

RASIONALISASI JARINGAN STASIUN CURAH HUJAN PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI TUKAD MATI

by Putu Doddy Heka Ardana

Submission date: 31-Jan-2023 03:00PM (UTC+0700)

Submission ID: 2003205713

File name: 24_Ardana_Ori.docx (3.34M)

Word count: 4640

Character count: 28036

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: xxxx, REVISED: xxxxx, ACCEPTED: xxxxx

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: Hydrology, rainfall station network, density, watershed, rationalization.

INTISARI 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: Hidrologi, jaringan stasiun hujan, kerapatan, daerah aliran sungai, rasionalisasi.

© 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 hujan terutama meliputi periode ulang curah hujan, karena berkaitan dengan perhitungan banjir serta rencana untuk setiap bangunan teknik sipil antara lain bendung, bangunan pelimpah, tanggul penahan banjir, gorong-gorong dan lain sebagainya. Peran analisa hidrologi untuk perencanaan bangunan hidraulik sangatlah penting dimana secara umum diperlukan masukan data hujan sebagai masukan utama. Namun, dalam penetapan besaran hujan yang terjadi dalam satuan Daerah Aliran Sungai (DAS), terdapat dua permasalahan yang harus dipertimbangkan, yaitu jumlah stasiun hujan dalam DAS dan pola penyebaran stasiun hujan dalam DAS tersebut (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).

Besaran data hidrologi, berupa besarnya takaran atau curah hujan, dapat diketahui dari jaringan pengukuran hujan yang tersedia pada suatu wilayah. Kualitas dari data hujan yang akan digunakan untuk suatu analisis hidrologi tergantung dari seberapa jauh pos stasiun hujan eksisting dapat memantau karakteristik hidrologi dalam suatu daerah aliran sungai tersebut (Alfirman et al., 2019; Prawati & Dermawan, 2017). Data yang tidak akurat akan timbul apabila terjadi kesalahan dalam pemantauan data dasar hidrologi dalam suatu DAS, sehingga mengakibatkan hasil perencanaan, penelitian dan pengelolaan sumber daya air yang kurang efektif dan efisien (Fathoni et al., 2016; Kurniawati et al., 2017). Berdasarkan hal tersebut sangatlah penting untuk mengetahui kuantitas stasiun hujan yang perlu ditempatkan dalam satu wilayah DAS untuk melihat karakteristik data hidrologi secara akurat, efektif dan efisien. Ketelitian pengukuran data hujan dipengaruhi oleh jumlah stasiun hujan dan pola penyebarannya di dalam DAS. Penempatan stasiun hujan, jumlah stasiun hujan, dan pola penyebarannya akan dapat menghasilkan data yang akurat mengenai kedalaman, penyebaran dan intensitas hujannya. Menurut Harto BR (1993), beberapa hal yang perlu diperhatikan mengenai stasiun hujan adalah kerapatan optimum mengandung arti jumlah yang mencukupi dan penyebaran yang memadai di seluruh DAS, kerapatan hendaknya tidak terlalu tinggi, karena akan mengakibatkan biaya pemasangan, pengoperasian dan pemeliharaan yang mahal, dan penyebaran stasiun hujan mampu menggambarkan variabilitas ruang DAS yang teramati dengan baik. Pada umumnya daerah hujan yang terjadi lebih luas dibandingkan dengan daerah hujan yang diwakili oleh stasiun penakar hujan atau sebaliknya, maka dengan memperhatikan pertimbangan ekonomi, topografi dan lain-lain harus ditempatkan stasiun hujan dengan kerapatan optimal yang dapat memberikan data yang baik untuk analisis selanjutnya. 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).

Penetapan jaringan stasiun hujan tidak hanya terbatas pada penentuan jumlah stasiun yang dibutuhkan dalam suatu luasan DAS, namun juga tempat dan pola penyebarannya (Arifah et al., 2018). Petunjuk yang bersifat kualitatif diberikan oleh Rodda, yaitu dengan memanfaatkan koefisien korelasi hujan (Harto BR., 1993). 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). Kagan melakukan penelitian pada daerah tropis yang hujannya bersifat lokal dengan area penyebaran yang tidak luas dan memiliki variasi ruang untuk hujan dengan kala ulang tertentu. Hasilnya sangat tidak bervariasi meskipun dalam kenyataan menunjukkan suatu korelasi pada tahap tertentu.

