

Penggunaan Metode Kagan-Rodda Untuk Mengevaluasi Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan di DAS Ngrowo Pada Aliran Kali Brantas

Muhammad Hafiizh Imaaduddin^{1,*}, S. Kamilia Aziz¹, H. Wahyudi¹, E. Sumirman¹, Tami Adiningtyas²

Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹, Balai Besar Wilayah Sungai, Kementrian PUPR, Surabaya²

Koresponden*, m_hafiizh@ce.its.ac.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	04 Maret 2022	<i>In the water building planning, hydrological component is an important component. One of the major components in hydrology is the rain data that recorded by each rain station, both the quality and quantity of the recording. Therefore it takes a rationalization review and evaluation of the rain station network in order to get an effective and efficient network. The study took a place at the Ngrowo watershed that has an area of 1,512.20 km² with 21 rain stations scattered in the watershed. It uses two methods: the WMO (World Meteorological Organization) and Kagan-Rodda methods. The analysis result of the WMO standard in the Ngrowo watershed is that only 2 out of 21 rain posts that have a normal density. Meanwhile, Kagan-Rodda analysis with 0.8% alignment error has result that 15 out of 21 rain station that selected.</i>
Diperbaiki	12 April 2022	
Disetujui	18 Mei 2022	

Keywords: rain station, WMO, Kagan-Rodda, rationalization

Kata kunci: stasiun hujan, WMO, Kagan-Rodda, rasionalisasi

Abstrak

Dalam perencanaan bangunan air, komponen hidrologi merupakan komponen yang penting. Salah satu komponen utama dalam hidrologi adalah data hujan yang dicatat oleh setiap stasiun hujan, baik kualitas maupun kuantitas pencatatan pada setiap pos hujan. Sehingga dibutuhkan kajian rasionalisasi dan evaluasi jaringan stasiun hujan agar mendapatkan jaringan pos stasiun hujan efektif dan efisien. Studi ini dilakukan di DAS Ngrowo yang memiliki luas wilayah 1.512,20 km² dengan 21 stasiun hujan yang tersebar di DAS tersebut. Analisis rasionalisasi dan evaluasi dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode WMO (World Meteorological Organization) dan Kagan-Rodda. Dari hasil analisis menggunakan standard WMO, didapati 2 dari 21 pos hujan yang memiliki kerapatan normal. Sedangkan dari hasil analisis menggunakan metode Kagan-Rodda dengan kesalahan perataan 0,8% merekomendasikan 15 dari 21 pos stasiun hujan terpilih.

1. Pendahuluan

Dalam perencanaan bangunan air, hidrologi menjadi salah satu komponen yang harus diperhatikan. Terdapat banyak parameter dalam hidrologi yang berpengaruh penting dalam perencanaan, salah satunya adalah hujan [1]. Hujan yang turun dapat mendatangkan manfaat dan juga bencana. Dengan adanya hujan, lahan pertanian dan perkebunan dapat terairi secara alami dan cadangan air tanah pun meningkat akibat infiltrasi atau resapan hujan kedalam tanah [2]. Namun, bila turun dalam waktu yang lama dan tidak ada upaya preventif, hujan justru dapat menyebabkan bencana alam seperti tanah longsor, banjir bandang, hingga kerusakan daerah aliran sungai [3]. Oleh sebab itu dalam setiap perencanaan bangunan keairan diperlukan data hidrologi yang akurat sebagai upaya preventif menghadapi bencana yang disebabkan hujan.

Untuk mengetahui besarnya data hidrologi yang didapat dari pos hujan maka dibutuhkan jaringan pengukuran hujan. Jaringan pengukuran hujan akan memberikan besarnya takaran atau curah hujan. 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 [4] [5].

Kesalahan dalam pemantauan data dasar hidrologi dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) akan menghasilkan data yang tidak tepat, sehingga mengakibatkan hasil perencanaan, penelitian dan pengelolaan sumber daya air yang kurang efektif dan efisien [6] [7]. Karena itulah penting untuk mengetahui berapa banyak jumlah pos hujan yang perlu ditempatkan dalam satu wilayah DAS untuk melihat karakteristik data hidrologi secara akurat, efektif dan efisien.

