

RASIONALISASI JARINGAN STASIUN CURAH HUJAN PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI TUKAD MATI

Putu Doddy Heka Ardana^{1,*}, I Gusti Made Sudika¹, I Wayan Angga Hadinata¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ngurah Rai, Bali, Indonesia

*Corresponding authors: doddyhekaardana@unr.ac.id

Submitted: 26 December 2022, Revised: 26 January 2023, Accepted: 3 March 2023

ABSTRACT: The hydrological component is the main component in planning water infrastructure. The quality and quantity of rainfall data recorded at each rain post is the most crucial component in hydrological analysis, so it is necessary to analyze the rationalization of the rain station network to obtain an effective and efficient one. This research was conducted in the Tukad Mati Watershed, which has an area of 44,667 km², with the length of the main river reaching 22,429 km, and there are six rain stations spread across the watershed. Rationalization analysis was carried out using two methods, namely the WMO (World Meteorological Organization) and Kagan-Rodda methods. The analysis using the WMO standard found that all rain stations were less than the minimum density. Meanwhile, from the results of the analysis using the Kagan-Rodda method with a smoothing error (Z1) of 9.069% and an interpolation error (Z3) of 7.989%, it is recommended that four selected rain stations out of six rain stations, namely Ngurah rain station, Sanglah rain station, Sading rain station, and Kapal rain station.

KEYWORDS: density; hydrology; rainfall station network; rationalization; watershed.

ABSTRAK: Komponen hidrologi merupakan komponen utama dalam perencanaan infrastruktur keairan. Kualitas maupun kuantitas pencatatan data hujan pada setiap pos hujan menjadi komponen terpenting dalam analisis hidrologi, sehingga perlu dilakukan analisis rasionalisasi jaringan stasiun hujan dengan tujuan mendapatkan jaringan stasiun hujan efektif dan efisien. Penelitian ini dilakukan di DAS Tukad Mati yang memiliki luas wilayah 44.667 km² dengan panjang sungai utama mencapai 22.429 km serta terdapat 6 stasiun hujan yang tersebar di DAS tersebut. Analisis rasionalisasi dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode WMO (World Meteorological Organization) dan Kagan-Rodda. Dari hasil analisis menggunakan standar WMO didapati keseluruhan stasiun hujan kurang dari kerapatan minimum. Sedangkan dari hasil analisis menggunakan metode Kagan-Rodda dengan kesalahan perataan (Z1) 9.069% dan kesalahan interpolasi (Z3) 7.989% direkomendasikan 4 stasiun hujan terpilih dari 6 stasiun hujan yakni stasiun hujan Ngurah, stasiun hujan Sanglah, stasiun hujan Sading, dan stasiun hujan Kapal.

KATA KUNCI: kerapatan; hidrologi; jaringan stasiun hujan; rasionalisasi; daerah aliran sungai.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1 PENDAHULUAN

Analisis awal perencanaan bangunan air memerlukan suatu analisis awal yakni analisa hidrologi. Data curah hujan, data debit, dan data iklim menjadi data utama dalam analisis hidrologi (Prawati & Dermawan, 2018). Hidrologi juga mempelajari perilaku curah hujan, khususnya periode ulang curah hujan, untuk perhitungan banjir dan perencanaan setiap bangunan teknik sipil, termasuk bendung, pelimpah, dinding penahan banjir, parit, dan lain sebagainya. Analisis hidrologi sangat penting untuk desain bangunan hidraulik, yang bergantung pada data curah hujan. Namun, jumlah stasiun hujan dan pola distribusinya harus dipertimbangkan ketika menentukan volume hujan di suatu unit daerah aliran sungai (Harto BR., 1993). Untuk mendapat data curah yang akurat, diperlukan sebaran letak stasiun hujan yang merata dan mampu merepresentasikan curah

hujan dalam suatu daerah aliran sungai (Mulyono, 2014).

Jaringan stasiun curah hujan di suatu daerah dapat digunakan untuk menentukan jumlah data hidrologi, yang berupa jumlah pengukuran atau curah hujan. Seberapa baik stasiun hujan saat ini dapat melacak karakteristik hidrologi di daerah aliran sungai (DAS) dalam penentuan kualitas data curah hujan untuk analisis hidrologi. (Alfirman et al., 2019; Prawati & Dermawan, 2017). Kesalahan dalam pemantauan data hidrologi yang mendasar di daerah aliran sungai akan menghasilkan data yang tidak akurat, sehingga mengakibatkan perencanaan, penelitian, dan pengelolaan sumber daya air yang kurang efektif dan efisien. (Fathoni et al., 2016; Kurniawati et al., 2017). Oleh karena itu, sangat penting untuk menentukan berapa banyak stasiun hujan yang harus dipasang di daerah aliran sungai untuk mengamati karakteristik data hidrologi secara

tepat, efektif, dan efisien. Jumlah stasiun hujan dan pola distribusi di dalam daerah tangkapan air mempengaruhi ketepatan pengukuran data curah hujan. Penempatan stasiun hujan, jumlah stasiun hujan, dan pola distribusinya akan memungkinkan pengumpulan data yang tepat mengenai kedalaman, distribusi, dan intensitas curah hujan. Menurut Harto BR (1993), kerapatan stasiun hujan yang optimal menyiratkan jumlah yang cukup dan distribusi yang memadai di seluruh DAS, kerapatan tidak boleh terlalu tinggi, karena hal ini akan mengakibatkan biaya instalasi, operasi, dan pemeliharaan yang mahal, dan distribusi stasiun hujan secara memadai menggambarkan variabilitas spasial DAS yang diamati. Pada umumnya, area curah hujan yang terjadi lebih besar daripada area curah hujan yang diwakili oleh stasiun penakar hujan, atau sebaliknya; oleh karena itu, faktor ekonomi, topografi, dan lainnya harus diperhitungkan ketika menentukan kerapatan optimal stasiun hujan yang dapat memberikan data yang akurat untuk analisis lebih lanjut. Untuk tujuan ini, *World Meteorological Organization* (WMO) telah menyarankan kerapatan stasiun curah hujan minimum yang ada dalam suatu DAS (Linsey et al., 1986). Jika standar minimum kerapatan curah hujan yang telah ditentukan oleh WMO tidak dapat digunakan maka dapat melakukan rasionalisasi stasiun curah hujan dimana salah satunya dengan pendekatan Kagan-Rodda (Arifah et al., 2018; Mulya, 2014; Renaldhy et al., 2021; Rodhita et al., 2012).

Pembangunan jaringan stasiun hujan ditentukan dari jumlah stasiun yang diperlukan untuk suatu daerah aliran sungai dan lokasi serta pola distribusinya. (Arifah et al., 2018). Petunjuk yang bersifat kualitatif diberikan oleh Rodda, yaitu dengan memanfaatkan koefisien korelasi hujan (Harto BR., 1993). Metode ini memiliki keuntungan dalam memberikan pola yang jelas untuk penempatan dan distribusi stasiun hujan dan kemampuan untuk memastikan jumlah stasiun hujan dengan tingkat akurasi tertentu (PU Pengairan, 2014). Kagan melakukan penelitian di daerah tropis, di mana curah hujan terlokalisasi dengan area distribusi yang terbatas dan variasi spasial untuk curah hujan dengan periode ulang yang spesifik. Meskipun hasilnya menunjukkan beberapa korelasi, hasilnya sangat bervariasi.

