

RASIONALISASI JARINGAN STASIUN HUJAN MENGGUNAKAN METODE KAGAN RODDA DENGAN MEMPERHITUNGKAN FAKTOR TOPOGRAFI PADA DAS SAROKAH KABUPATEN SUMENEP (Pulau Madura, Jawa Timur)

Eri Prawati¹, Very Dermawan².

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro¹, Jl. Ki Hajar Dewantara No.116 Metro 34111

Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang², Jl. MT Haryono Malang 65123.

E-mail : eri.prawati@yahoo.co.id¹, veryderma@gmail.com²

ABSTRAK

Data hasil pengukuran hujan didapatkan dari stasiun hujan yang tersebar di beberapa titik pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Untuk menetapkan jumlah hujan yang jatuh di dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS), dibutuhkan sejumlah stasiun hujan yang di pasang sedemikian rupa sehingga diperoleh data yang mewakili besaran hujan yang ada pada DAS yang bersangkutan. Kesalahan dalam pengukuran seringkali terjadi dan ini yang menyebabkan data tidak akurat. Jumlah penyebaran dan kondisi stasiun hujan merupakan faktor yang sangat mempengaruhi kesalahan dalam pengukuran pada stasiun hujan. Ketelitian pengukuran data hujan dipengaruhi oleh jumlah stasiun hujan dan pola penyebaran di dalam DAS.

Berdasarkan analisa WMO dan Kagan – Rodda yang telah dilakukan, diperoleh analisa WMO merekomendasikan jumlah stasiun hujan yang ada di DAS Sarokah adalah 4 stasiun hujan. Sedangkan Kagan – Rodda merekomendasikan 7 stasiun hujan dengan kualitas data yang baik. Melihat bentuk DAS Sarokah yang memiliki bentuk yang memanjang, maka dipilih stasiun hujan hasil rekomendasi analisa Kagan – Rodda dengan 7 stasiun hujan agar tiap-tiap stasiun hujan dapat mewakili setiap luasan di DAS Sarokah.

Kata kunci: rasionalisasi, stasiun hujan, topografi

PENDAHULUAN

Data hasil pengukuran hujan didapatkan dari stasiun hujan yang tersebar di beberapa titik pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Untuk menetapkan jumlah hujan yang jatuh di dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS), dibutuhkan sejumlah stasiun hujan yang di pasang sedemikian rupa sehingga diperoleh data yang mewakili besaran hujan yang ada pada DAS yang bersangkutan. Kesalahan dalam pengukuran seringkali terjadi dan ini yang menyebabkan data tidak akurat. Data yang tidak akurat dapat menyebabkan pengolahan data tidak

efektif dan efisien. Jumlah penyebaran dan kondisi stasiun hujan merupakan faktor yang sangat mempengaruhi kesalahan dalam pengukuran pada stasiun hujan.

Ketelitian pengukuran data hujan dipengaruhi oleh jumlah stasiun hujan dan pola penyebaran di dalam DAS. Penempatan stasiun hujan yang tepat, jumlah stasiun hujan, pola penyebarannya akan dapat diperoleh data yang akurat mengenai kedalaman, penyebaran dan intensitas hujannya.

Hal-hal yang perlu diperhatikan mengenai stasiun hujan adalah (Harto, 1993:20) adalah :

1. Kerapatan optimum mengandung arti jumlah yang mencukupi dan penyebaran yang memadai di seluruh DAS
2. Kerapatan hendaknya tidak terlalu tinggi, karena akan mengakibatkan biaya pemasangan, pengoperasian dan pemeliharaan yang mahal
3. Penyebaran stasiun hujan mampu menggambarkan variabilitas ruang DAS yang teramati dengan baik.

Untuk mendapatkan kerapatan dan penyebaran stasiun hujan yang optimum di Indonesia tidaklah mudah. Apalagi dengan kondisi topografi di Indonesia berbeda dengan kondisi topografi dimana metode-metode pola penyebaran di rumuskan. Semakin tinggi kerapatan stasiun hujan akan semakin teliti data yang diperoleh, tetapi harus diperhatikan juga biaya yang tidak sedikit untuk pembangunan, pengoperasian, perawatan, pengukuran, pengolahan dan publikasi data serta pengadaan alatnya.

Analisa penyebaran hujan diperlukan untuk mengetahui apakah jumlah stasiun hujan yang ada saat ini dapat mewakili kondisi wilayah lokasi penelitian sehingga dapat mengoptimalkan jumlah stasiun hujan yang bertujuan untuk menjadi pertimbangan pengambilan keputusan bagi instansi guna efisiensi biaya, tenaga dan waktu. Sehingga diperlukan rasionalisasi jaringan stasiun hujan yang optimal dan efisien baik dari segi ekonomis maupun pengelolaan supaya dapat diketahui stasiun hujan mana yang bersifat dominan dan representatif pada DAS Sarokah Kabupaten Sumenep.