DAS Ngrowo terletak di 2 kabupaten yakni kabupaten Tulungagung dan kabupaten Trenggalek, dan merupakan salah satu Sub DAS dari DAS Brantas. DAS Ngrowo memiliki beberapa permasalahan yaitu pencemaran limbah organik [8] [9], serta alih fungsi lahan. Menurut penelitian terdahulu [10], pada rentang tahun 1992-2008 curah hujan harian di Daerah Aliran Sungai Ngrowo cukup tinggi, yakni mencapai diatas 100 mm. Selain itu faktor topografi wilayah yang relatif datar dan landai memiliki kemiringan lereng 0-8%. Kedua hal ini mengakibatkan tinggi genangan banjir rata-rata

lebih dari 2 meter dengan lama genangan lebih dari delapan jam di area pekarangan dan lebih dari 20 jam di area sawah.

Menurut standar World Meteorological Organization (WMO), DAS Ngrowo merupakan daerah pegunungan tropis mediteran dan sedang yang memiliki syarat kerapatan jaringan 100-250 km² untuk setiap pos hujannya. Sehingga dengan adanya 21 pos hujan eksisting untuk luasan DAS sebesar 1.512,20 km², akan didapat kerapatan jaringan sebesar 72 km² untuk setiap pos hujan, yang terlalu rapat atau berlebihan. Maka dari itu perlu dilakukan analisis rasionalisasi guna menyederhanakan atau meratakan perletakan pos stasiun hujan [11].

Berkaitan dengan hal tersebut, maka diperlukan studi untuk mengevaluasi kerapatan jaringan pos hujan di DAS Ngrowo yang dilakukan dengan standar WMO dan Kagan-Rodda sehingga menghasilkan rekomendasi pos hujan yang rasional, efektif dan efisien.

2. Metode

Adapun tahapan metodologi dalam penelitian ini yaitu pengumpulan data sekunder berupa data curah hujan selama 10 tahun, peta sebaran & data stasiun hujan, peta topografi, peta Sungai, 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 Polygon 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 [12]. Polygon Thiessen dihitung dengan persamaan 1.

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

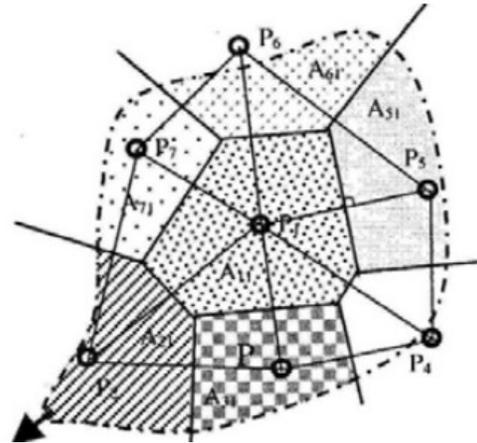
dengan

- R : curah hujan daerah rata-rata
- R_n : Curah hujan ditiap titik pos curah hujan
- A_n : Luas daerah Thiessen yang mewakili titik pos curah hujan

2.2 Metode 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 bisamemberikan data yang

baik untuk analisis yang lebih detail [13]. Dengan tujuan diatas, Badan Meteorologi Dunia atau WMO (World Meteorological Organization) menyarankan kerapatan minimum jaringan stasiun hujan sebagaimana terlihat pada **Tabel 1**.



Gambar 1. Metode Polygon Thiessen [17]

Tabel 1. Kerapatan Minimum Jaringan Stasiun Hujan Rekomendasi WMO [14]

No.	Tipe	Luas Daerah (km ²) per Satu pos	
		Kondisi Normal	Kondisi Sulit
1.	Daerah dataran tropis mediteran dan sedang	600-900	3.000-9.000
2.	Daerah pegunungan tropis mediteran dan sedang	100-250	1.000-5.000
3.	Daerah kepulauan kecil bergunung dengan curah hujan bervariasi	140-300	
4.	Daerah arid dan kutub	1.500-10.000	