Sungai Tukad Mati mengalir dari Kabupaten Badung hingga Kota Denpasar sepanjang 22.429 km dengan luas DAS 44.667 km² (Ardana et al., 2021; Arsana, 2019; Aryastana, 2016). Seiring dengan perkembangan Kabupaten Badung dan Kota Denpasar, Tukad Mati dimanfaatkan sebagai saluran drainase perkotaan dimana awalnya Tukad Mati hanya berfungsi sebagai saluran pembuangan air sawah. (Aryastana, 2016). Permasalahan utama di Tukad Mati sebagai sistem drainase perkotaan adalah kejadian banjir pada musim penghujan (Ardana et al., 2021; Arsana, 2019; Yekti et al., 2021). Penelitian dengan

menggunakan objek studi Tukad Mati telah banyak dilakukan seperti mengenai identifikasi titik banjir di area DAS Tukad Mati (Yekti et al., 2021), pengendalian banjir pada DAS Tukad Mati (Arsana, 2019; Ishomudin, 2017), kajian pemanfaatan sempadan pada DAS Tukad Mati (Aryastana, 2016), serta analisis debit banjir rancangan pada Tukad Mati (Ardana et al., 2021). Berdasarkan penelitian terdahulu, terdapat beberapa stasiun hujan yang dipergunakan dalam analisis hidrologi di DAS Tukad Mati di antaranya adalah Stasiun Hujan Sading, Stasiun Hujan Aseman, Stasiun Hujan Sumerta, Stasiun Hujan Sanglah, Stasiun Hujan Ngurah Rai, dan Stasiun Hujan Kapal. Berdasarkan pendekatan WMO, DAS Tukad Mati dengan luas 44.667 km² termasuk ke dalam kriteria daerah dataran tropis mediteran dan sedang dengan kerapatan minimum jaringan stasiun hujan sebesar 600-900 km²/stasiun hujan sehingga semestinya bisa diwakili oleh satu stasiun hujan namun faktanya terdapat enam stasiun hujan yang dipergunakan dalam analisis hidrologi oleh peneliti sebelumnya (Ardana et al., 2021; Arsana, 2019; Ishomudin, 2017; Yekti et al., 2021).

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, beragamnya stasiun curah hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi pada DAS Tukad Mati menyebabkan perlu dilakukannya evaluasi ataupun rasionalisasi stasiun hujan dengan menggunakan metode Kagan-Rodda sehingga nantinya akan menghasilkan stasiun hujan yang tepat sehingga proses analisis hidrologi dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

2 METODOLOGI

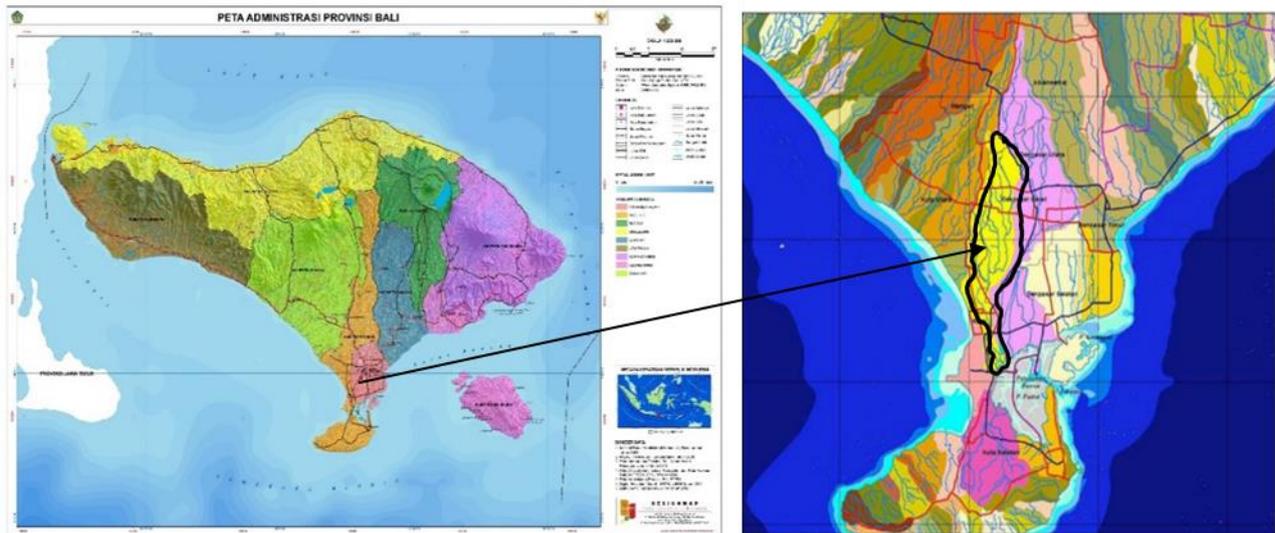
Pengumpulan data sekunder berupa data curah hujan 10 tahunan, peta sebaran dan data stasiun hujan, peta daerah aliran sungai dan wilayah sungai, serta peta batas administrasi kota dan kabupaten merupakan tahapan dari metodologi penelitian ini. Metode pengumpulan data primer adalah survei inventarisasi pos-pos penakar hujan. Kemudian dilakukan analisis hidrologi terhadap data hasil survei, dilanjutkan dengan studi kerapatan jaringan pos hujan untuk menentukan rekomendasi penempatan pos hujan yang efektif dan efisien.

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi di DAS Tukad Mati, dimana DAS ini merupakan daerah aliran sungai lintas kabupaten yakni bagian hulu berada di wilayah Kota Denpasar dan bagian hilir berada di wilayah Kabupaten Badung serta memiliki luas *catchment area* 44.667 km² dan panjang sungai utama 22.429 km. Data-data yang digunakan dalam studi ini di antaranya adalah data hujan bulanan, koordinat stasiun hujan, dan peta DAS Tukad Mati. Data hujan yang digunakan berasal dari stasiun hujan Kapal, stasiun

hujan Sanglah, stasiun hujan Ngurah Rai, stasiun hujan Aseman, stasiun hujan Sading, dan stasiun hujan

Sumerta. Peta DAS Tukad Mati dan lokasi stasiun hujan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gambar DAS Tukad Mati (Anonim, n.d.)

2.2 Data Penelitian

Penelitian mengenai rasionalisasi jaringan stasiun hujan pada DAS Tukad Mati ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait. Data yang diperlukan dalam proses analisis penelitian ini meliputi data:

1. Peta Daerah Aliran Sungai (DAS) Tukad Mati dari Balai Wilayah Sungai Bali-Penida.
2. Data stasiun hujan meliputi data lokasi administratif stasiun hujan dan koordinat stasiun hujan. Adapun data stasiun hujan didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah III di Tuban – Kabupaten Badung.
3. Data curah hujan maksimum bulanan pada DAS Tukad Mati selama 10 tahun dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2018 yang di dapatkan dari BMKG) Wilayah III di Tuban.

2.3 Analisis Data

Proses analisis data dalam penelitian ini dimulai dengan proses pengumpulan data, baik data peta, data lokasi stasiun hujan, dan data hujan. Selanjutnya dilakukan proses pengujian kualitas data hujan dengan menggunakan pendekatan *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS) untuk mengetahui kepenggahan data hujan tersebut. Setelah data hujan pangkah, selanjutnya melakukan proses analisis curah hujan rerata kawasan dengan mempergunakan metode Poligon Thiessen. Selanjutnya melakukan analisis kerapatan jaringan stasiun hujan berdasarkan standar WMO dengan tujuan untuk mendapatkan gambaran kerapatan stasiun curah hujan eksisting (ideal atau

tidak ideal). Kemudian melakukan analisis kerapatan jaringan staisun hujan dengan pendekatan Kaggan-Rodda dengan langkah-langkah berikut:

1. Menghitung nilai koefisien variasi dari perhitungan curah hujan rerata daerah.
2. Menghitung nilai koefisien korelasi antar pos hujan.
3. Menentukan jarak antar pos hujan dengan bantuan perangkat lunak AutoCad.
4. Menghubungkan koefisien korelasi dan jarak antar pos hujan pada grafik eksponensial.
5. Menentukan nilai $r_{(0)}$ dan $d_{(0)}$ dari grafik eksponensial.
6. Analisis kerapatan jaringan pos hujan metode Kagan-Rodda, dengan menghitung nilai kesalahan perataan (Z1) dan kesalahan interpolasi (Z3).
7. Berdasarkan nilai maksimal kesalahan perataan 5%, didapatkan nilai n sebagai jumlah stasiun hujan.
8. Rasionalisasi sebaran stasiun hujan dengan penggambaran segitiga Kagan-Rodda

2.4 Metode Poligon Thiessen

Poligon Thiessen adalah metode yang memberikan bobot pada setiap stasiun hujan yang dianggap mewakili curah hujan di suatu lokasi dan memberikan faktor koreksi untuk curah hujan di stasiun tersebut (Harto BR., 1993). Poligon Thiessen dihitung dengan persamaan 1.

$$R = \frac{A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + \dots + A_n \cdot R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (1)$$

dimana, R = curah hujan rerata kawasan, A_n = luas daerah Thiessen yang mewakili titik pos curah hujan, dan R_n = curah hujan di tiap titik pos curah hujan.

