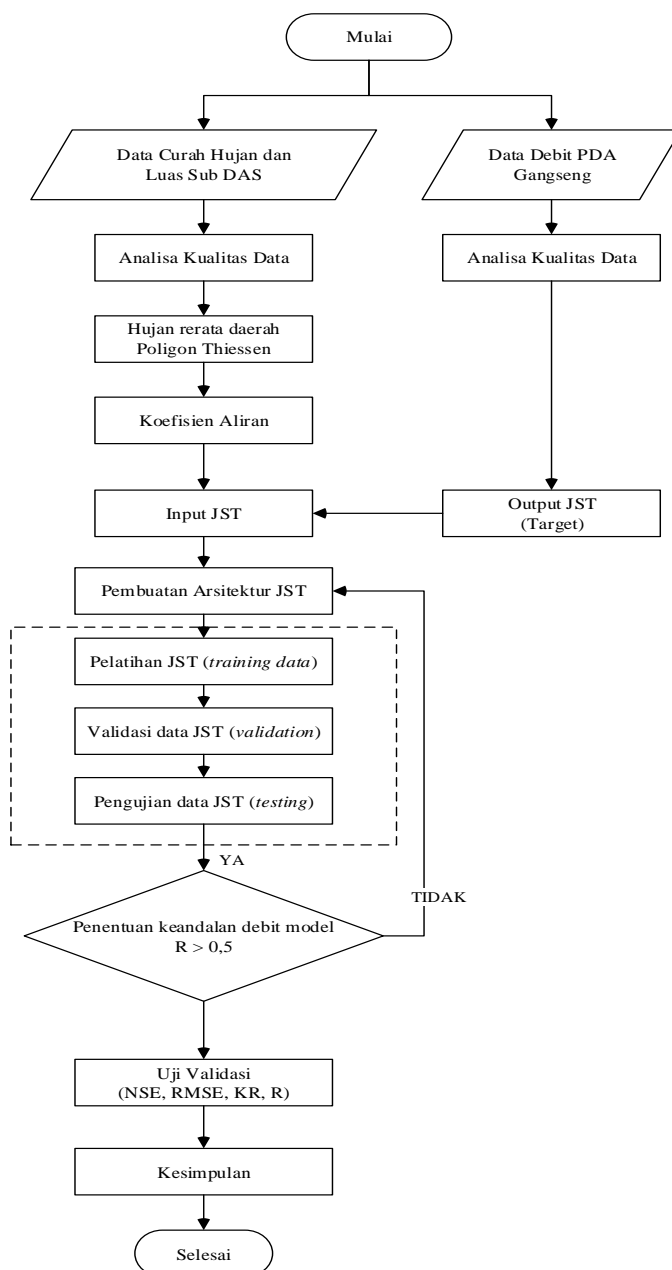
$$S = 1,0003$$

Sehingga, nilai $\alpha = \arctan S$

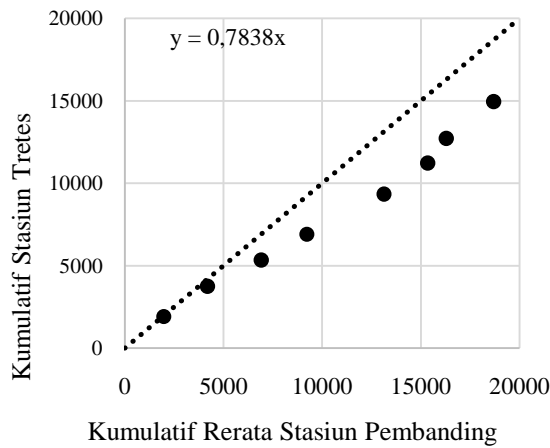
$$\alpha = \arctan (1,0003)$$

$$= 45,04^\circ$$

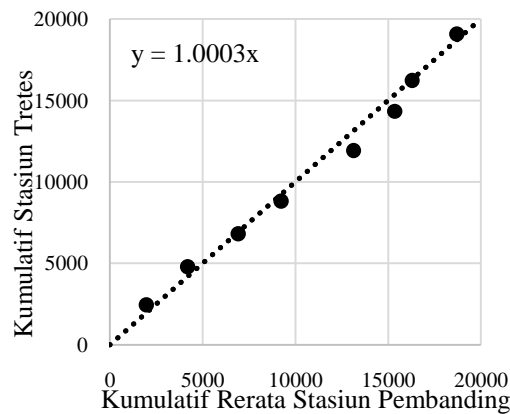
Nilai α Stasiun Gangseng setelah menggunakan data dikoreksi adalah $45,04^\circ$ maka telah konsisten.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Grafik Uji Konsistensi Stasiun Tretes



Gambar 3. Grafik Uji Konsistensi Stasiun Tretes Terkoreksi

Pengujian data debit pos duga air ini menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Pemilihan metode RAPS ini dikarenakan data debit adalah data tunggal. Hasil uji konsistensi dapat dilihat pada Tabel 2. Selanjutnya adalah uji ketidakaan trend. Tujuan

pengujian ini untuk mengetahui adanya trend pada data atau tidak. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa metode yaitu uji spearman, uji mann whitney dan uji tanda cox dan struat (Soewarno, 1995, pp.85-86). Hasil uji ketidakaan trend dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Uji Konsistensi

Nama Titik	Kurva Massa Ganda		RAPS		Keterangan
	Sudut	$\frac{Q}{\sqrt{n}}$	$\frac{R}{\sqrt{n}}$		
Tretes	45,04	-	-		Konsisten
Gangseng	44,68	-	-		Konsisten
Sugihan	45,65	-	-		Konsisten
PDA Gangseng	-	0,33	1,16		Konsisten

Keterangan:

Q = nilai statistik untuk Q

R = nilai statistik untuk *Range*

Tabel 3. Uji Ketidakadaan Trend