2.3 Metode Kagan Rodda

Penetapan jaringan stasiun hujan tidak hanya terbatas pada penentuan jumlah stasiun yang dibutuhkan dalam suatu luasan DAS, namun juga tempat dan pola penyebarannya [15]. Petunjuk yang bersifat kualitatif diberikan oleh Rodda, yaitu dengan memanfaatkan koefisien korelasi hujan [16, 17]. 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 [18]. 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. Secara garis besar langkah-langkah perhitungan yang dilakukan dalam perencanaan jaringan Kagan-Rodda adalah seperti di bawah ini [17]:

1. Berdasarkan pos hujan yang sudah ada, dibuat hubungan antara jarak pos dengan data hujan disesuaikan dengan keperluan. Dalam penentuan tersebut tidak perlu memperhatikan arah, karena tidak berdampak pada korelasi antara keduanya.
2. Hubungan yang didapat pada tahap sebelumnya digambar pada grafik lengkung eksponensial, sehingga dari grafik tersebut didapatkan nilai $d_{(0)}$ dengan menggunakan nilai rerata d dan $r_{(d)}$.

Nilai koefisien variasi (Cv) didapatkan dari jaringan pos hujan yang tersedia. Untuk analisis jaringan Kagan-Rodda, memakai persamaan 2-7 [17].

$$r_{(d)} = r_{(0)} \cdot e^{\left[\frac{-d}{d_{(0)}}\right]} \tag{2}$$

$$Z_1 = Cv \sqrt{\frac{1-r_{(0)} + \left[\frac{0.23 \sqrt{A}}{d_{(0)} \sqrt{n}}\right]}{n}} \tag{3}$$

$$Z_3 = Cv \sqrt{\frac{1}{3} (1 - r_{(0)}) + \frac{0.52 r_{(0)} \sqrt{A}}{d_{(0)}}} \tag{4}$$

$$L = 1,07 \sqrt{\frac{A}{n}} \tag{5}$$

$$Cv = \left(\frac{S}{X}\right) \tag{6}$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{[(n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2)(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2)]}} \tag{7}$$

dengan:

- $r_{(d)}$: Koefisien korelasi untuk jarak stasiun sejauh d
- $r_{(0)}$: Koefisien korelasi untuk jarak stasiun yang sangat pendek
- d : jarak antar stasiun (km)
- $d_{(0)}$: radius korelasi
- Cv : Koefisien variasi
- A : luas DAS (km)
- N : jumlah stasiun
- Z_1 : Kesalahan perataan (%)
- Z_3 : Kesalahan interpolasi (%)
- L : Jarak antar stasiun (km)
- S : Standart deviasi
- X : nilai rata-rata
- r : koefisien korelasi
- n : jumlah data
- X_1 : data hujan pada stasiun X
- Y_1 : data hujan pada stasiun Y

2.4 Analisis Regresi

Koefisien Determinasi

Analisis koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengetahui seberapa besar prosentase sumbangan pengaruh variabel bebas secara serentak terhadap variabel tak bebas [19]. Persamaan regresi Y terhadap X , nilai R^2 dihitung dengan mengkuadratkan nilai koefisien korelasi. Dalam penelitian ini, digunakan model Regresi Linear Sederhana. Dikatakan sederhana karena hanya ada satu pengubah bebas dan tidak ada parameter yang muncul sebagai suatu eksponen atau dikalikan atau dibagi oleh parameter lain serta menghasilkan model regresi yang baik.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Deskripsi Lokasi Studi



Gambar 2. Area DAS Ngrowo

Pada Gambar 2, terlihat area DAS Ngrowo dengan blok warna merah muda. DAS Ngrowo terletak di kabupaten Tulungagung dan Trenggalek (garis batas wilayah berwarna merah), provinsi Jawa Timur dengan luasan DAS mencapai ±1.512,20 km² dan memiliki 21 pos stasiun hujan.

3.2 Analisis Curah Hujan Rerata Daerah

Analisis data hujan menggunakan Polygon Thiessen dengan memberikan bobot tertentu pada setiap stasiun hujan. Data yang di peroleh adalah dari tahun 2010-2019 pada setiap stasiun hujan. Hasil perhitungan rata-rata curah hujan dari setiap pos stasiun hujan, ditampilkan pada Tabel 2.