Tahapan analisis Poligon Thiessen sebagai berikut:

1. Penentuan posisi stasiun hujan pada area yang ditinjau.
2. Titik lokasi stasiun hujan tersebut dihubungkan dengan garis lurus, sehingga membentuk area poligon.
3. Setiap sisi poligon diberi bobot dan dihubungkan untuk membuat poligon yang lebih kecil yang mencakup setiap stasiun. Setiap stasiun mewakili area yang dibentuk oleh poligon, sedangkan garis batas menciptakan batas tertutup poligon untuk stasiun yang berada di dekat tepi.
4. Luas setiap poligon kemudian dikalikan dengan kedalaman curah hujan di poligon tersebut. Jumlah dari perhitungan ini dibagi dengan area yang ditinjau.

2.5 Kerapatan dan Penyebaran Jaringan Hujan Berdasarkan World Meteorological Organization (WMO)

Area curah hujan yang terjadi lebih besar daripada area curah hujan yang diwakili oleh stasiun penakar hujan, atau sebaliknya; oleh karena itu, dengan mempertimbangkan biaya, topografi, dan faktor lainnya, stasiun penakar hujan harus ditempatkan dengan kerapatan yang optimal yang dapat memberikan data yang akurat untuk analisis yang lebih mendalam (Imaaduddiin et al., 2022). Berdasarkan hal tersebut, disarankanlah kerapatan minimum jaringan stasiun hujan oleh Badan Meteorologi Dunia atau WMO (*World Meteorological Organization*) sebagaimana terlihat pada berdasarkan Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Kerapatan Minimum yang Direkomendasikan WMO

No	Tipe	Luas Daerah (km ²) per satu Pos Curah Hujan
		Kondisi Normal
1	Daerah dataran tropis, mediteran dan sedang	(600-900)
2	Daerah pegunungan tropis, mediteran dan sedang	(100-250)
3	Daerah kepulauan kecil bergunung dengan curah hujan bervariasi	(25)
4	Daerah arid dan kutub	(1.500-10.000)

Sumber: Linsey et al., 1986

2.6 Kerapatan dan Penyebaran Jaringan Hujan Berdasarkan Kagan-Rodda

Penentuan jumlah stasiun yang dibutuhkan dalam suatu luasan DAS, tempat, dan pola penyebarannya menjadi indikator dalam penetapan jaringan stasiun hujan (Arifah et al., 2018). Menurut Rodda (1967) dan Harto BR. (1993), pemanfaatan koefisien korelasi hujan dapat digunakan sebagai petunjuk yang bersifat kualitatif. Kelebihan metode ini adalah jumlah pos hujan dapat ditetapkan dalam tingkat ketelitian tertentu, dan juga cara ini sekaligus memberikan pola penempatan dan persebaran stasiun hujan dengan jelas (PU Pengairan, 2014). Pada penelitian yang dilakukan Kagan (1972), untuk daerah tropis yang hujannya bersifat setempat dengan luas penyebaran yang sangat terbatas mempunyai variasi ruang untuk hujan dengan periode tertentu adalah sangat tidak menentu meskipun sebenarnya menunjukkan suatu hubungan sampai tingkat tertentu (Harto BR., 1993). Analisis menggunakan metode Kagan-Rodda sangat dianjurkan untuk DAS yang memiliki tingkat perbedaan elevasi yang tidak terlalu berbeda-beda (Junaidi, 2015). Analisis jaringan Kagan-Rodda, memakai persamaan 2-6 (Harto BR., 1993):

$$r_{(d)} = r_{(o)} e^{-\left(d/d_{(o)}\right)} \dots\dots\dots (2)$$

$$Z_1 = C_v \sqrt{\frac{1-r_{(o)}+0,23 \frac{\sqrt{A}}{d_{(o)}\sqrt{N}}}{N}} \dots\dots\dots (3)$$

$$L = 1,07 \sqrt{\frac{A}{N}} \dots\dots\dots (4)$$

$$Z_3 = C_v \sqrt{\frac{1}{3} |1 - r_{(o)}| + 0,52 \frac{r_{(o)}}{d_{(o)}} \sqrt{\frac{A}{N}}} \dots\dots\dots (5)$$

$$C_v = \frac{Sd}{\bar{x}} \dots\dots\dots (6)$$

dengan, d = jarak antar stasiun (km), $d_{(o)}$ = radius korelasi yaitu jarak dalam km dimana koefisien korelasi berkurang dengan faktor e, C_v = koefisien variasi, $r_{(o)}$ = koefisien korelasi untuk jarak yang sangat dekat, $r_{(d)}$ = koefisien korelasi untuk jarak d (km), A = luas DAS (km²), N = jumlah stasiun hujan, L = jarak antar stasiun dalam segitiga sama sisi (km), Z_1 = kesalahan perataan (%), Z_3 = kesalahan interpolasi (%), Sd = standar deviasi, dan \bar{x} = nilai rerata.

Dua faktor penting diperoleh dari persamaan-persamaan ini: hubungan antara jumlah stasiun curah hujan dan kesalahan dan lokasi stasiun curah hujan menurut pola jaringan tertentu. Berdasarkan Harto BR. (1993), langkah pengerjaan dengan menggunakan metode ini adalah:

1. Grafik kurva eksponensial digunakan untuk menunjukkan hubungan yang ditemukan di

- atas. Nilai rata-rata d dan $r(d)$ serta Persamaan 2 dapat menentukan seberapa besar $d_{(0)}$.
2. Ketika akurasi diketahui, angka-angka ini dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana menyelesaikan Persamaan 3 dan 5. Di sisi lain, Anda dapat menemukan grafik yang menunjukkan hubungan antara jumlah stasiun dan akurasi curah hujan bulanan dan harian.
 3. Setelah jumlah stasiun di DAS diketahui, Persamaan 4 digunakan dalam penentuan dan memposisikan stasiun curah hujan. Jaringan-jaring segitiga sama sisi dengan panjang sisi yang sama digambar di atas kertas transparan dan ditumpuk di atas peta DAS. Pergeseran dilakukan agar jumlah titik stasiun dalam DAS sama dengan jumlah stasiun yang ditemukan. Titik-titik tersebut merupakan lokasi stasiun curah hujan.
 4. Koefisien variasi (C_v) dapat dihitung secara harian atau bulanan dengan menggunakan jaringan stasiun hujan sesuai kebutuhan.