Nama Pos	α	Spearman	Mann Whitney	Tanda Cox dan Stuart
Tretes	5%	diterima	diterima	diterima
Gangseng		diterima	diterima	diterima
Sugihan		diterima	ditolak	ditolak
PDA Gangseng		ditolak	ditolak	ditolak
Tretes	1%	diterima	diterima	diterima
Gangseng		diterima	diterima	diterima
Sugihan		diterima	diterima	diterima
PDA Gangseng		ditolak	diterima	diterima

Keterangan:

PDA = Pos Duga Air

Uji Stasioner bertujuan untuk menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata, artinya untuk mengetahui apakah kedua sampel berasal dari populasi yang sama atau tidak. Hasil uji stasioner dapat dilihat pada Tabel 4. Selanjutnya Uji Persistensi merupakan ketidak-tergantungan dari setiap nilai

dalam deret berkala dalam data hidrologi. Data tersebut dianggap data yang berasal dari sampel acak maka perlu diuji. (Soewarno, 1995, p.99). Hasil uji persistensi dengan derajat kepercayaan 5% maupun diturunkan dengan 1% adalah ditolak atau tidak acak.

Tabel 4. Uji Stasioner

Nama Pos	α	Uji F	Uji T
Tretes	5%	diterima	diterima
Gangseng		diterima	diterima
Sugihan		ditolak	ditolak
PDA Gangseng		diterima	ditolak
Tretes	1%	diterima	diterima
Gangseng		diterima	diterima
Sugihan		ditolak	diterima
PDA Gangseng		diterima	diterima

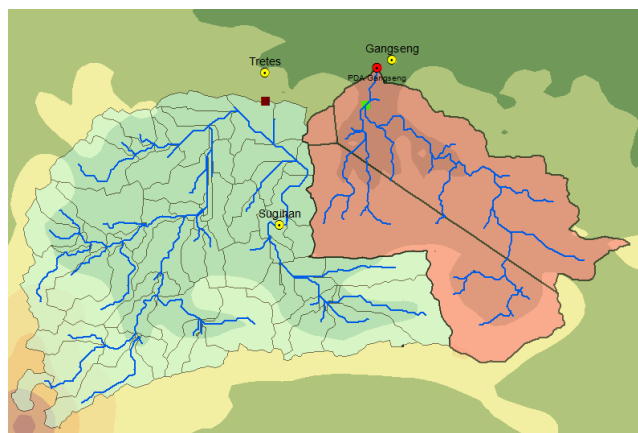
Keterangan:

PDA = Pos Duga Air

Perhitungan hujan rerata daerah poligon thiessen untuk mendapatkan satu besaran nilai hujan suatu DAS.