DAS Sarokah adalah salah satu DAS yang representatif besar berada di Kabupaten Sumenep, Pulau Madura, Provinsi Jawa Timur. Luas DAS Sarokah seluas 392,49 km² memiliki dua (2) anak Sub DAS yaitu Sokrah dan Anjuk. Mengaliri Kecamatan Guluk-guluk, Ganding, Lenteng, Jepun, Rubaru, Kebon Agung, Saronggi, Bluto dan Kota Sumenep. Sungai utama yang mengalir

DAS Sarokah yaitu sungai Marengan, Sarokah dan beberapa sungai ordi lainnya.

Informasi kondisi hidrologi diperlukan untuk mendukung pengelolaan sumber daya air dalam suatu DAS. Hidrologi juga mempelajari perilaku hujan terutama meliputi periode ulang curah hujan karena berkaitan dengan perhitungan banjir serta rencana untuk bangunan air. Hal ini tidak terlepas dari pentingnya jumlah stasiun hujan yang ideal serta penempatan lokasi stasiun yang dapat mewakili sebagai representasi karakteristik suatu DAS.

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut

1. Bagaimana kondisi kerapatan jaringan stasiun hujan eksisting pada DAS Sarokah berdasarkan standar WMO ?
2. Bagaimana kondisi kerapatan jaringan stasiun hujan menggunakan metode Kagan-Rodda yang ada pada DAS Sarokah ?

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui kondisi kerapatan jaringan stasiun hujan eksisting pada DAS Sarokah berdasarkan standar WMO.
2. Mengetahui kondisi kerapatan jaringan stasiun hujan menggunakan metode Kagan-Rodda yang ada pada DAS Sarokah.

Manfaat dari penelitian ini berupa masukan kepada instansi terkait mengenai jaringan stasiun hujan yang paling efektif di DAS Sarokah.

Jaringan dalam pengertian ini adalah satu sistem yang terorganisasi untuk mengumpulkan data hidrologi secara optimum untuk berbagai kepentingan. Unsur yang hendak dicapai dalam suatu jaringan stasiun hujan adalah kerapatan jaringan yang optimum serta peroleh informasi yang maksimum, sehingga dari hasil pengukuran satu set stasiun dapat diperoleh besaran variabel hidrologi di semua titik dengan ketelitian yang cukup.

Dalam proses pengembangan jaringan, perlu diperhatikan bahwa tingkat keterikatan antar stasiun merupakan dasar perencanaan jaringan. Hubungan dan keterikatan tersebut hanya dapat diuji apabila terdapat data hasil pengukuran. Oleh sebab itu, dengan mengandaikan bahwa jaringan yang dimaksudkan belum pernah ada dalam daerah yang ditinjau maka perencanaan harus dimulai dengan satu jaringan sembarang yang dipasang dengan tingkat kewajaran yang ada, baik jumlah maupun penempatannya (Harto, 1990:27).

Analisis Data Hujan Curah Hujan Rerata Daerah

Pengukuran tinggi hujan pada satu stasiun hujan merupakan pengukuran pada titik tersebut saja. Untuk mendapatkan nilai curah hujan dalam satu areal yang luas (dalam suatu DAS), maka kita bisa menggunakan beberapa stasiun hujan. Curah hujan daerah merupakan nilai rerata dari pengukuran beberapa stasiun hujan yang berada di dalam atau di sekitar kawasan DAS tersebut.

Cara yang bisa kita gunakan untuk menghitung curah hujan daerah dari beberapa stasiun hujan, yaitu (Soemarto, 1999:10):

1. Cara Tinggi Rata-Rata

Tinggi rata-rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*arithmetic mean*) pengukuran pos penakar-penakar hujan di dalam areal tersebut.

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n}$$

dimana:

d = tinggi curah hujan rata-rata

$d_1, d_2, \dots, d_n$ = tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, ..., n

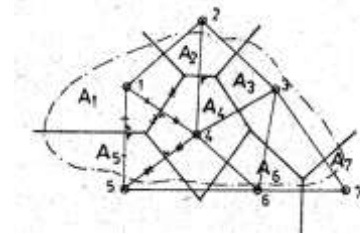
n = banyaknya pos penakar

Cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika pos-pos penakarnya ditempatkan secara merata di areal

tersebut, dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal.

2. Cara Poligon Thiessen

Cara ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar.



Gambar 1. Poligon thiessen
Sumber: Soemarto (1987:10)

Misalnya A_1 adalah luas daerah pengaruh pos penakar 1, A_2 luas daerah pengaruh pos penakar 2, dan seterusnya. Jumlah $A_1 + A_2 + \dots + A_n = A$ adalah jumlah luas seluruh areal yang dicari tinggi curah hujan rata-ratanya. Jika pos penakar 1 menakar tinggi hujan d_1 , pos penakar 2 menakar d_2 , dan pos penakar n menakar d_n , maka

$$d = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A}$$

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

$$d = \sum_{i=1}^n p_i d_i$$

dimana:

A = luas areal

d = tinggi curah hujan rata-rata areal

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = tinggi curah hujan di pos 1, 2, 3, ..., n

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = luas daerah pengaruh pos 1, 2, 3, ..., n

$$\sum_{i=1}^n p_i = \text{jumlah persentase luas} = 100\%$$

Hasil perhitungan menggunakan metode poligon thiessen memberikan ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan metode rata-rata aljabar.