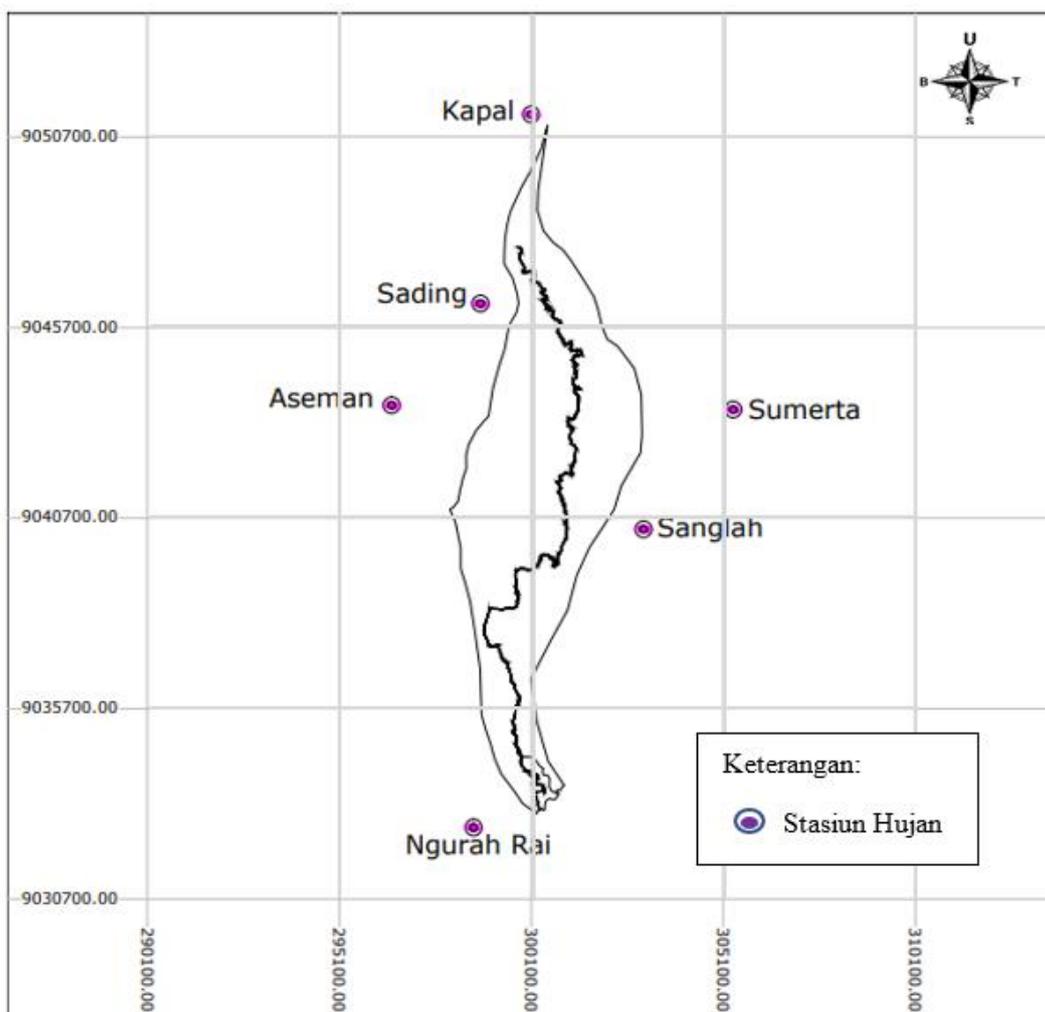
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Stasiun Hujan dan Letak Stasiun Hujan

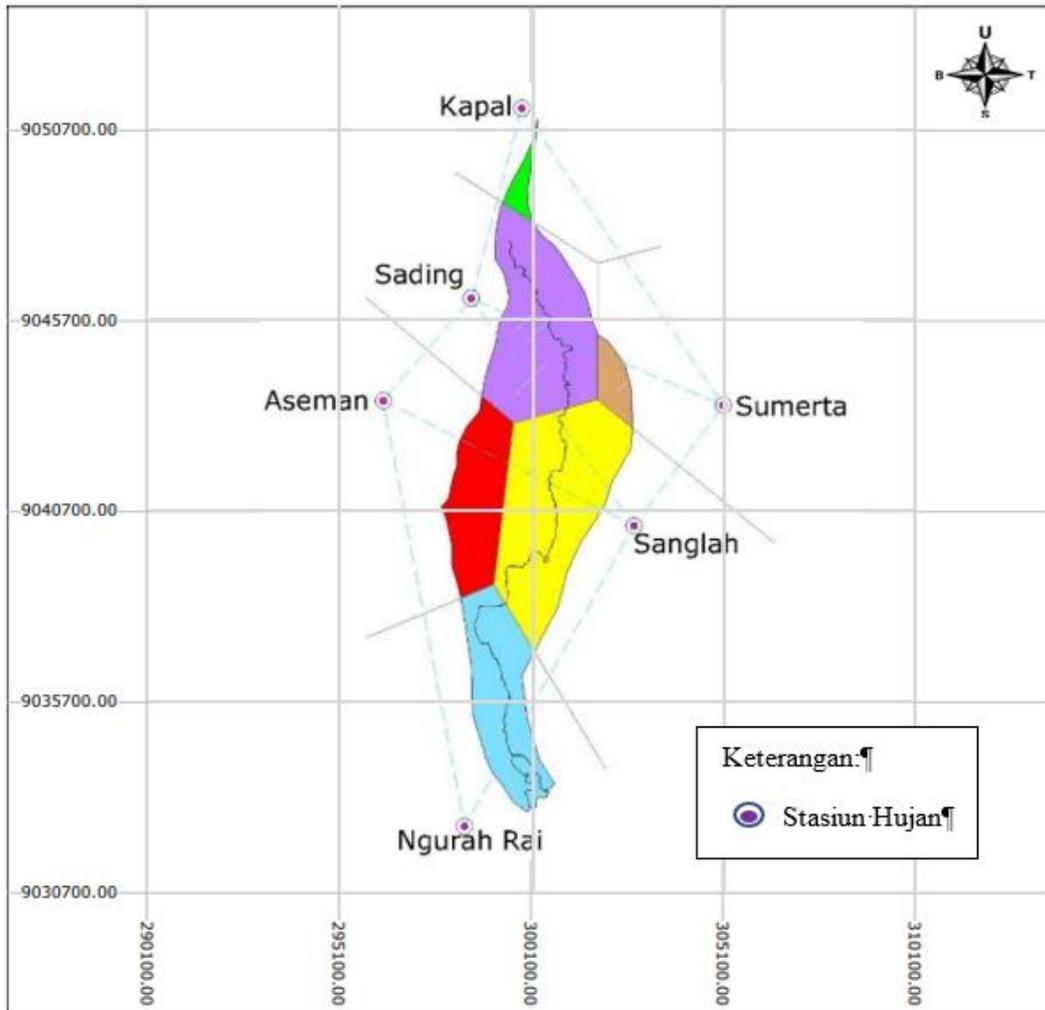
Data letak stasiun hujan diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Bali-Penida dan Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah III Provinsi Bali yang disajikan pada Gambar 2.

3.2 Analisa Curah Hujan Rerata Daerah

Metode Poligon Thiessen digunakan untuk melihat curah hujan rata-rata di suatu wilayah. Metode ini memberikan bobot tertentu pada setiap stasiun hujan, dengan pemikiran bahwa setiap stasiun mewakili hujan di suatu wilayah tertentu dan wilayah tersebut merupakan faktor koreksi (*weighting factor*) untuk hujan di stasiun yang bersangkutan (Harto BR., 1993). Data yang diperoleh adalah dari tahun 2009-2018 pada setiap stasiun hujan. Pembagian Poligon Thiessen disajikan pada Gambar 3 dan hasil perhitungan curah hujan rerata daerah disajikan pada Tabel 2.



Gambar 2. Posisi Stasiun Hujan pada DAS Tukad Mati



Gambar 3. Pembagian Poligon Thiessen Stasiun Hujan pada DAS Tukad Mati

Tabel 2. Rekapitulasi Curah Hujan Maksimum Bulanan Berdasarkan Poligon Thiessen

No	Tahun	Curah Hujan (mm)
1	2009	143.37
2	2010	98.79
3	2011	105.48
4	2012	103.48
5	2013	118.16
6	2014	92.63
7	2015	101.92
8	2016	158.48
9	2017	131.32
10	2018	120.51
	Cv	0.182

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa curah hujan rerata wilayah berdasarkan pendekatan Poligon Thiessen didapatkan curah hujan maksimum bulanan tertinggi pada tahun 2016 sebesar 158.46 mm dan

curah hujan maksimum bulanan terendah pada tahun 2010 sebesar 98.79 mm dengan nilai Cv sebesar 0.182.