Nilai ini yang akan digunakan untuk perhitungan pemodelan debit dengan JST sebagai *input*. Hasil poligon

thiessen dan luas Sub DAS Gongseng 5. dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel



Gambar 4. Poligon Thiessen Sub DAS Gongseng

Tabel 5. Nilai Faktor Pengaruh Luas Stasiun Hujan (K)

Stasiun Hujan	Luas (km ²)	K
Tretes	1,01	0,020
Gongseng	26,75	0,517
Sugihan	23,96	0,463
Jumlah	51,72	1

Setelah mendapatkan nilai hujan dari poligon thiessen, selanjutnya adalah menghitung nilai koefisien aliran berdasarkan buku Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Asdak, 2004, p.157).

Nilai angka C berada di antara 0 sampai dengan 1, angka 0 menunjukkan semua air mengalami infiltrasi, dan untuk angka 1 menunjukkan semua air hujan menjadi limpasan atau mengalir ke sungai.

Tabel 6. Nilai Koefisien aliran

Tahun	Volume CH (10 ⁶ m ³)	Volume air larian (10 ⁶ m ³)	Koef. air larian (C)
2006	93	37	0,402
2007	103	33	0,323
2008	122	30	0,248
2009	105	25	0,240
2010	179	37	0,207
2011	105	40	0,388
2012	46	35	0,765
2013	115	28	0,249
2014	99	33	0,334
2015	94	16	0,177
2016	129	35	0,272
2017	119	30	0,258

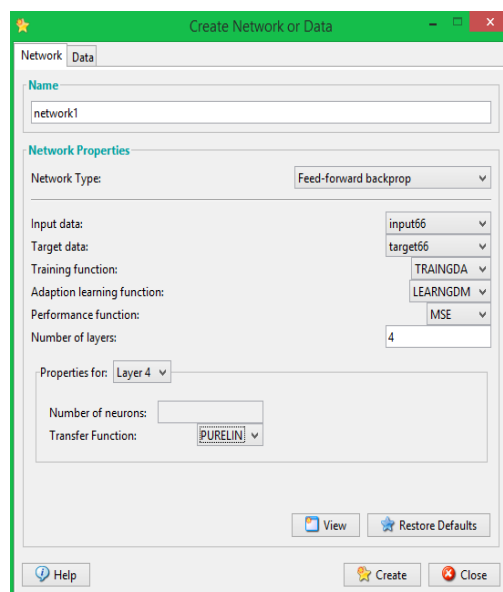
Pengolahan Jaringan Saraf Tiruan, dengan Matlab R2014b. Tujuan penelitian ini mempermudah dan mempercepat untuk mendapatkan pemodelan debit yang sesuai diharapkan pada lokasi penelitian. Langkah pertama adalah menyiapkan data menjadi tiga bagian yaitu *input*, sampel, dan target. Data *input* dan sampel terdiri dari data jumlah hari hujan, curah hujan dan koefisien aliran sedangkan data target adalah data debit pengamatan.

Sebelum diterapkan pada JST, data terlebih dahulu ditransformasi tanpa merubah informasi dari data asli.

Hal ini dilakukan dengan tujuan hasil analisis lebih baik dan akurat. Pada penelitian merujuk pada penelitian Hasim (2008) yang menggunakan transformasi data dengan normalisasi yaitu proses mengubah data dalam skala tertentu. Skala yang digunakan yaitu (0,1) dimana batas bawah (BB) adalah 0 dan batas atas (BA) adalah 1.