Analisis Frekwensi

Analisis fekuensi bukan unutup menentukan besarnya debit aliran sungai pada suatu saat, tetapi lebih tepat untuk memperkirakan apakah debit aliran sungai tersebut akan melampaui atau menyamai suatu harga tertentu misalnya untuk 10 tahun, 20 tahun dan seterusnya yang akan datang.

Distribusi Log-Pearson III

Parameter-parameter statistik yang diperlukan oleh distribusi Log Perason Type III adalah : rata-rata, penyimpangan baku (*standart deviasi*), koefisien kepengcengan. Prosedur perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Mengubah data debit banjir tahunan sebanyak n buah $X_1, X_2, \dots, X_n$ menjadi $\text{Log } X_1, \text{Log } X_2, \dots, \text{Log } X_n$.

2. Menghitung harga rata-rata (*mean*) :

$$\text{Log } X = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}$$

3. Menghitung harga penyimpangan baku (*Standart Deviasi*) (S_d) :

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log X)^2}{n-1}}$$

4. Menghitung koefisien Kepengcengan (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log X)^3}{n-1}$$

5. Hujan rancangan dengan kala ulang tertentu :

$$\text{Log } X = \log X + K \cdot S_d$$

6. Debit banjir rancangan dengan kala ulang tertentu didapat dengan menghitung antilog dari Q_t .

Uji Kesesuaian Frekuensi

Uji kesesuaian frekuensi dimaksudkan untuk mengetahui suatu

kebenaran hipotesa dalam hal ini hipotesa distribusi frekuensi Log Pearson III. Karena setiap hipotesa dapat diterima atau ditolak, sehingga dengan uji kesesuaian tersebut akan dapat diketahui

- Kesesuaian antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis.

- Kebenaran hipotesa, diterima atau ditolak.

Uji kesesuaian frekwensi yang digunakan adalah uji Smirnov Kolmogorov dan Kai Kuadrat (*Chi-Square*) yaitu sebagai berikut :

1. Uji Smirnov Kolmogorov

Pengujian ini dilakukan dengan menggambarkan probabilitas untuk tiap data, yaitu dari perbedaan distribusi empiris dan distribusi teoritis yang disebut Δ maks. Dalam bentuk persamaan dapat ditulis (Harto,1983:180)

$$\Delta_{maks} = |P(T) - P(E)|$$

dimana :

Δ_{maks} = Selisih antara peluang teoritis dengan peluang empiris

Δ_{cr} = Simpangan kritis (dari tabel)

$P(T)$ = Peluang teoritis

$P(E)$ = Peluang empiris

2. Uji Kai Kuadrat

Uji kai kuadrat dilakukan untuk menguji simpangan secara vertical, yang ditentukan dengan rumus sebagai berikut

$$:X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Ef - Of)^2}{Ef}$$

dimana :

X^2 = Harga chi-square hasil perhitungan

Ef = Frekwensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

Of = Frekwensi yang diamati pada kelas yang sama.

Untuk derajat nyata tertentu yang diambil adalah 5%, derajat kebebasan ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$Dk = k - (P + 1)13$$

$$k = 1 + 3,22 \log n$$

dimana :

Dk = Derajat kebebasan
 P = Banyaknya parameter sebaran
 kai- kuadrat
 k = Jumlah kelas distribusi
 n = Banyaknya data
 Sebaran distribusi frekwensi Log Pearson Type III dapat diterima :
 - Apabila $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$, pada uji Smirnov-Kolmogorov
 - Apabila $X^2 < X^2_{cr}$, pada uji Chi-Square

Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan

Kerapatan jaringan dapat diartikan sebagai luasan daerah yang diwakili oleh setiap stasiun hujan. Kerapatan jaringan didasarkan pada aspek teknis dan ekonomi di wilayah yang bersangkutan, agar tercapai kerapatan jaringan yang optimum sesuai dengan nilai sosial ekonomi data atau tingkat ketelitian yang dibutuhkan. Setiap jaringan stasiun hujan yang sudah ada perlu dikaji kembali secara rutin setiap periode pengoperasian untuk meningkatkan kualitasnya.

Badan Meteorologi Dunia atau World Meteorological Organization (WMO)

Tabel 1. Kerapatan Jaringan WMO

No.	Tipe Daerah	Luas Daerah (Km ²) per stasiun hujan
1	Daerah dataran tropis mediteran dan sedang	600 – 900
2	Daerah pegunungan tropis miditeran dan sedang	100 – 250
3	Daerah kepulauan kecil bergunung dengan curah 25 hujan bervariasi	
4	Daerah arid (kering) dan kutub	1500 – 10000

Sumber: Linsley (1986:67)

Metode Kagan Rodda

Penetapan jaringan stasiun hujan tidak hanya terbatas pada penentuan jumlah

stasiun yang dibutuhkan dalam suatu DAS, namun juga tempat dan pola penyebarannya. Dari beberapa cara yang disebutkan di atas, belum dibahas tentang penyebaran stasiun hujan di dalam DAS yang bersangkutan. Dalam hal ini tidak ada petunjuk sama sekali. Petunjuk yang bersifat kualitatif diberikan oleh Rodda (1970), yaitu dengan memanfaatkan koefisien korelasi hujan (Harto,1993,p.29). Hal ini masih harus dikaitkan dengan keadaan sekitarnya yang menyangkut masalah ketersediaan tenaga pengamat dan pola penyebarannya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh 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,1986,p.22).