3.3 Analisa Stasiun Hujan Eksisiting Menurut WMO (*World Meteorological Organization*)

Berdasarkan analisis dengan metode Poligon Thiessen, didapat suatu poligon yang luas areanya diukur dengan bantuan perangkat lunak AutoCad yang luasannya disajikan pada Tabel 3 dan dibandingkan dengan standar WMO pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa luas pengaruh stasiun hujan Sanglah sebesar 17.46 Km², stasiun hujan Sading seluas 11.39 Km², stasiun hujan Sumerta seluas 1.43 Km², stasiun hujan Kapal seluas 0.75 Km², stasiun hujan Aseman seluas 6.08 Km², dan stasiun hujan Ngurah Rai seluas 7.55 Km². Apabila dibandingkan dengan standar WMO terlihat bahwa kerapatan masing-masing stasiun hujan di DAS Tukad Mati jauh lebih kecil dari 600-900 Km²/stasiun hujan. Dapat diartikan bahwa terdapat kelebihan stasiun hujan pada DAS tukad Mati yang hanya memiliki luas total sebesar 44.67 Km² sehingga perlu dilakukan rasionalisasi.

Tabel 3. Luas Daerah Pengaruh Hujan Pada DAS Tukad Mati menurut WMO

No	Stasiun Hujan	Luas pengaruh (m ²)	Luas pengaruh (km ²)	Standar WMO (600-900 km ²)
1	ST. Sanglah	17456589.28	17.46	< Kerapatan minimum WMO
2	ST. Sading	11389625.16	11.39	< Kerapatan minimum WMO
3	ST. Sumerta	1433044.77	1.43	< Kerapatan minimum WMO
4	ST. Kapal	754597.10	0.75	< Kerapatan minimum WMO
5	ST. Aseman	6081319.88	6.08	< Kerapatan minimum WMO
6	ST. Ngurahrai	7551823.80	7.55	< Kerapatan minimum WMO
	Luas Total	44667000.00	44.67	

3.4 Analisa Jaringan Stasiun Hujan Metode Kagan-Rodda

Langkah awal dalam analisis menggunakan Metode Kagan-Rodda adalah menentukan jarak dan korelasi antar stasiun yang dijadikan referensi. Perhitungan jarak antar stasiun hujan referensi dapat dilihat pada Tabel 4.

Setelah melakukan perhitungan jarak antar stasiun hujan yang digunakan dalam penelitian, selanjutnya adalah melakukan analisis korelasi terhadap data hujan yang terdapat pada masing-masing stasiun hujan yang disajikan pada Tabel 5.

Dari hasil perhitungan jarak dan koefisien korelasi antar stasiun hujan pada Tabel 5 kemudian dapat digambarkan grafik eksponensial seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dari grafik tersebut, diperoleh nilai $r_{(o)}$ sebesar 0.4517 dan $d_{(o)}$ sebesar 75.758 km menghasilkan 4 stasiun hujan yang terpilih dengan lokasi dan kualitas data yang baik. Berikutnya menghitung kesalahan perataan (Z_I) dan kesalahan interpolasi (Z_3) dengan maksimal 10% dapat dilihat pada Tabel 6.

Dari grafik eksponensial hubungan jarak dan koefisien korelasi didapat nilai $r_{(o)} = 0.4517$ dan $d_{(o)} = 1/0.0132 = 75.758$. Setelah mendapat nilai $r_{(o)}$ dan $d_{(o)}$ dilanjutkan dengan analisis metode Kagan-Rodda didapat nilai kesalahan perataan (Z_I) dan kesalahan interpolasi (Z_3), dengan menerapkan persamaan 3 dan persamaan 5, serta panjang jaringan (L). Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai Z_I sebesar 0.07408 dan Z_3 sebesar 0.0795.

Berikutnya berdasarkan rekapitulasi curah hujan rerata daerah didapatkan C_v sebesar 0.182 (sesuai

Tabel 2). Batas kesalahan maksimal yang digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya adalah sebesar 5% dan 10% (Alfirman et al., 2019; Harto BR., 1993; Junaidi, 2015; Pramono et al., 2019; Ranesa et al., 2015; Siswanti et al., 2018). Nilai kesalahan perataan stasiun hujan (Z_I) digunakan $5\% \leq Z_I \leq 10\%$ dalam rangka menentukan jumlah stasiun curah hujan ideal pada DAS Tukad Mati. Perhitungan jumlah variasi pos hujan (N), nilai Z_I dan Z_3 disajikan pada Tabel 6.

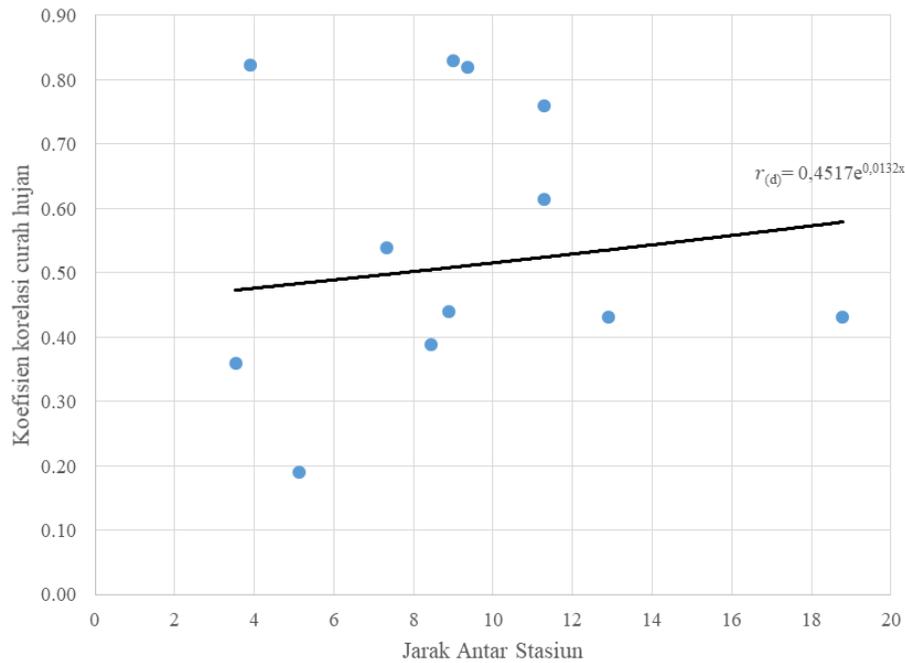
Berdasarkan nilai kesalahan perataan stasiun hujan (Z_I) yang dicoba dengan *range* nilai $5\% \leq Z_I \leq 10\%$ maka digunakan jumlah variasi stasiun hujan sebanyak 13 buah stasiun hujan dengan kesalahan perataan stasiun hujan minimum (5.036%) dan 4 buah stasiun dengan persamaan perataan stasiun hujan maksimum (9.069%). Berikutnya dilakukan pemilihan stasiun hujan terpilih berdasarkan evaluasi melalui jaring-jaring Kagan-Rodda terhadap stasiun eksisting berdasarkan variasi *range* kesalahan perataan maksimum dan minimum. Untuk nilai N = 13 stasiun hujan didapat stasiun hujan terpilih yang dapat dilihat pada Tabel 7 dan bentuk jaring-jaring Kagan-Rodda dilihat pada Gambar 5, sedangkan untuk N = 4 stasiun hujan didapat stasiun hujan terpilih yang dapat dilihat pada Tabel 8 dan bentuk jaring-jaring Kagan-Rodda disajikan pada Gambar 6. Menurut Imaaduddin et al. (2022), dalam penentuan stasiun hujan terpilih digunakan perbandingan $(r_{(o)}-r_{(d)})/r_{(o)} < 5\%$ dengan dengan rasional bahwa jumlah stasiun hujan yang dipasang pada aliran sungai yang terlalu banyak akan mengakibatkan besarnya biaya operasional dan pemeliharaan, sedangkan jika jumlah stasiun hujan terlalu sedikit akan menyebabkan hasil pencatatan hujan tidak dapat dipercaya (Triatmodjo, 2008).