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

Selanjutnya pembentukan arsitektur jaringan, pengolahan 6-6 tahun data. Dapat dilihat pada Gambar 5.



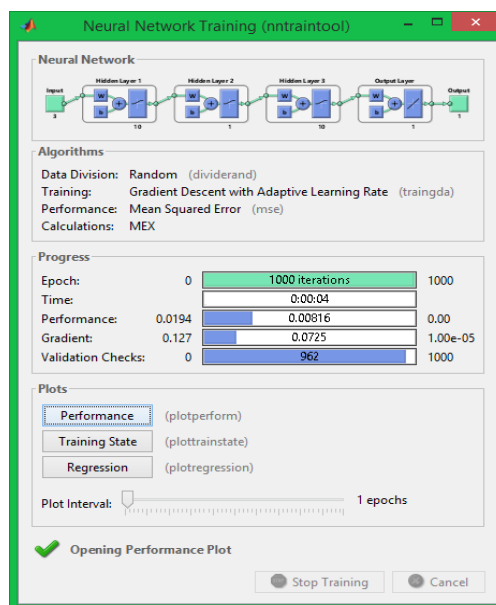
Gambar 5. Pembentukan arsitektur jaringan.

Melakukan *train network* berkali-kali dengan cara mengubah parameter coba-coba. Seperti Gambar 5, parameter yang dapat diubah yaitu *Train function*, *Adaption learning function*, *Number of layers*, *Number of neurons*, dan *Transfer functions*.

Train function adalah fungsi pelatihan yang akan digunakan.

Adaption learning function adalah fungsi pembelajaran, *Number of layers* adalah banyaknya *layer* atau lapisan yang akan digunakan. *Number of neurons* adalah banyaknya neuron pada masing-masing lapisan, dan *Transfer functions* adalah fungsi aktivasi sesuai dengan data yang digunakan.

Hasil *optimum training* pada 1000, dapat *dilihat* pada Gambar 6. pengolahan 6-6 tahun dengan *epoch*



Gambar 6. *Optimum Neural Network Training*

Plotting optimum performance merupakan Hasil hubungan antara nilai mse (*mean square error*) model dan epoch. Pada pengolahan 6-6 tahun dengan *epoch* 1000 menunjukkan hasil *best validation performance* pada 0,011169. *Plotting optimum performance* dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 8 merupakan hasil *plotting optimum training state* pada pengolahan 6-6 tahun data dengan *epoch* 1000. Terdapat 3 grafik dalam fungsi pembelajaran (*training fuction*) TRAINGDA ini yaitu *gradient*, *val fail* (*validation checks*) dan *lr* (*learning rate*). *plotting optimum training state*.

Gambar 9 merupakan hasil *plotting regression* optimum pada pengolahan 6-6 tahun data dengan *epoch* 1000. *Train network* berhenti ketika diperoleh nilai R pada *plotting*

regresion bagus atau $R \geq 0,5$ dan stabil, sehingga memperoleh hasil yang optimum.

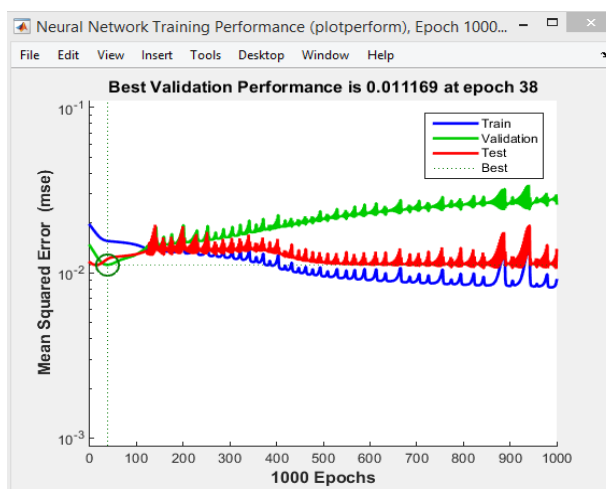
Pada penelitian ini, hasil optimum pada parameter sebagai berikut:

