



Terbit online pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Pengembangan Model Rasionalisasi Stasiun Hujan menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan dan Kerapatan WMO (*World Meteorological Organization*) Pada DAS Ciliwung

Nadia K. Alam ^a, Dina P. A. Hidayat ^b

^{a,b} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11450, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 22 September 2023

Revisi Akhir: 09 November 2023

Diterbitkan Online: 29 Desember 2023

KATA KUNCI

Ciliwung, Hujan Kawasan,

Metode Jaringan Syaraf Tiruan,

Rasionalisasi Pos Hujan,

Standar WMO

KORESPONDENSI

Telepon:

E-mail^a : nadiakarya10@gmail.com

E-mail^b : dina.hidayat@trisakti.ac.id

ABSTRACT

The accuracy of hydrological data is crucial for water resource planning. The Ciliwung watershed in Indonesia faces a challenge as the rainfall monitoring stations are too close to each other, resulting in the need for a review of the quality and quantity of data. One method to address this issue is the use of the Artificial Neural Network Method to rationalize the rain post network based on the needs of the watershed. The Ciliwung watershed with an area of 370,8 km² and a main river length of 124,1 km is influenced by 9 rain stations that are scattered, for the upstream and midstream there are 5 rain stations that will be used as case studies. The results of the assessment were analyzed using the WMO standard, for the upstream and midstream parts of the downstream including tropical mountainous areas with an area of influence of 100-250 km² where 12 combinations of rain stations were found that met the standard. The modeling results using JST also demonstrate relatively small error values of less than 10%. In modeling with 5 years of data is 3.298% in the combination of loss of Sta. Gunung Mas Plantation. For 2 years of data is 5,868% in the combination of the loss of Sta. Gadog and Cibinong. The need for relocation at one of the stations, Sta. Gunung Mas Plantation, is highlighted based on the analysis of 5 years and 2 years of data. One of the factors because in the upper part of the Ciliwung watershed the distance between stations is too close, causing less ideal distribution of rain stations.

1. PENDAHULUAN

Data hidrologi sangat diperlukan sebagai sarana dalam melakukan perhitungan informasi hidrologi yang siap pakai guna pengembangan, pengelolaan, dan penelitian dalam sumber daya air. Data dasar dan informasi hidrologi yang akurat berasal dari jaringan pos hidrologi yang akurat. Pengambilan data hidrologi harus akurat sesuai dengan DAS (Daerah Aliran Sungai) dan jumlah keperluan pos hujan harus ikut serta dalam perhitungan perencanaan dan upaya pengelolaan sumber daya air, agar efektif dan efisien (Eka Susi Sulistyowati, 2018).

Permasalahan DAS Ciliwung saat ini adalah kondisi pos hidrologi yang cukup banyak dari segi kelengkapan data, namun dari segi data tersebut data yang dihasilkan tidak

merata. Sehingga perlu dilakukan peninjauan kembali untuk kualitas dan kuantitas jaringan pos hidrologi yang dibutuhkan oleh DAS Ciliwung. DAS Ciliwung meliputi areal 370,8 km² dengan panjang sungai utamanya 124,1 km (Ruhendi, 2012).

Pemeriksaan jumlah pos hujan dan permodelan hujan kawasan dapat diperoleh dari data hujan. Dari hasil data tersebut bisa dianalisa jumlah pos yang sudah ada dan lokasi dari pos-pos tersebut sudah dapat berfungsi

sebagai pemantau karakteristik hidrologi (Wahyuni & Syartinilia, 2015). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang pos hujan agar sesuai dengan kebutuhan dari DAS Ciliwung ini sendiri. Maka dari itu perlunya perancangan berupa hasil pos yang sesuai kebutuhan dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) yang akan dibandingkan dengan Standar WMO. Hal ini untuk menentukan data persentase error dengan kehilangan stasiun apakah memenuhi nilai kerapatan dari Standar WMO atau tidak.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Rasionalisasi Pos Hujan