Tukad Mati merupakan sungai yang membentang dari Kabupaten Badung hingga Kota Denpasar dengan panjang mencapai 22.429 km dan luas DAS 44.667 km² (Ardana et al., 2021; Arsana, 2019; Aryastana, 2016). Fungsi awal dari Tukad Mati hanyalah sebagai aliran tempat pembuangan air sawah, namun seiring perkembangan daerah Kabupaten Badung dan Kota Denpasar, Tukad Mati dimanfaatkan sebagai saluran drainase perkotaan (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 (Ardana et al., 2021; Arsana, 2019; Ishomudin, 2017; Yekti et al., 2021). 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 namun faktanya terdapat enam stasiun hujan yang dipergunakan dalam analisis hidrologi oleh peneliti sebelumnya.

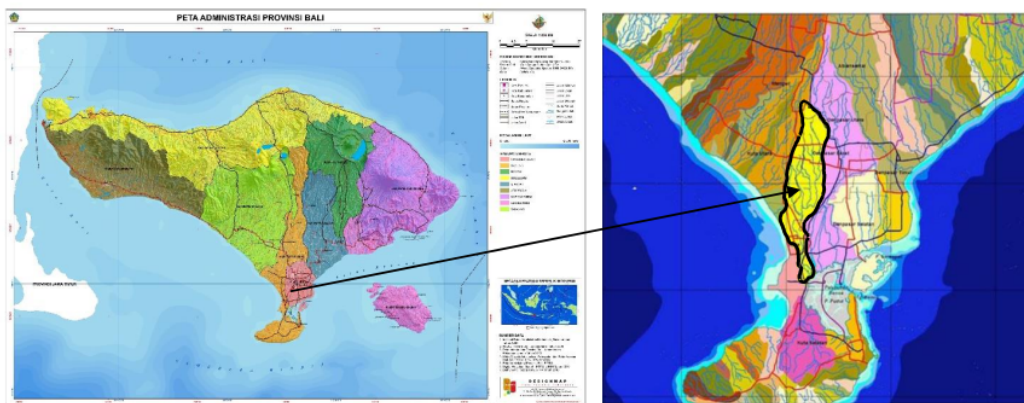
Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, beragamnya stasiun curah hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi pada DAS Tukad Mati menyebabkan perlu dilakukannya evaluasi ataupun rasionalisasi stasiun hujan dengan menggunakan metode Kagan-Rodda sehingga nantinya akan menghasilkan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

2. METODOLOGI

Adapun tahapan metodologi dalam penelitian ini yaitu pengumpulan data sekunder berupa data curah hujan selama 10 tahun, peta sebaran & data stasiun hujan, peta Daerah Aliran Sungai dan Wilayah Sungai, serta peta batas administrasi kota dan kabupaten. Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara survey inventarisasi pos hidrologi stasiun hujan. Lalu dilakukan analisis hidrologi dari data survey, kemudian dilanjut dengan analisis kerapatan jaringan stasiun hujan untuk menentukan rekomendasi letak stasiun 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

2.2 Metode Poligon Thiessen

Polygon Thiessen merupakan metode yang memberikan bobot tertentu disetiap stasiun hujan yang dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luas tertentu dan memberikan faktor koreksi bagi hujan di stasiun bersangkutan (Harto BR., 1993). Polygon Thiessen dihitung dengan persamaan 1.

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

Dimana:

- R = curah hujan rerata kawasan
- An = Luas daerah Thiessen yang mewakili titik pos curah hujan
- Rn = Curah hujan ditiap titik pos curah hujan

Hitungan poligon Thiessen dilakukan dengan cara:

- a. Stasiun hujan digambar pada peta daerah yang ditinjau.
- b. Stasiun-stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus, sehingga akan didapatkan bentuk segitiga.
- c. Tiap-tiap sisi segitiga dibuat garis berat sehingga saling bertemu dan membentuk suatu poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk oleh poligon, sedangkan untuk stasiun yang berada di dekat batas daerah, garis batas daerah membentuk batas tertutup dari poligon.
- d. Luas tiap poligon diukur, kemudian dikalikan dengan kedalaman hujan di tiap poligon. Hasil jumlah hitungan tersebut dibagi dengan total luas daerah yang ditinjau.