3.3 Evaluasi Jaringan Stasiun Hujan Berdasarkan WMO

Evaluasi kerapatan jaringan stasiun hujan adalah untuk menentukan jumlah stasiun hujan yang ideal di dalam sebuah DAS. Salah satu metode dari evaluasi jaringan stasiun hujan adalah berdasarkan standard WMO pada Tabel 3. Untuk daerah DAS Ngrowo dengan tipe DAS berbentuk dataran pegunungan tropis memiliki syarat setiap satu stasiun hujan mewakili luasan tangkapan 100-250 km².

Tabel 2. Rekapitulasi Curah Hujan Rata-Rata

No	Nama Stasiun	Rata-rata
1	Bagong	1.978,2
2	Bandung	1.472,6
3	Bendo	1.589,7
4	Bendungan	2.694,4
5	Bolorejo	1.822,6
6	Boyolangu	1.620,6
7	Campurdarat	1.576,4
8	Kalidawir	1.526,4
9	Kampak	1.943,4
10	Ngantup	2.374,0
11	Ngulang Wetan	1.578,2
12	Pagerwojo	1.982,8
13	Pakel	1.212,4
14	Prambon	2.143,6
15	Pule	1.836,5
16	Sendang	2.582,2
17	Song Jambu II	1.727,8
18	Sumber Pandan	3.204,6
19	Tugu	1.886,5
20	Tumpak Mergo	1.624,6
21	Widoro	1.541,4

Tabel 3. Hasil Analisis Standard WMO

No	Nama Stasiun	Luas (km ²)	Keterangan
1	Bagong	52,30	< Kerapatan Minimum
2	Bandung	25,53	< Kerapatan Minimum
3	Bendo	33,37	< Kerapatan Minimum
4	Bendungan	101,97	Normal
5	Bolorejo	34,22	< Kerapatan Minimum
6	Boyolangu	63,03	< Kerapatan Minimum
7	Campurdarat	62,01	< Kerapatan Minimum
8	Kalidawir	38,40	< Kerapatan Minimum
9	Kampak	149,84	Normal
10	Ngantup	22,96	< Kerapatan Minimum
11	Ngulang Wetan	49,28	< Kerapatan Minimum
12	Pagerwojo	67,28	< Kerapatan Minimum
13	Pakel	43,70	< Kerapatan Minimum
14	Prambon	65,04	< Kerapatan Minimum
15	Pule	91,92	< Kerapatan Minimum
16	Sendang	45,41	< Kerapatan Minimum
17	Song Jambu II	70,07	< Kerapatan Minimum
18	Sumber Pandan	94,09	< Kerapatan Minimum

No	Nama Stasiun	Luas (km ²)	Keterangan
19	Tugu	84,71	< Kerapatan Minimum
20	Tumpak Mergo	38,40	< Kerapatan Minimum
21	Widoro	50,27	< Kerapatan Minimum

Dari 21 pos hujan di DAS Ngrowo menurut standart WMO yang memiliki kerapatan ideal adalah 2 pos hujan yaitu pos hujan Bendungan dan pos Kampak, sedangkan 19 pos hujan lainnya memiliki kerapatan minimum.

3.4 Analisis Jaringan Stasiun Hujan Metode Kagan-Rodda

Kerapatan stasiun hujan memengaruhi nilai interpolasi [20]. Dalam Analisis jaringan stasiun hujan dengan metode Kagan-Rodda kaitannya adalah dengan kesalahan interpolasi dan kesalahan perataan (*Interpolation error and averaging error*). Analisis Kagan Rodda pada DAS Ngrowo didasarkan pada curah hujan rerata didapatkan nilai koefisien variasi (CV) yaitu 0,23.