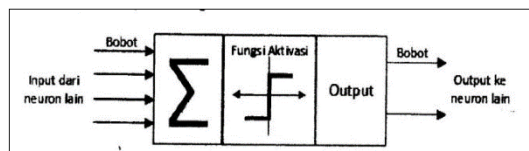
Untuk analisa banjir diperlukan data debit dan data hujan, sebagai penentuan banjir rencana, pada analisa ketersediaan air sungai dan lain-lain. Sehingga dibutuhkan jaringan pos hujan yang tersebar merata dan jumlah dari pos hujan yang mencukupi. Dalam menentukan fungsi pos hujan untuk rasionalisasi dapat menggunakan beberapa metode diantaranya Metode Kagan-Rodda, Metode Kriging, Stepwise, dan JST (Jaringan Syaraf Tiruan).

2.2. Metode Jaringan Syaraf Tiruan

Mengadopsi mekanisme berpikir sistem yang menyerupai otak manusia. Metode ini memodelkan jaringan syaraf otak dalam bentuk aplikasi sehingga memudahkan manusia untuk menyelesaikan pekerjaannya karena JST ini berbasis kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang mampu belajar lewat data-data.

Struktur JST secara mendasar, yang dalam kenyataannya tidak sederhana seperti itu, diantaranya (Aji et al., 2018).

1. Input, berfungsi seperti dendrit
2. Output, berfungsi seperti akson
3. Fungsi Aktivasi, seperti sinapsi



Gambar 1. Struktur JST

2.3. Standar WMO

Standar WMO (World Meteorological Organization) memberikan pedoman kerapatan minimum sebagai berikut (Linsley et al., 1986) :

1. Daerah datar pada zona beriklim sedang, tropis dan mediteranian, sebesar 100 km² – 900 km² untuk setiap pos hujan.
2. Daerah pegunungan pada zona beriklim sedang, tropis dan mediteranian, sebesar 100 km² – 250 km² untuk setiap pos hujan.
3. Daerah pulau-pulau yang mempunyai pegunungan kecil dan hujan yang tak beraturan, sebesar 25 km² untuk setiap pos hujan.
4. Zona-zona kering dan kutub, sebesar 1.500 km² – 10.000 km² untuk setiap pos hujan.

Tabel 1. Tabel Perbandingan Metode Rasionalisasi

Metode Rasionalisasi	Kekurangan	Kelebihan	Korelasi dengan Data Pos Hujan
Kagan-Rodda	Metode ini banyak menyebabkan hubungan antar stasiun relatif lemah atau distribusi hujan dan frekuensi kejadian hujan tidak merata.	Penyebaran stasiun hujan dengan metode ini bersifat kualitatif dengan memanfaatkan korelasi hujan.	Analisis penentuan jumlah stasiun hujan dapat digunakan dalam perhitungan kerapatan curah hujan. [4]
Kriging	Hasil metode ini sebagai parameter, terlebih pembandingan dengan metode lain untuk menentukan hasil yang lebih sesuai dengan kebutuhan pos hujan.	Dapat menentukan perletakan dan jumlah suatu stasiun hujan yang ideal. Relatif nilai kesalahan berdasarkan perhitungan debit rancangan juga relevan kecil $\leq 10\%$.	Penentuan jumlah stasiun hujan dapat dilakukan dengan permodelan dan perlu adanya sampel data berupa variabel primer dan sekunder. [8]
Stepwise	Dapat menentukan kerapatan untuk mempengaruhi tingkat kesalahan rerata data rasionalisasi	Metode ini berdasarkan karakteristik geografi yang signifikan Karena berupa statistik untuk korelasi pos hujan	Dapat menentukan rekomendasi & kombinasi pos hujan dengan koefisien variabel bebas. [3]
JST (Jaringan Syaraf Tiruan)	Belum banyak yang menggunakan metode JST untuk kasus rasionalisasi. Jika dibandingkan dengan metode rasionalisasi yang lainnya.	Dapat dikorelasikan dengan mudah karena memiliki nilai variabel, yang dapat digunakan berupa <i>input</i> , <i>output</i> , dan fungsi aktivasi untuk nilai variabelnya	Dapat menentukan efektivitas & rekomendasi lokasi dari hasil rancangan, dengan variabel X, Y, Z sebagai bahan evaluasi pola penyebaran pos hujan. [2,14]