Pada dasarnya cara ini mempergunakan analisis statistik yang mengaitkan kerapatan jaringan stasiun hujan dengan kesalahan interpolasi dan kesalahan perataan (*Interpolation error and averaging error*). Persamaan-persamaan yang dipergunakan untuk analisis jaringan Kagan-Rodda adalah sebagai berikut (Harto,1993,p.31) :

$$r_{(d)} = r_{(0)} \cdot e^{\left(\frac{-d}{d_0}\right)}$$

$$Z_1 = C_v \cdot \sqrt{\frac{1 - r_{(0)} + \left(\frac{0.23\sqrt{A}}{d(0)\sqrt{n}}\right)}{n}}$$

$$Z_2 = C_v \cdot \sqrt{\frac{\frac{1}{3}(1 - r_{(0)}) + \frac{0.52 \cdot r_{(0)} \sqrt{\frac{A}{n}}}{d_{(0)}}}{n}}$$

$$L = 1.07 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$$

dengan:

$r_{(d)}$ = koefisien korelasi untuk jarak stasiun sejauh d
 $r_{(o)}$ = koefisien korelasi untuk jarak stasiun yang sangat pendek
 d = jarak antar stasiun (km)
 $d_{(o)}$ = radius korelasi
 C_v = koefisien variasi
 A = luas DAS (km)
 n = jumlah stasiun
 Z_1, Z_2 = kesalahan perataan (%) dan kesalahan interpolasi (%)
 L = jarak antar stasiun (km)

Kesalahan Relatif

Kesalahan relatif digunakan untuk menghitung prosentase kesalahan relatif jaringan stasiun hujan yang dimodelkan terhadap jaringan stasiun hujan yang sudah ada. Perhitungan kesalahan relatif dilakukan dengan rumus berikut (Sugiyono, 2017):

$$K_r = \left| \frac{X_a - X_b}{X_a} \right|$$

dengan :

K_r = kesalahan relatif (%)
 X_a = nilai asli
 X_b = aproksimasi/pemodelan

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian di DAS Sarokah Kabupaten Sumenep. Secara keseluruhan DAS Sarokah memiliki luas sebesar 392,49 km². Secara geografis DAS Sarokah terletak pada koordinat 7°1'27,3" LU dan 113°53'24,74" BT.



Gambar 2. Peta administrasi Kabupaten Sumenep

Tahapan Penelitian

Tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Data-data yang diperlukan
 - Data curah hujan bulanan
 - Data debit bulanan Pos Duga Air
2. Uji konsistensi dengan metode kurva massa ganda
3. Analisis hujan rata-rata harian maksimum DAS dengan 2 metode rata-rata hitung dan Poligon Thiessen.
4. Analisis distribusi frekuensi dengan metode Log Pearson Tipe III kemudian diuji kesesuaian distribusi dengan Uji Smirnov-Kolmogorov dan Chi Square.
5. Menghitung koefisien korelasi dan membuat grafik hubungan antara jarak dengan nilai korelasi antar stasiun hujan, kemudian menentukan persamaan garis $r(o)$ dan $d(o)$ dari persamaan regresi yang didapat.
6. Menentukan jumlah stasiun hujan yang dibutuhkan dengan syarat perataan (Z_1) = 5% dan panjang sisi jaring Kagan-Rodda.
7. Mengeplot jaringan Kagan Rodda di atas pada peta DAS dan memilih stasiun yang terdekat dengan titik simpul kagan.
8. Apabila stasiun telah terpilih, kemudian menghitung curah hujan rata-rata harian maksimum jaringan Kagan Rodda dengan 2 metode, yaitu Rata-rata Hujan dan Poligon Thiessen.
9. Kemudian menghitung analisa frekuensi dan menguji kesesuaian distribusinya sesuai dengan yang dikerjakan pada langkah sesuai pada kondisi eksisting.
10. Menghitung curah hujan rancangan untuk jaringan Kagan-Rodda dengan metode Log Pearson Tipe III.
11. Menghitung kesalahan relatif curah hujan rancangan kondisi

12. Menentukan curah hujan jam-jaman berdasarkan koefisien pengaliran yang ada.
13. Menghitung debit banjir rancangan dengan menggunakan metode hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu.



Gambar 3. Diagram alir Pelaksanaan Jaringan Kagan-Rodda

PEMBAHASAN DAN HASIL

Data curah hujan yang digunakan yaitu data curah hujan yang berasal dari 10 stasiun hujan di DAS Sumenep. Semua data yang ada pada 10 stasiun hujan tercatat oleh Dinas Tata Ruang dan Sumber Daya Air Kabupaten Sumenep.