- *Network Type* : *feed-forward backup*,
- *Input data* : *input*,
- *Target data* : *target*,
- *Training Function* : TRAINGDA,
- *Adaption Function* : LEARNGDM,
- *Performance Function* : MSE,
- *Number Of Layers* : 4,
- *Number of Neuron* : 10-1-1-1,
- *Transfer Function* : LOGSIG - LOGSIG - LOGSIG - PURELIN

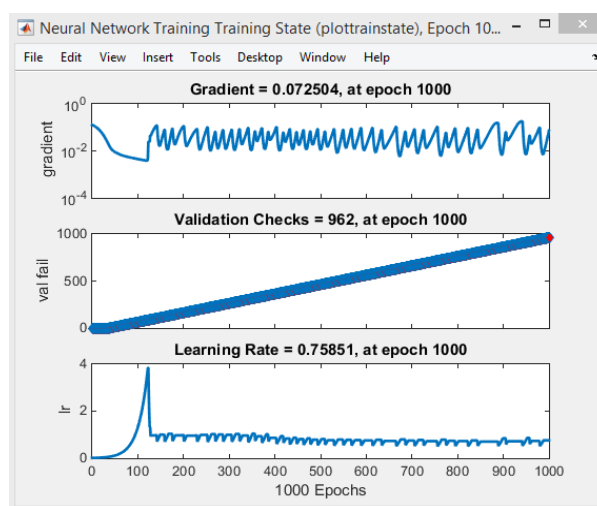
Perhitungan kalibrasi pada hasil *output* untuk mengetahui seberapa besar perbedaan atau selisish antara debit pengamatan dan debit model JST. Tahap Kalibrasi ini didapat nilai

terbaik pada pembagian data 6 Tahun Kalibrasi menggunakan epoch 2000

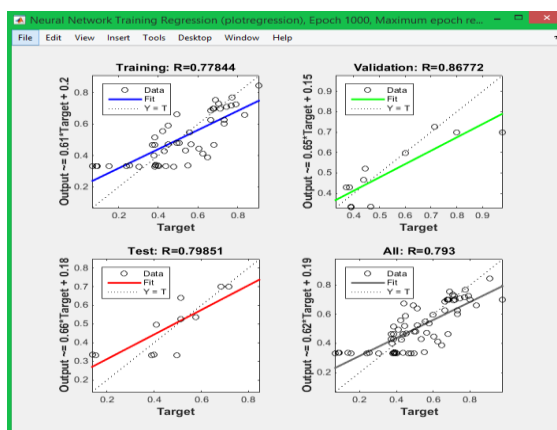
dengan nilai NSE 0,711 dan nilai R sebesar 0,844.



Gambar 7. Optimum Performance Training



Gambar 8. Optimum Training State



Gambar 9. Optimum Training Regression

Tabel 7. Uji Kalibrasi

Data 6 Tahun				
<i>Epoch</i>	KR	RMSE	NSE	R
1000	0,296	7,497	0,628	0,793
2000	0,225	6,608	0,711	0,844
3000	0,250	7,121	0,665	0,665
Data 7 Tahun				
<i>Epoch</i>	KR	RMSE	NSE	R
1000	0,261	7,056	0,652	0,868
2000	0,213	6,930	0,664	0,865
3000	0,284	7,310	0,626	0,891
Data 8 Tahun				
<i>Epoch</i>	KR	RMSE	NSE	R
1000	0,297	8,133	0,613	0,822
2000	0,280	7,558	0,666	0,857
3000	0,389	8,731	0,554	0,866
Data 9 Tahun				
<i>Epoch</i>	KR	RMSE	NSE	R
1000	0,323	8,335	0,573	0,829
2000	0,286	8,123	0,594	0,818
3000	0,389	8,731	0,554	0,867
Data 10 Tahun				
<i>Epoch</i>	KR	RMSE	NSE	R
1000	0,534	8,253	0,673	0,847
2000	0,601	8,638	0,642	0,827
3000	0,412	7,996	0,693	0,853
Data 11 Tahun				
<i>Epoch</i>	KR	RMSE	NSE	R
1000	0,348	8,340	0,656	0,755
2000	0,401	8,060	0,678	0,762
3000	0,551	8,427	0,648	0,738