(Hasil Analisis, 2023)

Dari Tabel Perbandingan diatas menghasilkan metode yang tepat untuk yaitu Jaringan Syaraf Tiruan (JST) sebagai metode permodelan rasionalisasi pos hujan di DAS Ciliwung. Dari hasil JST akan didapatkan persentase error dilanjutkan penyamarataan dengan Standar WMO untuk mengetahui apakah persentase itu memenuhi atau

tidak memenuhi syarat kerapatan dari WMO itu sendiri.

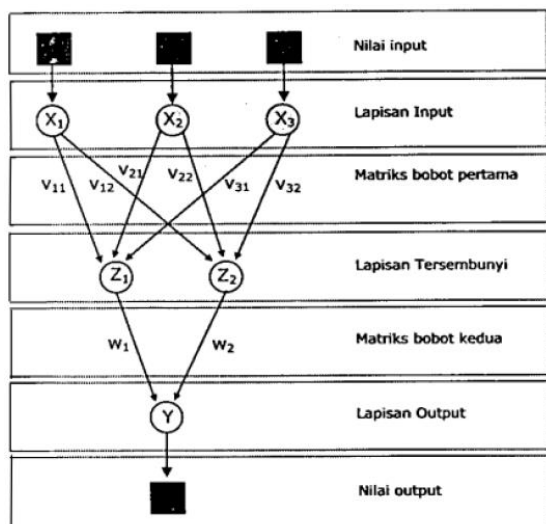
2.4. Arsitektur Jaringan JST

Pada Jaringan Syaraf Tiruan (JST), neuron-neuron dikelompokkan ke dalam lapisan-lapisan yang disebut lapisan neuron. Dari lapisan-lapisan itu menghasilkan beberapa lapisan penyusun JST, diantaranya :

Tabel 2. Fungsi Lapisan Penyusun JST

No.	Lapisan Penyusun	Fungsi
1	Lapisan input (input layer)	Unit-unit dalam lapisan input disebut unit-unit input yang bertugas menerima pola masukan dari luar yang menggambarkan suatu permasalahan.
2	Lapisan tersembunyi (hidden layer)	Unit-unit dalam lapisan tersembunyi disebut unit-unit tersembunyi, yang mana nilai keluarannya tidak dapat diamati secara langsung.
3	Lapisan output (output layer)	Unit-unit dalam lapisan output disebut unit-unit output, yang merupakan solusi JST terhadap suatu permasalahan.

(Sutojo et al., 2011:59)

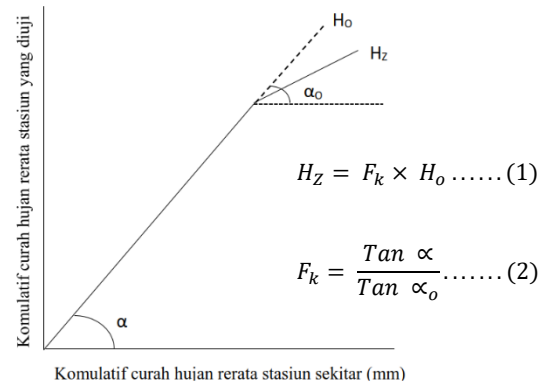


Gambar 2. Jaringan dengan Lapisan Banyak
(Kusumadewi, 2003:213)

2.5. Uji Konsistensi (double mass curve)

Uji konsistensi dapat dilakukan dengan lengkung massa ganda (double mass curve) untuk jaringan dengan jumlah stasiun hujan ≥ 3 (tiga). Uji ini bertujuan untuk mengetahui letak data yang tidak

konsisten, yang ditunjukkan oleh penyimpangan garisnya terhadap garis yang lurus. Apabila terjadi penyimpangan, maka koreksi data hujan dari stasiun yang diuji harus dilakukan sesuai dengan kemiringan garisnya. Ilustrasi metode lengkung massa ganda dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3 Analisa Double Mass Curve
(Sri Harto Br., 1993 :219)

dengan :