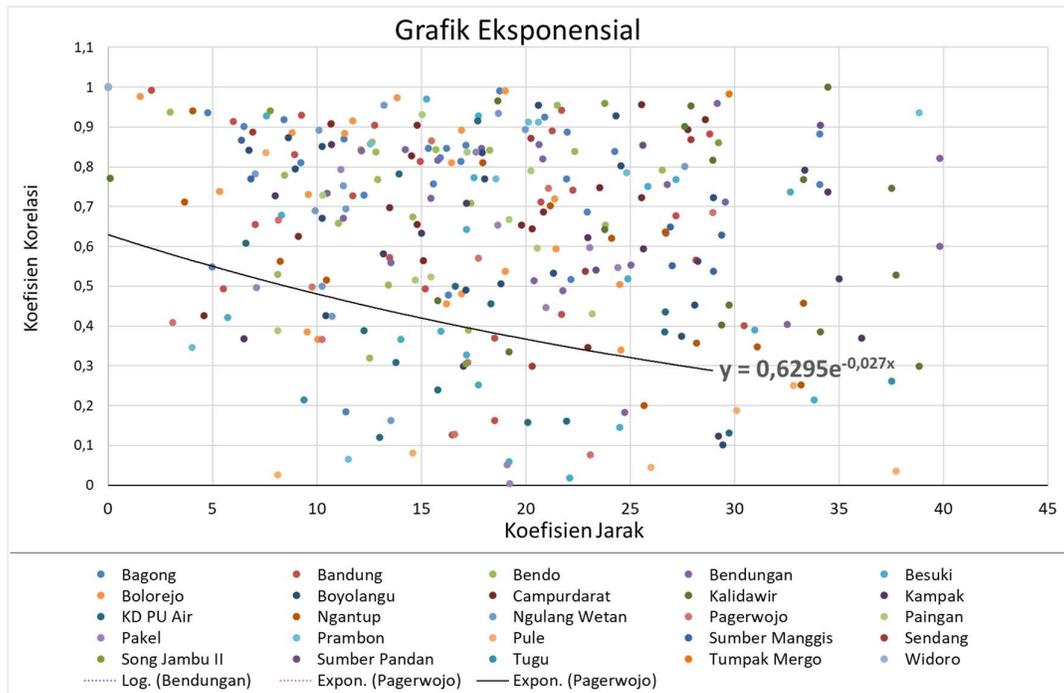
Setelah didapatkan nilai koefisien variasi (CV), selanjutnya menghitung koefisien korelasi (r) yang akan digambarkan pada grafik lengkung eksponensial hubungan antara koefisien korelasi dan jarak.

Dari grafik lengkung eksponensial pada **Gambar 4**, diperoleh $r_{(0)} = 0.6295$ dan nilai $d_{(0)} = 37.037$ km menghasilkan 15 stasiun hujan yang terpilih dengan lokasi dan kualitas data yang baik. Berikutnya menghitung kesalahan perataan (Z_1) dan kesalahan interpolasi (Z_3) dengan maksimal 10% dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Sedangkan dari hasil perhitungan pada **Tabel 4**, dengan menggunakan rumus (2) hingga (7), didapat nilai kesalahan perataan (Z_1) yaitu 0.14% dan kesalahan interpolasi (Z_3) yaitu 10.6%. Pada **Tabel 5**, menunjukkan hasil analisis rasionalisasi, yakni 15 dari 21 pos hujan eksisting yang terpilih dari perhitungan metode Kagan-Rodda.



Gambar 3. Pos Hujan yang terpilih



Gambar 4. Grafik Lengkung Ekspensial

Tabel 4. Perhitungan Z₁ dan Z₃

n	Cv	r(0)	A (km ²)	d(0)	Z ₁ (%)	Z ₃ (%)
1	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	15,896
2	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	14,081
3	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	13,197
4	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	12,641
5	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	11,948
6	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	11,710
7	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	11,515
8	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	11,350
9	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	11,209
10	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,979
11	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,882
12	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,796
13	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,646
14	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,581
15	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,521
16	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,414
17	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,365
18	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,320
19	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,278
20	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,238
21	0,233	0,629	1.512,20	37,037	0,182	10,201