Tabel 2. Lokasi Stasiun Hujan

No	Stasiun	Letak		Lokasi		Kategori
		Bujur (E)	Lintang (S)	Desa	Kecamatan	
1.	Guluk-Guluk	113° 40'	07° 03'	Guluk-Guluk	Guluk-Guluk	Suame
	Guluk	34,4 0"	16,4 0"	Guluk	Guluk	ne p
		113° 41'	07° 02'			Suame
2.	Ganding	24,7 2"	28,1 5"	Ganding	Ganding	ne p

		113° 47'	07° 01'			Su me
3	Lent . eng	04,7 0"	40,9 0"	Lent eng	Lent eng	ne p
4	Jepu . n	113° 46' 34,4 7"	07° 02' 20,3 5"		Jepu n	Su me ne p
5	Saro . nggi	113° 49' 43,2 0"	07° 04' 58,9 1"	Saro nggi	Saro nggi	ne p Su me
6	Blut . o	113° 48' 41,2 6"	07° 06' 18,6 0"	Blut o	Blut o	ne p
7	Keb . on	113° 42' 39,3 0"	07° 19' 39,0 1"	Keb ona gun g	Keb ona gun g	Su me ne p
8	Rub . aru	113° 52' 06,7 6"	06° 57' 25,9 2"	Rub aru	Rub aru	Su me ne p
9	Man . ding	113° 0" 20,0 0"	07° 0" 03,5 0"	Man ding Kot a	Man ding Kot a	ne p Su me
10	Sum . ene p	113° 52' 07,7 0"	07° 00' 31,2 0"	Kot Sum enep	Kot Sum enep	Su me ne p

Sumber: Hasil Survei

Uji Konsistensi Data Hujan

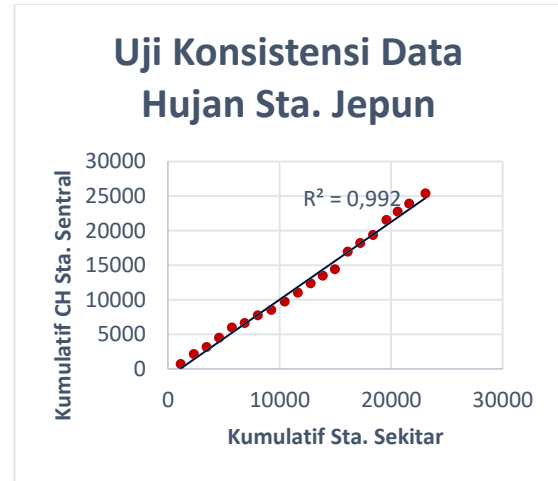
Uji konsistensi data dimaksudkan untuk mengetahui kebenaran data lapangan.

Untuk mengetahui konsistensi dari tiap data hujan, maka pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan analisa kurva massa ganda dimulai dari tahun terakhir.

Tabel 3. Uji Konsistensi Stasiun Jepun dengan stasiun Sekitar.

Tahun	Jepun		Sekitar	
	CH Tahunan	Kumulatif	CH Rat-a-Rata	Kumulatif
1997	677	677	1155	1155
1998	1429	2106	1170	2325
1999	1035	3141	1141	3466
2000	1329	4470	1141	4607
2001	1468	5938	1149	5756
2002	683	6621	1147	6903
2003	1071	7692	1172	8075
2004	832	8524	1201	9276
2005	1203	9727	1206	10482
2006	1276	11003	1168	11650
2007	1346	12349	1143	12793
2008	1118	13467	1089	13882
2009	919	14386	1095	14977
2010	2521	16907	1159	16136
2011	1265	18172	1120	17257
2012	1160	19332	1150	18406
2013	2190	21521	1195	19601
2014	1214	22735	995	20596
2015	1143	23878	1055	21651
2016	1481	25359	1439	23091

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4. Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Jepun dan sekitarnya

Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah

Perhitungan curah hujan rerata daerah menggunakan metode Poligon Thiessen.

Tabel 4. Faktor Koreksi Luas Pengaruh Poligon Thiessen

No	Stasiun	Luas (KM ²)	Koef. Thiessen
1	Guluk-guluk	69,5	0.177
2	Ganding	58,404	0.149
3	Jepun	47,627	0.121
4	Saronggi	51,93	0.132
5	Lenteng	38,029	0.097
6	Sumenep	13,547	0.035
7	Manding	13,834	0.035
8	Rubaru	42,898	1,09
9	Kebonagung	39,253	0.045
10	Bluto	17,57	0.017
Σ		392,57	1

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5. Luas Daerah menurut WMO

No	Nama	Luas Daerah Per Stasiun Hujan (Km ²)				
		Luas Km ²	Prosentase %	Kondisi Ideal	Kondisi Normal	Kondisi Sulit
				100-250	300-1000	1000-5000
1	Jepun	47,627	12,132	Ideal	-	-
2	Guluk-Guluk	69,478	17,698	Ideal	-	-
3	Saronggi	51,930	13,228	Ideal	-	-
4	Ganding	58,404	14,877	Ideal	-	-
5	Kebonagung	39,253	9,999	Ideal	-	-
6	Rubaru	42,898	10,927	Ideal	-	-
7	Manding	13,834	3,524	Ideal	-	-
8	Bluto	17,570	4,476	Ideal	-	-
9	Sumenep	13,547	3,451	Ideal	-	-
10	Lenteng	38,029	9,687	Ideal	-	-

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan dari hasil analisa, diketahui 10 stasiun hujan yang ada di DAS Sarokah berada pada kondisi ideal dilihat dari luas daerah pengaruhnya. Hal ini dinilai sangat optimal namun tidak didukung oleh kualitas statistik data curah hujan yang baik. Selanjutnya hasil dari analisa dengan standar WMO ini akan digunakan sebagai acuan dalam analisa kerapatan stasiun hujan berdasarkan metode Kagan– Rodda.