- H_z = data hujan yang perlu diperbaiki
- H_o = data hujan hasil pengamatan
- F_k = faktor koreksi
- $\tan \alpha$ = kemiringan garis sebelum ada perubahan
- $\tan \alpha_o$ = kemiringan garis setelah ada perubahan

2.6. Polygon Thiessen

Metode perhitungan curah hujan Kawasan dengan cara polygon thiessen ini untuk memperhitungkan bobot dari masing - masing stasiun yang mewakili luasan sekitarnya berdasarkan rata-rata timbangan. Digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata (Agustin, 2010).

$$d = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \dots\dots(3)$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A_i} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A}$$

Jika $\frac{A_i}{A} = p_i$ adalah persentase luas pada pos hujan yang jumlahnya untuk seluruh luas adalah 100%, maka

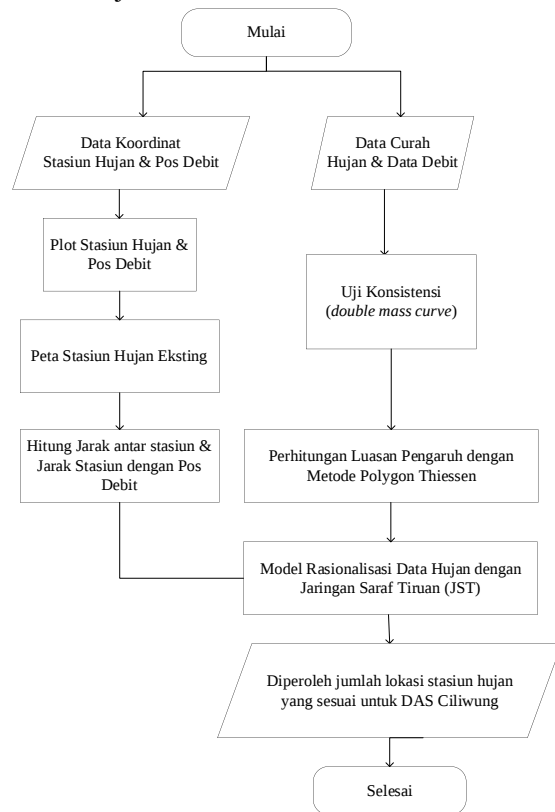
$$d = \sum_{i=1}^n p_i d_i \dots(4)$$

dengan :

- A = luas areal
- d = tinggi curah hujan rata-rata areal
- $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = tinggi curah hujan di pos 1, 2, 3, .. n
- $\sum_{i=1}^n p_i$ = jumlah persentase luas = 100%

3. METODOLOGI

Secara garis besar penelitian ini terdiri dari beberapa pokok kegiatan, diantaranya pengumpulan dan pengolahan data stasiun hujan, metode yang digunakan untuk rasionalisasi, variable-variabel penentu dalam penggunaan metode JST, dan hasil stasiun hujan dari metode tersebut.



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

Dari gambar diatas batas penelitian ini terdapat 9 (sembilan) stasiun hujan yang tersebar pada DAS Ciliwung, diantaranya : 1).Perkebunan Gn. Mas; 2).Cilember; 3).Gadog; 4).Cibinong; 5).Kp. Kelapa; 6).Kampus UI; 7).Depok; 8). Kemensos; 9). PA Manggarai. Data yang digunakan pada penelitian ini hanya 5 Stasiun hujan yaitu :

Tabel 2. Nama Kode Stasiun Hujan

Stasiun	Nama Stasiun	Kode
x1	Sta. Perkebunan Gunung Mas	PKM
x2	Sta. Cilember	CLB
x3	Sta. Gadog	GDG
x4	Sta. Cibinong	CBG
x5	Sta. Teknik UI	TUI