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

Luas curah hujan yang terjadi lebih luas dari luas curah hujan yang diwakili oleh stasiun penakar hujan atau sebaliknya, maka dengan memperhatikan pertimbangan biaya, topografi dan lain-lain harus ditempatkan

stasiun hujan dengan kerapatan optimal yang bisa memberikan data yang baik untuk analisis yang lebih detail (Imaaduddin et al., 2022)]. Dengan tujuan di atas, Badan Meteorologi Dunia atau WMO (*World Meteorological Organization*) menyarankan kerapatan minimum jaringan stasiun hujan 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	(1500-10000)

Sumber: Linsey et al. (1986)

2.4 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):

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

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

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

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

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{x}} \quad (6)$$

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)
- Z₁ = kesalahan perataan (%)
- Z₃ = kesalahan interpolasi (%)
- Sd = standar deviasi
- \bar{x} = nilai rerata

3 Dari persamaan-persamaan tersebut diperoleh dua hal penting yaitu hubungan antara jumlah stasiun hujan dengan kesalahan yang terjadi dan lokasi stasiun hujan sesuai dengan pola jaringan tertentu. Berdasarkan Harto BR. (1993), langkah pengerjaan dengan menggunakan metode ini adalah:

1. Hubungan yang diperoleh di atas digambar dalam sebuah grafik lengkung eksponensial. Dari grafik ini diperoleh besar $d_{(0)}$ dengan menggunakan nilai rata-rata d dan $r_{(d)}$ dan persamaan 2.
2. Dengan besaran tersebut, maka persamaan 3 dan 5 dapat dihitung setelah tinggi ketelitian ditetapkan. Atau sebaliknya, dapat dicari grafik hubungan antara jumlah stasiun dengan ketelitian yang diperoleh, baik untuk hujan bulanan maupun untuk hujan harian.
3. Setelah jumlah stasiun ditetapkan untuk DAS tersebut, maka penempatan stasiun hujan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 4 dan menggambarkan jaring-jaring segitiga sama sisi dengan panjang sisi sama dengan gambar dibuat di atas kertas transparan, yang selanjutnya ditumpukkan di atas peta DAS, dan dilakukan penggeseran-penggeseran sedemikian rupa, sehingga simpul stasiun yang berada didalam DAS sama dengan jumlah stasiun yang dihitung. Simpul-simpul tersebut adalah lokasi stasiun hujan.
4. Dari jaringan stasiun hujan yang telah tersedia, dapat dihitung nilai koefisien-variasi (C_v) baik harian ataupun bulanan, sesuai dengan yang diperlukan.

15 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 dan Tabel 2 di bawah ini.



Gambar 2. Posisi stasiun hujan pada DAS Tukad Mati

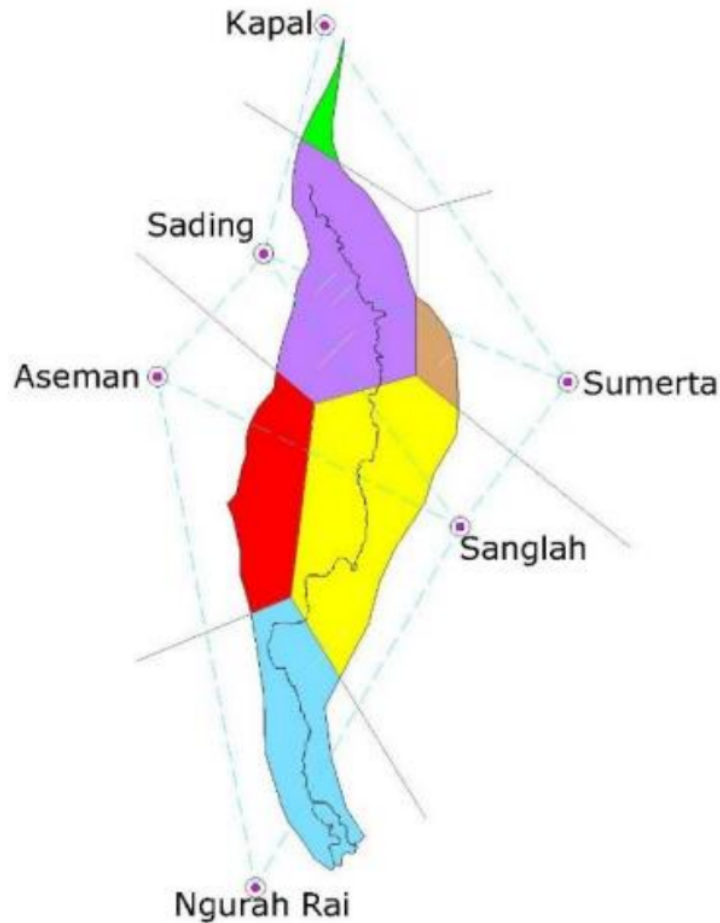
Tabel 2. Koordinat stasiun hujan pada DAS Tukad Mati