Analisa Jaringan Stasiun Hujan Menggunakan Metode Kagan Rodda

Langkah – langkah dalam perhitungan metode Kagan – Rodda adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai rata-rata hujan daerah dari *Polygon Thiessen*

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \\ &= \frac{19160,255}{15} \\ &= 1277,350\end{aligned}$$

2. Menghitung standar deviasi

$$\begin{aligned}Sd &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \\ &= 217,399\end{aligned}$$

3. Menghitung koefisien variasi

$$\begin{aligned}Cv &= \frac{Sd}{\bar{X}} \\ Cv &= \frac{217,399}{1270,350} \\ &= 0,170\end{aligned}$$

Tabel 6. Koefisien Variasi Curah Hujan Rerata Daerah

No	Tahun	X	(Xi-Xrerata) ²
1	1999	1.360,855	1.186.238,121
2	2000	1.546,742	1.625.707,915
3	2001	1.400,167	1.273.416,853
4	2002	929,706	432.959,212
5	2003	1.047,874	602.430,661
6	2004	1.276,747	1.010.099,374
7	2005	1.359,420	1.183.113,713
8	2006	1.499,456	1.507.360,053
9	2007	1.669,440	1.953.649,811
10	2008	1.317,199	1.093.047,116
11	2009	958,994	472.359,518
12	2011	1.261,850	980.377,040
13	2012	1.304,669	1.067.005,832
14	2014	1.227,922	914.341,217
15	2015	999,215	529.264,721
Jumlah		19.160,255	15.831.371,154
Rerata		1.277,350	
Sd		217,399	
Cv		0,170	

Sumber: Hasil Perhitungan

4. Menghitung koefisien korelasi hujan kumulatif tahunan

$$\begin{aligned}r &= \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[\left(n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right) \right]}} \\ &= \frac{(15 \times 24356974) - (19200,9 \times 18890)}{\sqrt{((15 \times 25748801^2) - 19200,9^2) \times ((15 \times 25953045) - 18890^2)}} \\ &= 0,111\end{aligned}$$

Tabel 7. Koefisien Korelasi Hujan Kumulatif Tahunan

No	Tahun	Sumenep		Lenteng		Xi . Yi
		Xi	Xi ²	Yi	Yi ²	
1	1999	1.865	3.479.388	1.369	1.874.967	2.554.161
2	2000	1.779	3.165.484	1.032	1.065.799	1.836.782
3	2001	1.058	1.119.977	1.582	2.502.063	1.673.993
4	2002	1.261	1.590.784	751	564.286	947.448
5	2003	1.317	1.734.701	493	243.139	649.440
6	2004	1.218	1.484.319	1.286	1.653.549	1.566.650
7	2005	1.117	1.248.639	1.750	3.062.463	1.955.482
8	2006	1.258	1.582.671	1.682	2.830.168	2.116.418
9	2007	1.591	2.531.471	2.045	4.181.522	3.253.522
10	2008	1.427	2.035.098	1.196	1.431.542	1.706.848
11	2009	863	744.813	1.057	1.118.278	912.638
12	2011	1.042	1.086.360	1.187	1.408.499	1.236.987
13	2012	1.208	1.459.316	1.292	1.669.126	1.560.699
14	2014	1.293	1.672.774	1.104	1.219.118	1.428.044
15	2015	902	813.006	1.062	1.128.526	957.861
Jumlah		19.201	25.748.801	18.890	25.953.045	24.356.974
r		0,1110				

Sumber: Hasil Perhitungan

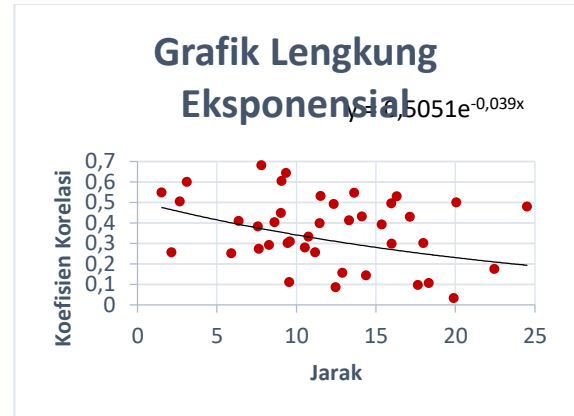
Berikut adalah tabel rekapitulasi untuk korelasi antara satu stasiun dengan seluruh stasiun yang ada di DAS Sarokah. Koefisien korelasi yang paling baik memiliki nilai minimal 0,6.