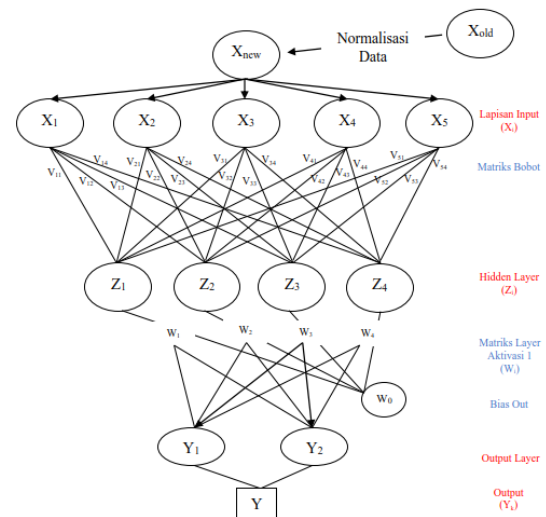
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data perhitungan input, bobot, dan ouput terlampir, data input dan output kemudian di solver variable dan w_0 (*bias out*) tersebut berdasarkan nilai yang sudah dilakukan normalisasi data. Gambar 5.

menjelaskan tahapan permodelan JST dengan data yang digunakan yaitu curah hujan tahunan. Selanjutnya hasil normalisasi data masuk ke *hidden layer* sesuai jaringan syaraf tiruan berupa *backpropagation* angka tersebut di *solver* dengan fungsi aktivasi sebagai berikut :

$$\text{aktivasi} = \frac{1}{(1 + \exp(-\text{bias out}))} \dots \dots (3)$$

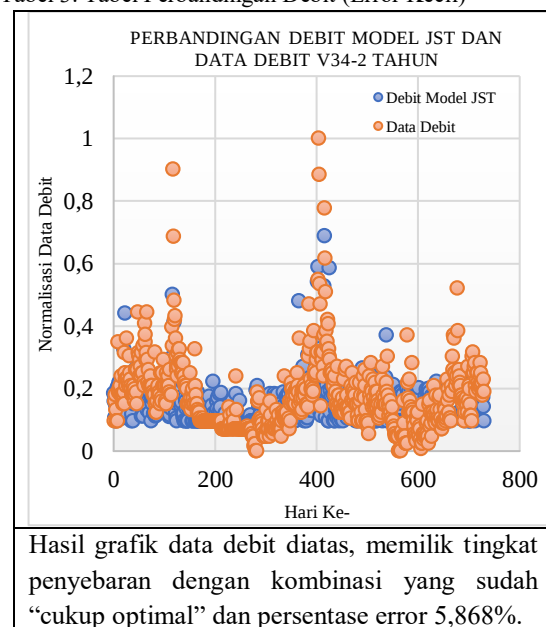
$$\text{target} = \text{abs}(y_1 - y_2) \dots \dots (4)$$