No	Nama Stasiun Hujan	Koordinat	
		X	Y
1	Stasiun Hujan Sanglah	303026.8174	9040404.8733
2	Stasiun Hujan Sading	298776.1838	9046328.4373
3	Stasiun Hujan Sumerta	305360.6634	9043544.1243
4	Stasiun Hujan Kapal	300095.4284	9051292.8273
5	Stasiun Hujan Aseman	296466.0000	9043658.0000
6	Stasiun Hujan Ngurahrai	298595.2967	9032573.8335

Sumber: BMKG Wilayah III Denpasar Dan BWS BALI-PENIDA Dan BWS BALI-PENIDA

3.2 Analisa Curah Hujan Rerata Daerah

Analisa curah hujan rerata daerah menggunakan metode Poligon Thiessen. Metode ini memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun hujan, dengan pengertian bahwa setiap stasiun hujan dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luasan tertentu dan luas tersebut merupakan faktor koreksi (*weighting factor*) bagi 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 3.



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

18
Tabel 3. Rekapitulasi Curah Hujan Rerata Daerah

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

Sumber: Hasil analisis (2022)

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

Dengan metode Poligon Thiessen, didapat luas kerapatan tiap stasiun yang disajikan pada Tabel 4 dan dibandingkan dengan standar WMO pada Tabel 1 untuk daerah dataran tropis, mediteran dan sedang kerapatan stasiun hujan dikisaran 600-900 km².

2
Tabel 4. 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	

Sumber: Hasil analisis (2022)

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 5.

Tabel 5. 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

Sumber: Hasil analisis (2022)

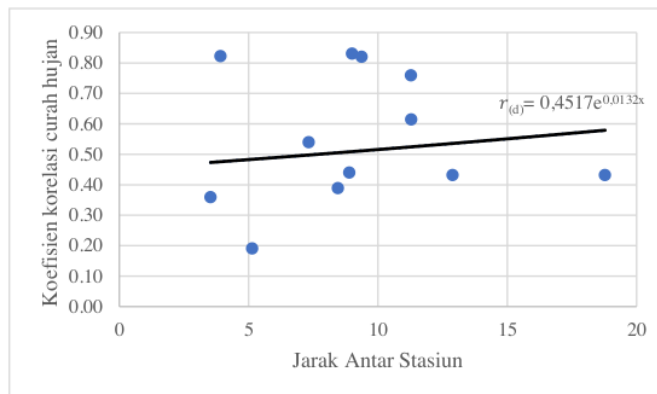
Setelah melakukan perhitungan jarak antar stasiun hujan yang digunakan dalam penelitian, selanjutnya adalah melakukan analisis korelasi terhadap data hujan yang terdapat pada masing-masing stasiun hujan yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Koefisien korelasi 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

Sumber: Hasil analisis (2022)

Dari hasil perhitungan jarak dan koefisien korelasi antar stasiun hujan pada Tabel 6 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 (Z1) dan kesalahan interpolasi (Z3) dengan maksimal 10% dapat dilihat pada Tabel 7.

**Gambar 4.** Grafik hubungan jarak stasiun hujan dengan korelasi di DAS Tukad Mati

Sumber: Hasil analisis (2022)

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 (Z1) dan kesalahan interpolasi (Z3), dengan menerapkan persamaan 3 dan persamaan 5, serta panjang jaringan (L). Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai Z1 sebesar 0.07408 dan Z3 sebesar 0.0795. Berikutnya berdasarkan rekapitulasi curah hujan rerata daerah didapatkan Cv sebesar 0.182 (sesuai Tabel 3). 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 (Z1) digunakan $5\% \leq Z1 \leq 10\%$ dalam rangka menentukan jumlah stasiun curah hujan ideal pada DAS Tukad Mati. Perhitungan jumlah variasi pos hujan (N), nilai Z1 dan Z3 disajikan pada Tabel 7.