Tabel 4. Jarak antar Stasiun Hujan (km)

Stasiun Hujan	Sanglah	Sading	Sumerta	Kapal	Aseman	Ngurah Rai
Sanglah	0	7.29	3.91	11.28	7.32	9.00
Sading		0	7.15	5.14	3.53	13.76
Sumerta			0	9.37	8.90	12.89
Kapal				0	8.45	18.78
Aseman					0	11.29
Ngurah Rai						0

Tabel 5. Koefisien Korelasi ($r_{(d)}$) antar Stasiun Hujan

Stasiun Hujan	Sanglah	Sading	Sumerta	Kapal	Aseman	Ngurah Rai
Sanglah	1	- 0.04	0.82	0.76	0.54	0.83
Sading		1	- 0.29	0.19	0.36	- 0.22
Sumerta			1	0.82	0.44	0.43
Kapal				1	0.39	0.43
Aseman					1	0.61
Ngurah Rai						1



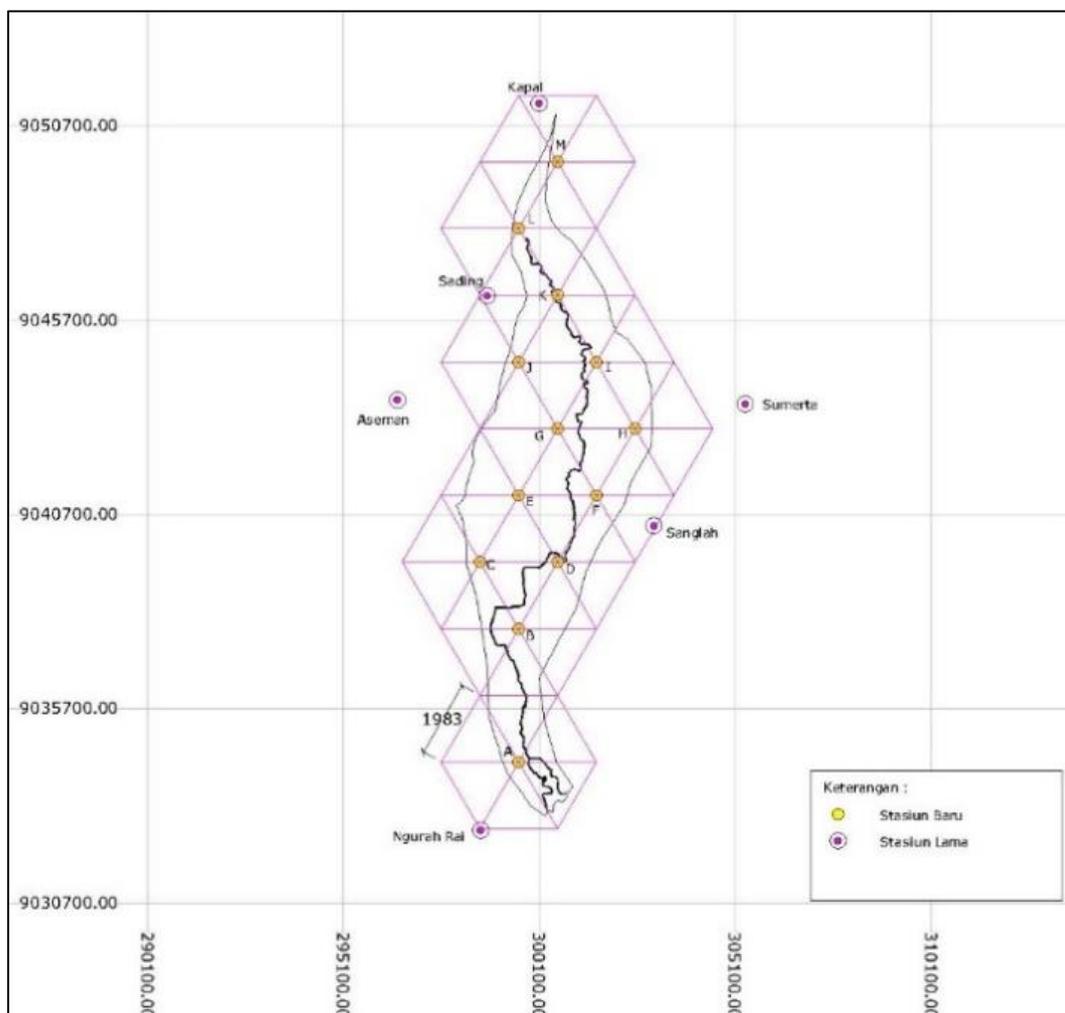
Gambar 4. Hubungan Jarak Stasiun Hujan dengan Korelasi di DAS Tukad Mati

Tabel 6. Variasi Jumlah Pos Hujan, Nilai Z1, Nilai Z3, dan Jarak Antar Pos Hujan Pada DAS Tukad Mati

N	Cv	r(0)	d(0)	A	Z1 (%)	Z3 (%)	L	N	Cv	r(0)	d(0)	A	Z1 (%)	Z3 (%)	L
1	0.182	0.4517	75.758	44.667	18.096	8.201	7.151	16	0.182	0.4517	75.758	44.667	4.540	7.881	1.788
2	0.182	0.4517	75.758	44.667	12.813	8.078	5.057	17	0.182	0.4517	75.758	44.667	4.404	7.878	1.734
3	0.182	0.4517	75.758	44.667	10.468	8.022	4.129	18	0.182	0.4517	75.758	44.667	4.280	7.875	1.686
4	0.182	0.4517	75.758	44.667	9.069	7.989	3.576	19	0.182	0.4517	75.758	44.667	4.166	7.872	1.641
5	0.182	0.4517	75.758	44.667	8.113	7.967	3.198	20	0.182	0.4517	75.758	44.667	4.061	7.870	1.599
6	0.182	0.4517	75.758	44.667	7.408	7.950	2.919	21	0.182	0.4517	75.758	44.667	3.963	7.868	1.561
7	0.182	0.4517	75.758	44.667	6.859	7.937	2.703	22	0.182	0.4517	75.758	44.667	3.872	7.865	1.525
8	0.182	0.4517	75.758	44.667	6.417	7.926	2.528	23	0.182	0.4517	75.758	44.667	3.787	7.863	1.491
9	0.182	0.4517	75.758	44.667	6.051	7.917	2.384	24	0.182	0.4517	75.758	44.667	3.707	7.861	1.460
10	0.182	0.4517	75.758	44.667	5.741	7.910	2.261	25	0.182	0.4517	75.758	44.667	3.633	7.860	1.430
11	0.182	0.4517	75.758	44.667	5.474	7.904	2.156	26	0.182	0.4517	75.758	44.667	3.562	7.858	1.402
12	0.182	0.4517	75.758	44.667	5.241	7.898	2.064	27	0.182	0.4517	75.758	44.667	3.496	7.856	1.376
13	0.182	0.4517	75.758	44.667	5.036	7.893	1.983	28	0.182	0.4517	75.758	44.667	3.433	7.855	1.351
14	0.182	0.4517	75.758	44.667	4.853	7.889	1.911	29	0.182	0.4517	75.758	44.667	3.373	7.853	1.328
15	0.182	0.4517	75.758	44.667	4.688	7.885	1.846	30	0.182	0.4517	75.758	44.667	3.316	7.852	1.306