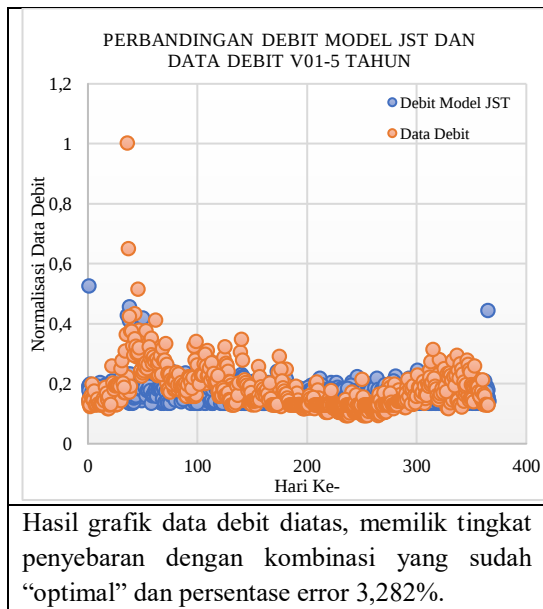


Gambar 5. Backpropagation Model

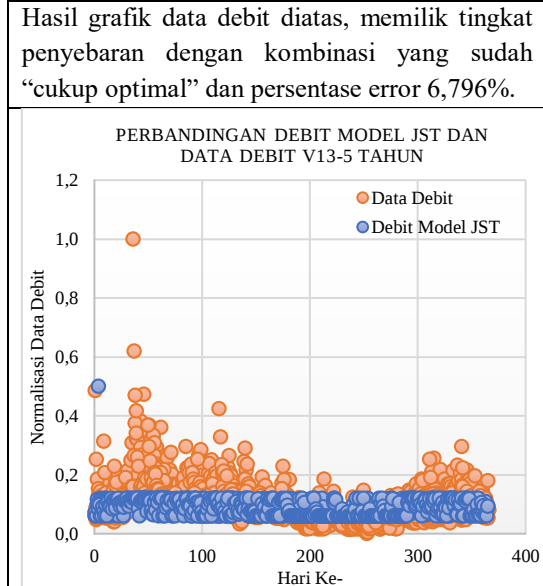
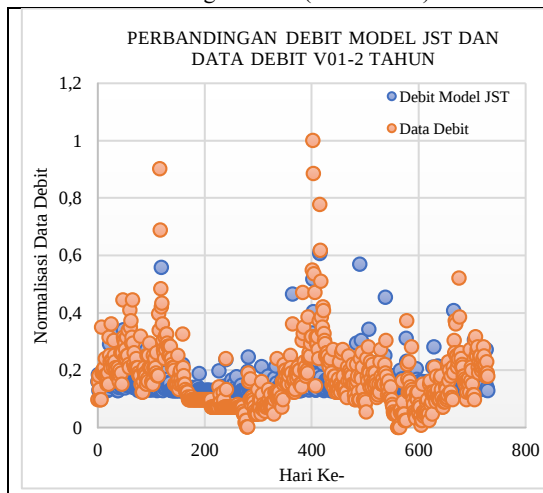
Dari hasil perbandingan dibawah ini dapat dikategorikan optimal tidaknya apabila, 6-10% “Cukup Optimal”; 3-5% “Optimal”; 0-3% “Sangat Optimal”.

Tabel 3. Tabel Perbandingan Debit (Error Kecil)





Tabel 4. Perbandingan Debit (Error Besar)



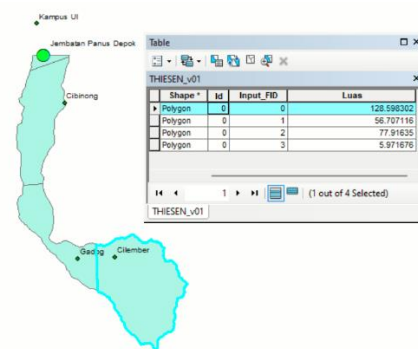
Tabel 5. Perbandingan Nilai Error Data 2 & 5 Tahun

Variabel	Data 2 Tahun		Data 5 Tahun	
	Total Error	Persentase Error	Total Error	Persentase Error
Hilang 1 Stasiun		%		%
01 (PKM)	49,610	6,796	60,218	3,282
02 (CLB)	44,108	6,042	61,883	3,389
03 (GDG)	44,291	6,067	63,571	3,481
04 (CBG)	42,941	5,882	63,651	3,486
05 (TUI)	44,048	6,034	64,184	3,515
Hilang 2 Stasiun		%		%
12 (PKM-CLB)	47,073	6,448	67,076	3,673
13 (PKM-GDG)	47,089	6,451	68,367	3,764
14 (PKM-CBG)	45,989	6,300	66,415	3,637
15 (PKM-TUI)	46,383	6,354	66,109	3,620
23 (CLB-GDG)	44,045	6,034	63,738	3,491
24 (CLB-CBG)	44,139	6,046	64,827	3,550
25 (CLB-TUI)	45,144	6,184	67,118	3,676
34 (GDG-CBG)	42,838	5,868	64,701	3,543
35 (GDG-TUI)	43,966	6,023	66,480	3,641
45 (CBG-TUI)	44,290	6,067	66,870	3,662