Tabel 5. Pemilihan Pos Hujan

No	Nama Stasiun hujan	d(0)	r (0)	r (d)	$\frac{r_0 - r_d}{r_0}$	Ket
1	Bagong	37,04	0,629	0,625	0,69%	Terpilih
2	Bandung	37,04	0,629	0,623	0,98%	Terpilih
3	Bendo	37,04	0,629	0,605	3,82%	Terpilih
4	Bendungan	37,04	0,629	0,558	11,32%	Tidak Terpilih
5	Bolorejo	37,04	0,629	0,586	6,86%	Terpilih
6	Boyolangu	37,04	0,629	0,605	3,87%	Terpilih
7	Campurdarat	37,04	0,629	0,590	6,21%	Terpilih
8	Kalidawir	37,04	0,629	0,567	9,81%	Terpilih
9	Kampak	37,04	0,629	0,564	10,35%	Tidak Terpilih
10	Ngantup	37,04	0,629	0,602	4,24%	Terpilih
11	Ngulang Wetan	37,04	0,629	0,563	10,51%	Tidak Terpilih
12	Pagerwojo	37,04	0,629	0,577	8,30%	Terpilih
13	Pakel	37,04	0,629	0,574	8,67%	Terpilih
14	Prambon	37,04	0,629	0,556	11,61%	Tidak Terpilih
15	Pule	37,04	0,629	0,583	7,35%	Terpilih
16	Sendang	37,04	0,629	0,609	3,11%	Terpilih

No	Nama Stasiun hujan	d(0)	r (0)	r (d)	$\frac{r_0 - r_d}{r_0}$	Ket
17	Song Jambu II	37,04	0,629	0,592	5,87%	Terpilih
18	Sumber Pandan	37,04	0,629	0,558	11,31%	Tidak Terpilih
19	Tugu	37,04	0,629	0,552	12,22%	Tidak Terpilih
20	Tumpak Mergo	37,04	0,629	0,567	9,81%	Terpilih
21	Widoro	37,04	0,629	0,572	9%	Terpilih

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis diatas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan standard WMO dengan syarat kerapatan stasiun hujan 100-250 km² per stasiun untuk daerah pegunungan tropis mediteran dan sedang, Sub DAS Ngrowo dengan luas DAS adalah 1.512,20 km² disarankan 2 stasiun hujan dengan kerapatan normal dari 21 stasiun hujan. 2 stasiun hujan ini yaitu Bendungan dan Kampak.
2. Hasil Analisis berdasarkan Metode Kagan-Rodda diperoleh 15 stasiun hujan yang terpilih dari 21 stasiun hujan yang ada, stasiun hujan tersebut adalah Bendo, Bandung, Bagong, Bolorejo, Boyolangu, Campurdarat, Kalidawir, Ngantup, Pagerwojo, Pakel, Pule, Sendang, Song Jambu II, Tumpak Mergo, dan Widoro.
3. Pertimbangan analisis standart WMO adalah memperlihatkan nilai kerapatan normal untuk jarak ideal antar pos stasiun hujan dalam wilayah Sub DAS, sedangkan analisis Kagan-Rodda menunjukkan nilai perataan dan interpolasi antara koefisien korelasi data hujan harian dan hubungan jarak antar pos hujan.

Analisis rasionalisasi dengan metode WMO dan Kagan-Rodda menghasilkan rekomendasi pos hujan efektif yang berbeda, dikarenakan masing-masing metode memiliki cara perhitungan dan pertimbangan yang berbeda. Pertimbangan dalam mengambil kebijakan dalam pengelolaan pos stasiun hujan ini nantinya dapat didasarkan dari beberapa hal seperti prioritas keberadaan pos dalam menanggulangi bencana perubahan iklim pada lingkungan sub DAS Ngrowo, dari segi efisiensi biaya pemeliharaan, dan operasional inventarisasi data juga sebagai penentuan pos hujan mana yang akan tetap difungsikan.

Daftar Pustaka

- [1] R. Renaldhy, I. W. Yasa, and E. Setiawan, "Evaluasi Rasionalisasi Stasiun Hujan Metode Kagan Rodda