Tabel 7. Evaluasi Pemilihan Stasiun Hujan Untuk (N=13), ($Z_1 = 5.036 \%$), ($Z_3 = 7.893 \%$), dan (L =1,983 km)

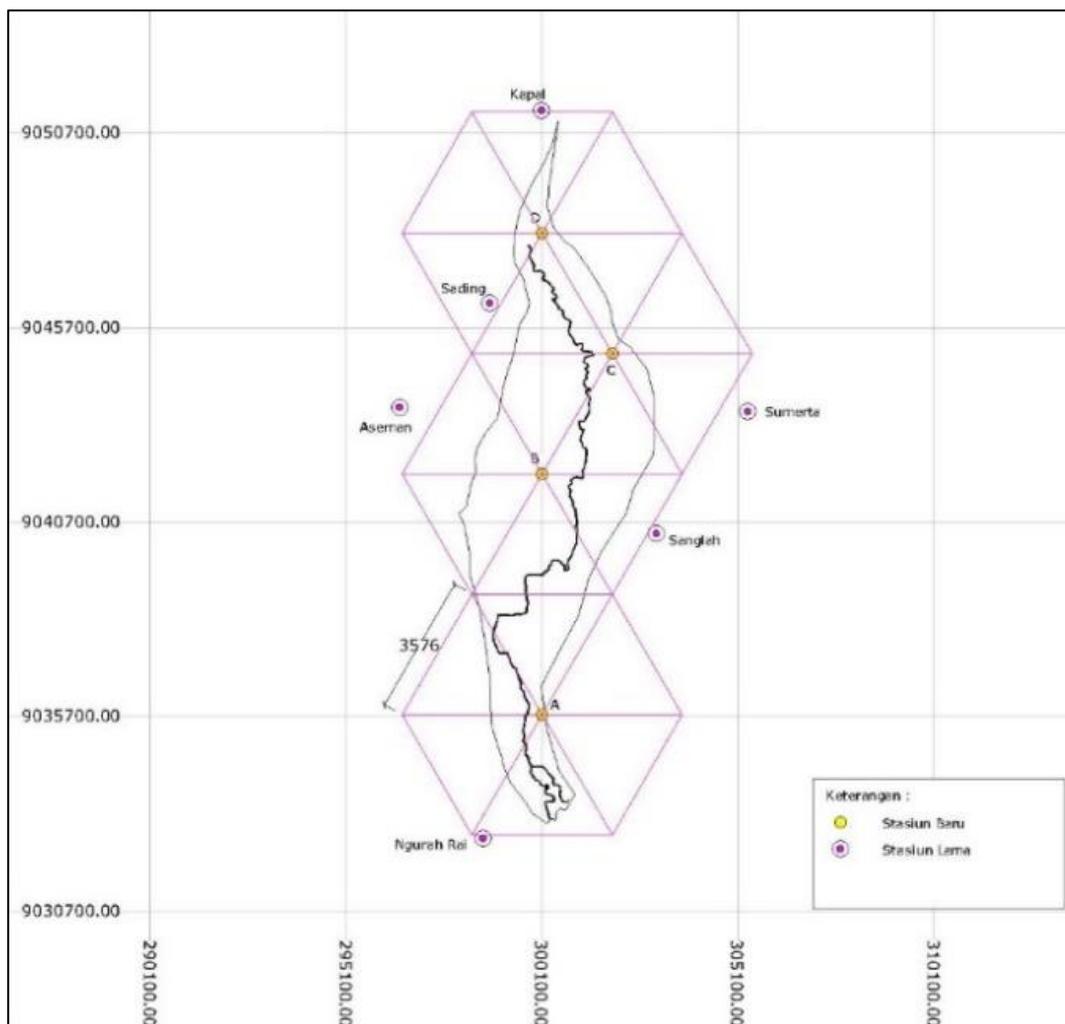
Stasiun	Jarak Titik Simpul	$r_{(0)}$	$r_{(d)}$	$(r_{(0)}-r_{(d)})/r_{(0)}$	Keterangan
Ngurah Rai-A	2.004	0.4517	0.440	2.61%	diterima
Sanglah-D	2.633	0.4517	0.436	3.42%	diterima
Sanglah-F	1.670	0.4517	0.442	2.18%	diterima
Sanglah-H	2.552	0.4517	0.437	3.31%	diterima
Sading -J	1.877	0.4517	0.441	2.45%	diterima
Sading -K	1.787	0.4517	0.441	2.33%	diterima
Sading -L	1.908	0.4517	0.440	2.49%	diterima
Kapal-M	1.583	0.4517	0.442	2.07%	diterima
Sumerta-H	2.885	0.4517	0.435	3.74%	diterima
Sumerta-I	3.958	0.4517	0.429	5.09%	ditolak
Aseman-E	9.162	0.4517	0.400	11.39%	ditolak
Aseman-G	11.119	0.4517	0.390	13.65%	ditolak
Aseman-J	12.448	0.4517	0.383	15.15%	ditolak



Gambar 5. Jaring-Jaring Segitiga Sama Sisi Metode Kagan-Rodda dengan (N=13), ($Z_1 = 5.036 \%$), ($Z_3 = 7.893 \%$), dan (L =1.983 km)

Tabel 8. Evaluasi Pemilihan Stasiun Hujan Untuk (N=4), (Z1 = 9.069 %), (Z3 = 7.989 %), dan (L =3.576 km)

Stasiun	Jarak Titik Simpul	$r_{(0)}$	$r_{(d)}$	$(r_{(0)}-r_{(d)})/r_{(0)}$	Keterangan
Ngurah Rai-A	3.516	0.4517	0.431	4.53%	diterima
Sanglah-B	3.299	0.4517	0.432	4.26%	diterima
Sading - C	3.376	0.4517	0.432	4.36%	diterima
Sading-D	2.244	0.4517	0.439	2.92%	diterima
Kapal-D	3.158	0.4517	0.433	4.08%	diterima
Sumerta-C	3.773	0.4517	0.430	4.86%	diterima
Sumerta-B	5.492	0.4517	0.420	6.99%	ditolak
Aseman-C	13.596	0.4517	0.377	16.43%	ditolak



Gambar 6. Jaring-Jaring Segitiga Sama Sisi Metode Kagan-Rodda dengan (N=4), (Z1 = 9.069 %), (Z3 = 7.989 %), dan (L =3.576 km)

Berdasarkan skenario jumlah stasiun curah hujan N = 4, kesalahan perataan (Z1) sebesar 9.069%, kesalahan interpolasi (Z3) sebesar 7.989% dan N = 13, kesalahan perataan (Z1) sebesar 5.036%, kesalahan interpolasi (Z3) sebesar 7.893% didapat bahwa untuk stasiun yang direkomendasikan adalah stasiun hujan Kapal, stasiun hujan Sading, stasiun hujan Sanglah, dan stasiun hujan Ngurah Rai. Direkomendasikannya

stasiun hujan terpilih didasarkan atas perbandingan $(r_{(0)}-r_{(d)})/r_{(0)} < 5\%$. Sedangkan untuk stasiun hujan Sumerta, berdasarkan skenario jumlah stasiun curah hujan N = 4, stasiun ini terpilih berdasarkan nilai kesalahan evaluasi sebesar 4.86 % ke stasiun hujan C, namun apabila dihubungkan dengan stasiun hujan B nilai kesalahan evaluasi menjadi 6.99% (> 5%). Berdasarkan skenario jumlah stasiun curah hujan N =

13, stasiun hujan Sumerta terpilih dengan nilai 3.74 % ke stasiun hujan H, namun apabila dihubungkan dengan stasiun hujan I nilai kesalahan evaluasi menjadi 5.09% (> 5%). Berdasarkan gambar jaring-jaring Kagan-Rodda terlihat bahwa stasiun hujan Sumerta dan Aseman berada di luar jaring-jaring tersebut sehingga dapat direkomendasikan bahwa dengan menggunakan empat stasiun hujan (Kapal, Sading, Sanglah, dan Ngurah Rai) menunjukkan sebaran stasiun hujan yang lebih representatif untuk DAS Tukad Mati.