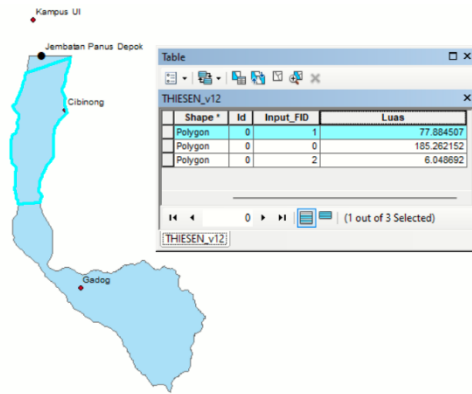
Dari hasil perhitungan JST Tabel 3 mengenai nilai *error* terkecil di data 2 tahun yaitu 5,868% hilangnya Sta. Gadog dan Cibinong dengan hasil cukup optimal. Untuk data 5 tahun yaitu 3,282% hilangnya pada Sta. Perkebunan Gunung Mas dengan hasil yang optimal.

Begitu juga hasil perhitungan JST Tabel 4 dengan nilai *error* terbesar di data 2 tahun yaitu 6,796% hilangnya Sta. Perkebunan Gunung Mas dan Gadog hasil yang cukup optimal. Untuk data 5 tahun yaitu 3,764% pada Sta. Perkebunan Gunung Mas dengan hasil yang optimal.

Tabel 5 adalah nilai *error* dari keseluruhan hasil permodelan JST menggunakan 1 *hidden layer* sebagai matriks dari bobot berupa data curah hujan 2 tahun dan 5 tahun.



Gambar 6. Polygon Thiessen V01



Gambar 7. Polygon Thiessen V12

Polygon Thiessen pada Gambar 6 merupakan luas daerah terkecil dari kombinasi V01 pada lokasi Stasiun di Teknik UI = 5,9717 km² dari keseluruhan kombinasi yang di lakukan pada aplikasi ArcMap 10.8. Untuk Gambar 7 merupakan daerah terbesar dari kombinasi V12 pada lokasi Stasiun di Gadog = 185,2622 km² dari keseluruhan kombinasi yang di lakukan pada aplikasi ArcMap 10.8.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Uji konsistensi data dengan *Double Mass Curve* menghasilkan ke 5 data tersebut pangkah. Nilai terbesar 0,9983 pada Sta. CBG dan nilai terkecil 0,9665 pada Sta. CLB, maka rata-rata hasil R^2 pada keseluruhan stasiun yaitu 0,99004.
2. Hasil permodelan jaringan syaraf tiruan perhitungan nilai error terkecil di data 2 tahun yaitu 5,868% hilangnya Sta. Gadog dan Cibinong. Untuk data 5 tahun yaitu 3,298% hilangnya pada Sta. Perkebunan Gunung Mas. Begitu juga dengan nilai error terbesar di data 2 tahun yaitu 3,764% hilangnya Sta. Perkebunan Gunung Mas dan Gadog. Untuk data 5 tahun yaitu 6,796% pada Sta. Perkebunan Gunung Mas. Batasan 5 stasiun 3,360% hasil "optimal".
3. Hasil penyebaran menggunakan *Polygon Thiessen* berupa luas pengaruh dari tiap stasiun ditemukan 12 kombinasi stasiun hujan yang sesuai dengan Standar WMO untuk jaringan stasiun hujan 100 – 250 km². Luas pengaruh Gadog 185,2622 km² pada kombinasi hilangnya Sta-12 atau Perkebunan Gn. Mas-Cilember. Sisa 38 kombinasi lainnya lebih rapat dari Syarat WMO dan tidak ada kerapatan yang kurang dari Syarat WMO.