- dengan Mempertimbangkan Kriteria Penentuan Lokasi Pembangunan Stasiun Hujan," *J. Tek. Pengair.*, vol. 12, no. 1, pp. 49–60, 2021.
- [2] H. Wibowo, "Laju Infiltrasi pada Lahan Gambut yang Dipengaruhi Air Tanah (Study Kasus Sei Raya Dalam Kecamatan Sei Raya Kabupaten Kubu Raya)," *J. Belian*, vol. 9, no. 1, pp. 90–103, 2010.
 - [3] C. Frei and C. Schär, "A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations," *Int. J. Climatol.*, vol. 18, no. 8, pp. 873–900, 1998.
 - [4] E. Prawati and V. Dermawan, "Penentuan Jarak Antar Stasiun Hujan Dengan Metode Kagan Rodda Di Das Kedunglarangan Kabupaten Pasuruan Provinsi Jawa," *Teknol. Apl. Konstr.*, vol. 7, no. 1, pp. 90–100, 2017.
 - [5] Z. R. Alfirman, L. M. Limantara, and S. Wahyuni, "Rasionalisasi Kerapatan Pos Hujan Menggunakan Metode Kagan-Rodda Di Sub Das Lesti," *J. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 153–164, 2019.
 - [6] T. Kurniawati, "Evaluasi Dan Rasionalisasi Kerapatan Jaringan Pos Hujan Dan Pos Duga Air Dengan Metode Stepwise di Sub DAS Lesti," *J. Mhs. Tek. Pengair.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2017.
 - [7] S. Fathoni, Very Dermawan, and Ery Suhartanto, "Analisis Efektivitas Kerapatan Jaringan Pos Stasiun Hujan Di Das Kedungsoko Dengan Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (Artificial Neural Network)," *Tek. Pengair.*, vol. 7, no. 1, pp. 46–51, 2016.
 - [8] R. Fatmawati, A. Masrevaniah, and M. Solichin, "Kajian Identifikasi Kali Ngrowo Dengan Menggunakan Paket Program QUAL2Kw," *J. Tek. Pengair.*, vol. 3, no. 2, pp. 122–131, 2012.
 - [9] L. Kusairi, M. Safitry, and F. Nikmah, "Banjir Dan Upaya Penanganan Pasca Kemerdekaan Tahun 1955 - 1971 Di Tulungagung," *MOZAIK J. Kaji. Sej.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–18, 2019.
 - [10] Fauziah, "Kejadian Banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ngrowo Ngasinan Tahun 1992 - Tahun 2008, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur," University of Indonesia, 2008.
 - [11] M. Rodhita, "Rasionalisasi Jaringan Penakar Hujan Di Das Kedungsoko Kabupaten Nganjuk," *J. Pengair.*, vol. 3, p. 185, 2012, [Online]. Available: <https://jurnal.pengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/163>.
 - [12] S. Harto, *Hidrologi: Teori, masalah, penyelesaian*. Jakarta: Nafiri Offset, 2000.
 - [13] A. A. Adihaningrum, V. Dermawan, and D. Chandrasasi, "Rasionalisasi Jaringan Stasiun Hujan Menggunakan Metode Kagan – Rodda Dengan

- Memperhitungkan Faktor Topografi Pada Daerah Aliran Sungai (Das) Sampean, Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur,” 2017.
- [14] R. K. Linsley and J. B. Franzini, *Teknik Sumber Daya Air Jilid II*. Jakarta: Erlangga, 1986.
- [15] S. Arifah, E. Suhartanto, and D. Chandrasasi, “Rasionalisasi Jaringan Pos Stasiun Hujan Pada DAS Kemuning Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Kagan-Rodda Dan Kriging Dengan Mempertimbangkan Aspek Topografi,” *J. Mhs. Jur. Tek. Pengair.*, vol. 1, no. 2, p. 15, 2018.
- [16] J. C. Rodda, “Precipitation Network,” *WMO Bull.*, vol. No. 324, p, 1967.
- [17] S. Harto, *Hidrologi Terapan*, 2nd ed. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, 1994.
- [18] PUPengairan, “Pedoman Rasionalisasi Pos Hidrologi dengan Metode Stepwise, Analisa Bobot, Kriging, Kagan dan Analisa Regional,” Jakarta, 2014.
- [19] Damodar Gujarati, *Ekonometrika Dasar*, 2nd ed. 1995.
- [20] H. Xu, C. Y. Xu, H. Chen, Z. Zhang, and L. Li, “Assessing the influence of rain gauge density and distribution on hydrological model performance in a humid region of China,” *J. Hydrol.*, vol. 505, pp. 1–12, 2013, doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.09.004.

Halaman ini sengaja dikosongkan