Berdasarkan nilai kesalahan perataan stasiun hujan (Z1) yang dicoba dengan range nilai $5\% \leq Z1 \leq 10\%$ 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 8 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 9 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 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 7. Variasi Jumlah Pos Hujan, Nilai Z1, Nilai Z3, dan Jarak Antar Pos Hujan Pada DAS Tukad Mati

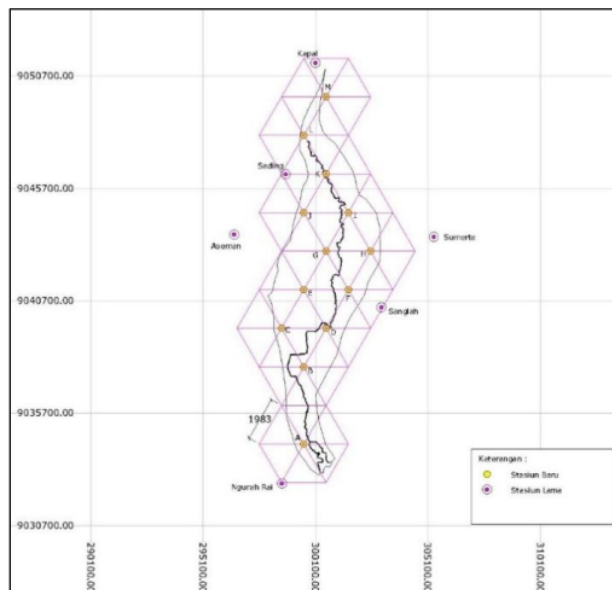
N	Cv	r ₍₀₎	d ₍₀₎	A	Z1 (%)	Z3 (%)	L	N	Cv	r ₍₀₎	d ₍₀₎	A	Z1 (%)	Z3 (%)	L
1	0.182	0.4517	75.758	44.667	18.096	8.201	7.151	16	0.182	0.4517	75.758	44.667	4.540	7.881	1.788
2	0.182	0.4517	75.758	44.667	12.813	8.078	5.057	17	0.182	0.4517	75.758	44.667	4.404	7.878	1.734
3	0.182	0.4517	75.758	44.667	10.468	8.022	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

Sumber: Hasil analisis (2022)

Tabel 8. Evaluasi Pemilihan Stasiun Hujan Untuk (N=13), (Z1 = 5.036 %), (Z3 = 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

Sumber: Hasil analisis (2022)



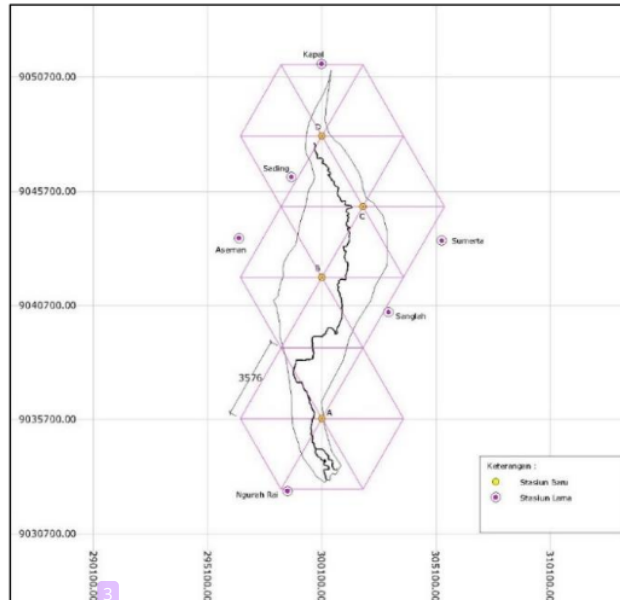
Gambar 4. Jaringan Segitiga Sama Sisi Metode Kagan-Rodda Dengan (N=13), (Z1 = 5.036 %), (Z3 = 7.893 %), dan (L =1.983 km)