Verifikasi dan validasi merupakan proses evaluasi untuk menguji keakuratan terhadap model proses untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat ketidakpastian yang dimiliki oleh suatu model. Proses ini dilakukan dengan menggunakan data di luar periode data (tahun sisa) yang digunakan dalam kalibrasi. Pada proses verifikasi melihat grafik korelasi debit pengamatan dan debit model. Dapat dilihat pada Gambar 10. Hasil validasi dapat dilihat pada Tabel 8.

Hasil Kalibrasi debit pemodelan menggunakan JST dapat disimpulkan bahwa nilai terbaik pada pembagian data 6 Tahun (2006-2011) menggunakan epoch 2000

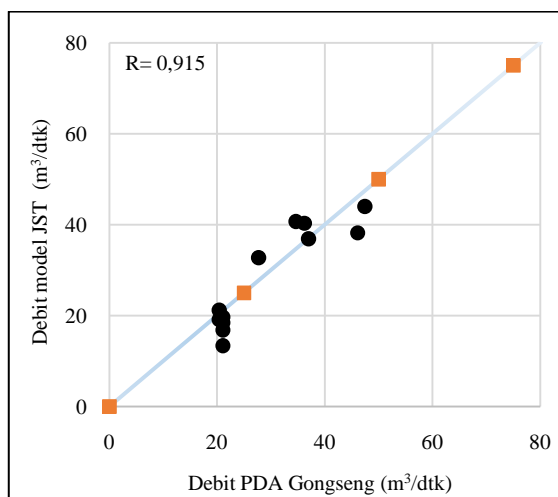
menghasilkan nilai NSE sebesar 0,711 dan nilai R sebesar 0,844. Selain itu dari semua percobaan pembagian data dari 6 tahun hingga 11 tahun Kalibrasi mendapatkan hasil yang baik karena telah memenuhi kriteria masing-masing uji dalam kalibrasi yaitu yang ditunjukkan dengan semua parameter uji dengan nilai yang hampir sama.

Hasil terbaik tahap Verifikasi adalah pada pembagian data 1 tahun (2017) dengan *epoch* 1000 menunjukkan hasil korelasi antara debit PDA Gongseng (debit pengamatan) dan debit model JST yang mempunyai nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,915. Begitu pula tahap Validasi hasil terbaik debit

pemodelan JST (pembagian data 1 tahun (2017) *epoch* 1000) mempunyai nilai NSE sebesar 0,794 “Baik” dan nilai R sebesar 0,915 “Sangat Kuat”.

Pada umumnya semakin banyak data yang digunakan dalam tahap validasi akan menghasilkan hasil data model yang lebih baik, namun pada penelitian ini tidak. Dikarenakan dapat dilihat dari faktor *range* data penelitian yang sangat terpaut jauh, dapat mempengaruhi hasil data model serta nilai eror. Selain itu pengukuran tinggi muka air debit pengamatan masih

menggunakan pengukuran yang sangat sederhana yaitu dengan papan bar, dengan kondisi di lapangan yaitu garis cat telah sedikit hilang, menjadikan data kurang akurat dalam pembacaan, sehingga mungkin terjadi kesalahan saat membaca dan mencatat tinggi muka air. Sehingga perlu lebih teliti dan selalu mengecek lokasi papan duga air. Selain itu perlu dilakukan coba-coba yang lebih banyak dengan merubah parameter sehingga dapat memperoleh hasil yang baik.