4. Dari hasil permodelan JST dan penyebaran polygon thiessen dengan syarat WMO, ditemukan keselarasan berdasarkan kombinasi error dengan luas pengaruh penyebaran metode thiessen. Untuk kombinasi hilangnya 1 stasiun terdapat luas daerah paling kecil yaitu 5,9717 km² dan tingkat error pada 5 tahun dengan hasil optimal pada angka 3,298%.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, perlu adanya relokasi untuk Sta-1 atau Perkebunan Gunung Mas, dikarenakan jarak antar lokasi Sta-1 ke 2 : 8,52 km dan Sta-2 ke 3 : 5,1 km. Juga berdasarkan hasil JST dan Polygon Thiessen tingkat error dan lokasi luas terkecil berada pada hilangnya Stasiun 1 yaitu Perkebunan Gunung Mas. Jarak yang < 10 km dengan posisi stasiun hujan di hulu dapat menyebabkan kurang idealnya penyebaran stasiun hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agustin, W. (2010). *Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman di Sub DAS Keduang*. perpustakaan.uns.ac.id
- [2] Aji, Y. M., Dermawan, V., & Harisuseno, D. (2018). *Analisa Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan di SUB DAS Kadalpang Kabupaten Pasuruan Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan dan Hubungannya Terhadap Aspek Topografi*.
- [3] Astuti, I. W., Suhartanto, E., & Fidari, J. S. (2022). Rasionalisasi Jaringan Pos Hujan dan Pos Duga Air dengan Metode Stepwise dan Standar WMO (World Metrological Organization di DAS Opak. *Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2 No. 1, 377–385.
- [4] Azhari, Z. A., Limantara, L. M., & Fidari, J. S. (2022). Studi Rasionalisasi Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan dengan Metode Kagan-Rodda di Sub DAS Bango. *Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2 No. 2, 234–245.
- [5] Eka Susi Sulistyowati. (2018). *Dinamika Hidrosfer* (E. S. Sulistyowati, Ed.). PT. SAKA MITRA KOMPETENSI.
- [6] Kusumadewi, S. (2003). *Artificial Intelligence : Teknik dan Aplikasinya* (1st ed.). Graha Ilmu.
- [7] Linsley, R. K., J., Yandi Hermawan, Paulhes, J. L. H., & Kohler, M. A. (1986). *Hidrologi untuk Insinyur /Ray K. Linsley Jr., Max A. Kohler, Joseph LH. Paulhes; alih bahasa, Yandi Herman*. Erlangga.
- [8] Nugraha, A. P., Granitio Irwan, A., & Nugraha, L. (2020). Perbandingan Geostatistik Metode Kriging Dan Co-Kriging Menggunakan Estimasi Point Kriging. 177–181.

- [9] Ranesa, L. S. C., Limantara, L. M., & Harisuseno, D. (2015). Analisis Rasionalisasi Jaringan Pos Hujan Untuk Kalibrasi Hidrograf Pada DAS Babak Kabupaten Lombok Tengah.
- [10] Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (1977). Hidrologi untuk Pengairan. Pradya Paramita.
- [11] Ruhendi, H. (2012, April). *ANALISA BANJIR JAKARTA TAHUN 2012-2013*. Konservasidasciliwung.Wordpress.Com.
- [12] Sri Harto Br. (1993). *Analisis Hidrologi* (S. Harto, Ed.). Gramedia Pustaka Utama.
- [13] Sutojo, T., Mulyanto, E., & Suhartono, V. (2011). *Kecerdasan Buatan*. Andi Offset.
- [14] Fathoni, S., Dermawan, V., & Suhartanto, E. (2016). Analisis Efektivitas Kerapatan Jaringan Pos Stasiun Hujan di DAS Kedungsoko dengan menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (Artificial Neural Network). *Teknik Pengairan*, 7, 129–138.
- [15] Wahyuni, S., & Syartinilia. (n.d.). *Studi Nilai dan Distribusi Biodiversitas di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung Hulu*. 1(2).