Tabel 8. Rekapitulasi Koefisien Korelasi Hujan Kumulatif Tahunan

No	Stasiun	Ket	Jarak Antar Stasiun dan Korelasi Antar Stasiun									
			Jepun	Guluk2	Saronggi	Gandung	Kebona gung	Rubaru	Mandingo	Bluto	Sum. Peng.	Lenteng
1	Jepun	Jarak		11,195	7,573	9,50	9,0363	9,444	14,3	8,29	10,77	1,527
		Koef. Korelasi		0,25494	0,381819	0,76037	0,448007	0,300481	0,14325	0,29199	0,33205	0,547452
2	Guluk2	Jarak			17,14956	2,14423	19,89446	13,64249	24,5073	15,9693	21,89693	12,34444
		Koef. Korelasi			0,428607	0,25639	0,032967	0,546995	0,47856	0,49463	0,0131	0,490923
3	Saronggi	Jarak				15,9956	9,6012	16,3109	15,3733	3,10181	9,3512	7,794727
		Koef. Korelasi				0,3088029	0,5285749	0,39203	0,500604	0,64307	0,681355	
4	Gandung	Jarak					17,98323	11,52548	22,4531	15,1634	20,0738	10,54247
		Koef. Korelasi					0,301373	0,530077	0,1748	0,1779	0,49878	0,278709
5	Kebona gung	Jarak						11,46511	5,91019	12,4709	2,66635	7,649263
		Koef. Korelasi						0,398025	0,25008	0,50405	0,604072	
6	Rubaru	Jarak							13,3182	17,6519	14,1298	8,635487
		Koef. Korelasi							0,41009	0,09430	0,40382	
7	Mandingo	Jarak								18,325	6,38212	12,88951
		Koef. Korelasi								0,10501	0,40841	0,15494
8	Bluto	Jarak									12,4211	9,07396
		Koef. Korelasi									0,0663	0,604637
9	Sum. Peng.	Jarak										9,550667
		Koef. Korelasi										0,110988
10	Lenteng	Jarak										
		Koef. Korelasi										

Sumber: Hasil Perhitungan

Selanjutnya digambarkan grafik hubungan antar stasiun dengan koefisien korelasi dalam sebuah grafik lengkung eksponensial. Nilai koefisien korelasi yang bernilai negatif tidak diikutsetakan atau dihapuskan.

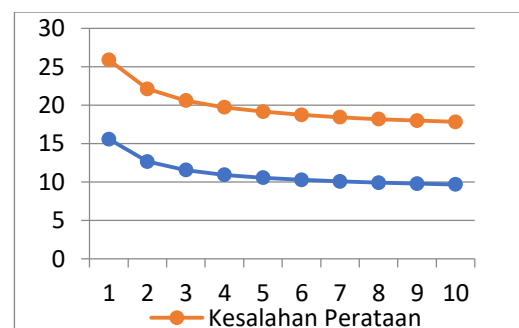


Gambar 5. Grafik lengkung eksponensial

Tabel 9. Kesalahan Perataan (Z1) dan kesalahan Interpolasi (Z3)

n	C _i	f _{0i}	A (km ²)	d _{0i}	A ^{0.5}	d _{0i} ^{0.5}	(A/d _{0i}) ^{0.5}	Z ₁ (%)	Z ₃ (%)
1	0,170	0,505	392,490	25,641	19,811	1,000	19,811	15,580	10,311
2	0,170	0,505	392,490	25,641	19,811	1,414	14,009	12,674	9,442
3	0,170	0,505	392,490	25,641	19,811	1,732	11,438	11,557	9,030
4	0,170	0,505	392,490	25,641	19,811	2,000	9,906	10,947	8,775
5	0,170	0,505	392,490	25,641	19,811	2,236	8,860	10,557	8,597
6	0,170	0,505	392,490	25,641	19,811	2,449	8,088	10,283	8,463
7	0,170	0,505	392,490	25,641	19,811	2,646	7,488	10,079	8,357
8	0,170	0,505	392,490	25,641	19,811	2,828	7,004	9,920	8,271
9	0,170	0,505	392,490	25,641	19,811	3,000	6,604	9,792	8,199
10	0,170	0,505	392,490	25,641	19,811	3,162	6,265	9,688	8,138

Berdasarkan tabel perhitungan kesalahan perataan (Z₁) dan kesalahan interpolasi (Z₃) diatas, didapatkan untuk DAS Sarokah seluar 392,49 km² menurut metode Kagan – Rodda dibutuhkan stasiun hujan sejumlah 7 stasiun di titik lokasi yang nantinya akan ditentukan dengan jaring-jaring Kagan – Rodda . Dengan nilai kesalahan perataan (Z₁) adalah 10,079 dan kesalahan interpolasi (Z₃) adalah 8,357



Gambar 6. Grafik hubungan antar jumlah Stasiun Hujan

Dengan didapatkan jumlah stasiun menurut Kagan – Rodda sebanyak 7 stasiun, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai panjang sisi-sisi segitiga jaring-jaring Kagan – Rodda.