4 KESIMPULAN

Secara teoritis, penggunaan metode Kagan-Rodda merupakan pendekatan yang baik digunakan untuk menganalisis rasionalisasi sebaran stasiun hujan di suatu wilayah karena mampu memberikan hasil berupa lokasi penempatan stasiun hujan yang merata. Analisis rasionalisasi stasiun hujan pada DAS Tukad Mati didapatkan efektifitas jaringan stasiun hujan rencana berdasarkan metode Kagan-Rodda dengan kesalahan perataan stasiun hujan maksimum (Z_1) = 9.069 % didapat N (jumlah stasiun hujan) = 4, kesalahan interpolasi perhitungan (Z_3) = 7.989 %, dan L = 3.576 km. Sedangkan dengan kesalahan perataan stasiun hujan minimum (Z_1) = 5.036 % didapat N (jumlah stasiun hujan) = 13, kesalahan interpolasi perhitungan (Z_3) = 7.893 %, dan L = 1.983 km. Berdasarkan analisa Kagan-Rodda didapat bahwa stasiun yang dapat direkomendasikan adalah Stasiun Hujan Ngurah Rai, Stasiun Hujan Sanglah, Stasiun Hujan Sading, dan Stasiun Hujan Kapal. Karena keterbatasan penelitian ini maka diharapkan penelitian selanjutnya untuk lebih banyak mengumpulkan data-data yang diperlukan maupun referensi terkait pengukuran hujan dan menggunakan aplikasi ArcGIS agar hasil penelitiannya dapat lebih baik dan lebih lengkap. Selain itu sebaiknya dibandingkan dengan pendekatan lainnya seperti metode *Kriging* atau *Stepwise*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfirman, Z. R., Limantara, L. M., & Wahyuni, S. (2019). Rasionalisasi Kerapatan Pos Hujan Menggunakan Metode Kagan-Rodda Di Sub DAS Lesti. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 153–164.
- Anonim. (n.d.). *Peta Administrasi Provinsi Bali*. Peta Tematik Indonesia.
- Ardana, P. D. H., Soriarta, K., Widnyana, I. G. A., & Diasa, I. W. (2021). Analisis Debit Banjir Rancangan Di Daerah Aliran Sungai Tukad Mati. *Jurnal Teknik Gradien*, 14(02), 58–70.
- Arifah, S., Suhartono, E., & Chadrasasi, D. (2018). Rasionalisasi Jaringan Pos Stasiun Hujan Pada DAS Kemuning Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Kagan-Rodda dan Kriging Dengan Mempertimbangkan Aspek Topografi. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan*, 1(2).
- Arsana, I. G. N. K. (2019). *Pengendalian Banjir Pada Sistem Drainase Tukad Mati*.
- Aryastana, P. (2016). Kajian Pemanfaatan Daerah Sempadan Sungai di Tukad Mati. *Seminar Nasional KonsepSi#2 (Konsep Dan Implementasi 2) INFRASTRUKTUR-BANGUNAN-KONSTRUKSI: Berbasis Lingkungan Kepariwisata Berkearifan Lokal*, 130–139.
- 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). *Jurnal Teknik Pengairan*, 7(1), 129–138.
- Harto BR., S. (1993). *Analisis Hidrologi*. PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Imaaduddin, H. M., Azis, S. K., Wahyudi, H., & Sumirman, E. (2022). Penggunaan Metode Kagan-Rodda Untuk Mengevaluasi Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan di DAS Ngrowo Pada Aliran Kali Brantas. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 20(2), 235–242. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v20i2.12493>
- Ishomudin, A. (2017). *Analisis Bangunan Pengendali Banjir di Sepanjang Sungai Tukad Mati Provinsi Bali*. Politeknik Negeri Bali.
- Junaidi, R. (2015). Kajian Rasionalisasi Jaringan Stasiun Hujan Pada Ws Parigi-Poso Sulawesi Tengah dengan Metode Kagan Rodda dan Kriging. *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik-Sistem*, 11(1), 22–31. <http://sistem.wisnuwardhana.ac.id/index.php/sistem/article/view/19>
- Kagan, R. L. (1972). *Precipitation Statistical Principles*. WMO Bulletin. No. 324.
- Kurniawati, T., Suhartanto, E., & Harisuseno, D. (2017). Evaluasi dan Rasionalisasi Kerapatan Jaringan Pos Hujan dan Pos Duga Air Dengan Metode Stepwise di Sub DAS Lesti. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan*, 1(1), 1–9.
- Linsey, R. K., A., K. M., & J.L.H., P. (1986). *Hidrologi Untuk Insinyur (Terjemahan)*. PT. Erlangga.
- Mulya, H. (2014). Studi Rasionalisasi Jaringan Hidrologi Pulau Seram Provinsi Maluku. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 20(1), 71–82.
- Mulyono, D. (2014). Analisis Karakteristik Curah Hujan Di Wilayah Kabupaten Garut Selatan. *Jurnal Konstruksi*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.12-1.274>
- Pramono, F. Y., Suripin, Suharyanto, & Sulistya, W. (2019). Rationalization of Rain Stations In The Ciliwung Cisadane River Basin. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 12(12), 2957–2963.
- Prawati, E., & Dermawan, V. (2017). Penentuan Jarak Antar Stasiun Hujan Dengan Metode Kagan Rodda Di Das Kedunglarangan Kabupaten Pasuruan Provinsi Jawa Timur. *Tapak*, 7(1), 1–14.
- Prawati, E., & Dermawan, V. (2018). Analisa Penyebaran Stasiun Hujan Terhadap Debit Banjir Rancangan Pada DAS Kedunglarangan (Kabupaten Pasuruan Jawa Timur). *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 1–11. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3566/2672>
- PU Pengairan. (2014). *Pedoman Rasionalisasi Pos Hidrologi dengan Metode Stepwise, Analisa Bobot, Kriging, Kagan dan Analisa Regional*. PU Pengairan.
- Ranesa, L. S. C., Limantara, L. M., & Harisuseno, D. (2015). Analisis Rasionalisasi Jaringan Pos Hujan Untuk Kalibrasi Hidrograf Pada Das Babak Kabupaten Lombok Tengah. *Jurnal Teknik Pengairan Pengairan*, 6(7), 46.
- Renaldhy, R., Wayan Yasa, I., & Setiawan, E. (2021). Evaluasi Rasionalisasi Stasiun Hujan Metode Kagan Rodda dengan Mempertimbangkan Kriteria Penentuan Lokasi Pembangunan Stasiun Hujan. *Jurnal Teknik Pengairan*,

- 12(1), 49–60.
<https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2021.012.01.05>
- Rodda, J. C. (1967). Precipitation Network. *WMO Bulletin No. 324*.
- Rodhita, M., Limantara, L. M., & Dermawan, V. (2012). Rasionalisasi Jaringan Penakar Hujan Di Das Kedungsoko Kabupaten Nganjuk. *Jurnal Pengairan*, 3(2), 185–194.
<https://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/163>
- Siswanti, Y. R., Dermawan, V., & Suhartanto, E. (2018). Rasionalisasi Jaringan Stasiun Hujan Menggunakan Metode Kagan – Rodda Dengan Memperhitungkan Faktor Topografi Pada Daerah Aliran Sungai (Das) Sarokah, Kabupaten Sumenep, Pulau Madura. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan*, 1(2).
- Yekti, M. I., Inrdayana, I. B. G., & Arsana, I. G. N. K. (2021). Evaluasi Lokasi Titik Banjir di Sub Sistem III Kota Denpasar Berbasis Geographic Information System. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(2), 129–141.