Gambar 10. Hubungan Debit Pos Duga Air dan Debit Model 9 Tahun Validasi *Epoch* 1000

Tabel 8. Uji Validasi Berdasarkan parameter NSE dan R

Data 6 Tahun				
<i>Epoch</i>	NSE	Interpretasi	R	Tingkat Hubungan
1000	0,353	Tidak Memenuhi	0,354	Rendah
2000	0,101	Tidak Memenuhi	0,416	Sedang
3000	0,293	Tidak Memenuhi	0,292	Rendah
Data 5 Tahun				
<i>Epoch</i>	NSE	Interpretasi	R	Tingkat Hubungan
1000	0,334	Tidak Memenuhi	0,693	Kuat
2000	0,394	Memenuhi	0,693	Kuat
3000	0,309	Tidak Memenuhi	0,666	Kuat
Data 4 Tahun				
<i>Epoch</i>	NSE	Interpretasi	R	Tingkat Hubungan
1000	0,461	Memenuhi	0,736	Kuat

2000	0,497	Memenuhi	0,742	Kuat
3000	0,300	Tidak Memenuhi	0,723	Kuat
Data 3 Tahun				
Epoch	NSE	Interpretasi	R	Tingkat Hubungan
1000	-0,867	Tidak Memenuhi	0,482	Sedang
2000	-1,195	Tidak Memenuhi	0,480	Sedang
3000	0,139	Tidak Memenuhi	0,516	Sedang
Data 2 Tahun				
Epoch	NSE	Interpretasi	R	Tingkat Hubungan
1000	0,130	Tidak Memenuhi	0,516	Kuat
2000	0,276	Tidak Memenuhi	0,683	Kuat
3000	0,320	Tidak Memenuhi	0,654	Kuat
Data 1 Tahun				
Epoch	NSE	Interpretasi	R	Tingkat Hubungan
1000	0,794	Baik	0,915	Sangat Kuat
2000	0,604	Memenuhi	0,830	Sangat Kuat
3000	0,659	Memenuhi	0,858	Sangat Kuat

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa hasil terbaik tahap Kalibrasi pada pembagian data 6 Tahun (2006-2011) menggunakan epoch 2000. Hasil terbaik tahap Verifikasi adalah pada pembagian data 1 tahun (2017) dengan epoch 1000. Sedangkan hasil terbaik tahap Validasi adalah pada pembagian data 1 tahun (2017) epoch 1000.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardana, Putu D.H., 2013, "Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Networks) Dalam Kondisi Curah Hujan Limpasan Dengan Perbandingan Dua Algoritma Pelatihan (Studi Kasus: DAS Tukad Jogading)", *Jurnal Konferensi Nasional Teknik Sipil*, Vol. 2: A 107- A 114
- Asdak, Chay, 2007, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Yogyakarta, Gadjah Mada University Press
- Hadihardaja, I.K., Sutikno, S., 2005, *Pemodelan Curah Hujan-Limpasan Menggunakan Artificial Neural Network (ANN) dengan Metode Back Propagation*, *Jurnal Teknik Sipil ITP*, Vol 22 No. 4: 249-258
- Hasim, Agus, 2008, *Prakiraan Beban Listrik Kota Pontianak Dengan Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Network)*, Tesis, Bogor, Institut Pertanian Bogor
- Riad, S., Mania, J., Bouchaou, L., Najjar, Y., 2003, *Rainfall-Runoff Model Using an Artificial Neural Network Approach*. *Mathematical and Computer Modelling*. 40: 839-846
- Soewarno, 2015, *Analisis Data Hidrologi Menggunakan Metode Statistika dan Stokastik Seri Hidrologi*, Yogyakarta, Graha Ilmu

Widyastuti, Siska, Suhartanto, Ery, dan Dermawan, Very, 2016, Analisa Hujan Limpasan Menggunakan Model Artificial Neural Network (ANN) di Sub DAS Lesti, *Jurnal Teknik Pengairan Universitas Brawijaya*

Wahyuni, Sri, 2014, Perbandingan Metode MOCK dan Nreca untuk Pegalihragaman Hujan Ke Aliran, *Jurnal Rekayasa*, Vol 13 No. 2: 602-624