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

$$= 1,07 \times (392,49/7)^{0,5}$$

$$= 8,012 \text{ km}$$

Dengan panjang sisi-sisi segitiga Kagan – Rodda sebesar 8,012 km, maka dapat digambarkan jaring-jaring segitiga Kagan – Rodda yang selanjutnya di plot kan diatas peta DAS Sarokah. Jaring-jaring segitiga Kagan – Rodda digeser sedemikian rupa dengan menggeser titik-titik simpul sesuai dengan jumlah stasiun yang ada pada DAS Sarokah sehingga didapatkan 10 kali percobaan penggeseran titik simpul.

Selanjutnya pemilihan percobaan stasiun hujan Kagan–Rodda berdasarkan pada jaring-jaring dimana stasiun di dalamnya jumlahnya sesuai dengan perhitungan kesalahan perataan dan kesalahan interpolasi yaitu 7 stasiun hujan dan berdasarkan keandalan data yang baik.

Berdasarkan analisa WMO dan Kagan–Rodda yang telah dilakukan, diperoleh analisa WMO merekomendasikan jumlah stasiun hujan yang ada di DAS Sarokah adalah 4 stasiun hujan. Sedangkan Kagan – Rodda merekomendasikan 7 stasiun hujan dengan kualitas data yang baik. Melihat bentuk DAS Sarokah yang memiliki bentuk yang memanjang, maka dipilih stasiun hujan hasil rekomendasi analisa Kagan – Rodda dengan 7 stasiun hujan agar tiap-tiap stasiun hujan dapat mewakili setiap luasan di DAS Sarokah

Berdasarkan analisa WMO dan Kagan – Rodda yang telah dilakukan, diperoleh analisa WMO merekomendasikan jumlah stasiun hujan yang ada di DAS Sarokah adalah 4 stasiun hujan. Sedangkan Kagan – Rodda merekomendasikan 7 stasiun hujan dengan kualitas data yang baik. Melihat bentuk DAS Sarokah yang memiliki bentuk yang memanjang, maka dipilih stasiun hujan hasil rekomendasi analisa Kagan – Rodda dengan 7 stasiun

hujan agar tiap-tiap stasiun hujan dapat mewakili setiap luasan di DAS Sarokah.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan maka disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Standar WMO (*World Meteorological Organization*) dengan ketentuan 100–250 km²/stasiun untuk daerah tropis, DAS Sarokah dengan luas DAS Sarokah adalah 392,49 km² membutuhkan 4 stasiun hujan terpilih dari 10 stasiun hujan.
2. Melalui analisa Kagan – Rodda, diperoleh 7 data hujan yang dipilih berdasarkan pembuatan jaring-jaring Kagan–Rodda dan memiliki keandalan data yang baik. Stasiun hujan tersebut adalah stasiun hujan Jepun, Ganding, Sumenep Pengairan, Guluk- Guluk, Lenteng, Bluto dan Rubaru

SARAN

1. Kondisi jaringan stasiun hujan yang ada pada saat ini dinilai berlebihan dan kurang efektif, sehingga stasiun yang dianggap kurang mewakili dapat dipindahkan ke titik lain di DAS Sarokah atau bisa juga dipindahkan ke DAS lain yang kerapatan jaringannya masih rendah..
2. Selain itu, hubungan (korelasi) antara setiap hujan terhadap debit juga harus cukup baik. Apabila tidak demikian, maka dapat dimaklumi apabila hasil analisis pada akhirnya kurang memuaskan. Faktor lain yang juga diduga bisa memberikan pengaruh adalah jeda waktu atau *time lag*, namun agaknya faktor ini sangat dominan pada basis data harian. Sedangkan pada data bulanan kiranya dapat diabaikan (tidak terlalu besar).
3. Hubungan aspek topografi terhadap curah hujan pada studi ini masih bersifat hipotetik dan empiris untuk

wilayah DAS yang dikaji, sehingga perlu mendapatkan banyak sekali perbandingan dari DAS lain agar menguatkan argumentasi yang dimiliki

DAFTAR PUSTAKA

- Harto, Sri. 1990. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hermawan, Arief. 2006. *Jaringan Saraf Tiruan: Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Kusumadewi, Sri. 2003. *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasi)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Linsley Jr., Ray K., Max A. Kohler, Joseph L. H. Paulus. 1986. *Hidrologi Untuk Insinyur*. Jakarta: Erlangga.
- Prawati, Eri. 2002. *Studi Evaluasi Kerapatan dan Pola Penyebaran Stasiun Penakar Hujan di DAS Ngrowo dan Sub DAS Widas*. Tesis, Universitas Brawijaya Malang. Tidak Diterbitkan.
- Soemarto, CD. 1999. *Hidrologi Teknik: Edisi ke-2 [Dengan Perbaikan]*. Jakarta: Erlangga.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data [Jilid 1]*. Bandung: NOVA.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data [Jilid 2]*. Bandung: NOVA.
- Wilson, EM. 1974. *Engineering Hydrology*. London: Willian and Basintoke.