Sumber: Hasil analisis (2022)

Tabel 9. 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

Sumber: Hasil analisis (2022)

**Gambar 5.** Jaringan-Jaring Segitiga Sama Sisi Metode Kagan-Rodda Dengan ($N=4$), ($Z1 = 9.069\%$), ($Z3 = 7.989\%$), dan ($L = 3.576$ km)
Sumber: Hasil analisis (2022)

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

DOI 10.22146/jcef.XXXXX

ISSN Print : 2303-2693

ISSN Online : 2581-2939

perataan stasiun hujan maksimum ($Z1$) = 9.069 % didapat N (jumlah stasiun hujan) = 4, kesalahan interpolasi perhitungan ($Z3$) = 7.989 %, dan L = 3.576 km. Sedangkan dengan kesalahan perataan stasiun hujan minimum ($Z1$) = 5.036 % didapat N (jumlah stasiun hujan) = 13, kesalahan interpolasi perhitungan ($Z3$) = 7.893 %, dan L = 1.983 km. Berdasarkan analisa Kagan-Rodda didapat bahwa stasiun yang dapat direkomendasikan adalah Stasiun Hujan Ngunrah Rai, Stasiun Hujan Sanglah, Stasiun Hujan Sading, dan Stasiun Hujan Kapal.

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.
- 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>
- Ishomodin, 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*.
- Kumiawati, 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.
- Renaldy, 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).
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset Yogyakarta.
- Yekti, M. I., Inrdyana, I. B. G., & Arsana, I. G. N. K. (2021). Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(2), 129–141.

RASIONALISASI JARINGAN STASIUN CURAH HUJAN PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI TUKAD MATI

ORIGINALITY REPORT

43%
SIMILARITY INDEX

41%
INTERNET SOURCES

7%
PUBLICATIONS

12%
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	iptek.its.ac.id Internet Source	8%
2	repository.ub.ac.id Internet Source	7%
3	positori.usu.ac.id Internet Source	4%
4	Submitted to Universitas Warmadewa Student Paper	4%
5	ojs.ummetro.ac.id Internet Source	3%
6	pengairan.studentjournal.ub.ac.id Internet Source	3%
7	www.slideshare.net Internet Source	2%
8	sipil.ejournal.web.id Internet Source	2%
9	www.ejournal.warmadewa.ac.id Internet Source	1%

10	123dok.com Internet Source	1 %
11	Submitted to Ahsanullah University of Science and Technology Student Paper	1 %
12	journal.uir.ac.id Internet Source	1 %
13	repository.warmadewa.ac.id Internet Source	1 %
14	repository.its.ac.id Internet Source	1 %
15	jurnalpengairan.ub.ac.id Internet Source	1 %
16	jurnal.pnk.ac.id Internet Source	<1 %
17	www.scribd.com Internet Source	<1 %
18	pengairan.ub.ac.id Internet Source	<1 %
19	adoc.pub Internet Source	<1 %
20	id.scribd.com Internet Source	<1 %

21 SHOGO ARAI, ZHUANG FENG, Fuyuki Tokuda, Adam Purnomo, Kazuhiro Kosuge. "Deep Learning-based Fast Grasp Planning for Robotic Bin-picking by Small Data Set without GPU", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2021
Publication

22 jurnal.unitri.ac.id
Internet Source

23 garuda.kemdikbud.go.id
Internet Source

24 jurnal.umt.ac.id
Internet Source

25 Ega Widyawati, Nani Nagu, Muhammad Rizal, K.M. Zulkarnain, Oki Syafrel. "Rationalization of Rainfall Station In Ternate Island", E3S Web of Conferences, 2021
Publication

26 dokumen.tech
Internet Source

27 jurnal.umj.ac.id
Internet Source

28 digilib.unila.ac.id
Internet Source

29 ajstd.org
Internet Source

30 id.123dok.com <1 %
Internet Source

31 jurnal.untan.ac.id <1 %
Internet Source

32 www.jurnal.unsyiah.ac.id <1 %
Internet Source

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On

RASIONALISASI JARINGAN STASIUN CURAH HUJAN PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI TUKAD MATI

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

/0

GENERAL COMMENTS

Instructor

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12
