

PENENTUAN JARAK ANTAR STASIUN HUJAN DENGAN METODE KAGAN RODDA DI DAS KEDUNGLARANGAN KABUPATEN PASURUAN PROVINSI JAWA TIMUR

Eri Prawati¹, Very Dermawan²

Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Metro,
Jalan Ki Hajar Dewantara No 116 Metro Lampung 34111¹
Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya Malang

Jalan MT Haryono Malang 65123²

E-mail: eri.prawati@yahoo.co.id, verydermawan123@yahoo.com²

ABSTRAK

Kualitas dari data dasar yang akan digunakan untuk suatu analisa sungai tergantung dari seberapa jauh pos hidrologi yang ada, dapat memantau karakteristik hidrologi dalam suatu daerah aliran sungai tersebut. Berapa jumlah pos hidrologi yang perlu ditempatkan dalam suatu DAS untuk memantau karakteristik hidrologi secara akurat dan benar. Permasalahannya adalah apakah jumlah pos-pos yang tersedia yang ada saat ini dalam suatu daerah aliran sungai sudah memadai, apakah jumlah dan lokasinya dapat memantau karakteristik hidrologi daerah tersebut. Adalah tidak mungkin dan diperlukan suatu biaya yang sangat mahal jika jumlah pos hidrologi sangat banyak. Dalam kondisi dimana jumlah pos terlalu banyak maka untuk melakukan analisa hidrologi kadang-kadang timbul masalah, pos mana yang akan digunakan apakah seluruhnya atau sebagian saja. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan antara stasiun hujan eksisting dan stasiun hujan menggunakan metode Kagan Rodda. Stasiun hujan eksisting mempunyai 16 stasiun hujan, setelah menggunakan metode Kagan Rodda menjadi 13 stasiun hujan dengan kesalahan relatif 1,977 %.

Kata kunci: jarak, stasiun hujan, Kagan Rodda

ABSTRACT

The quality of the baseline data to be used for a river analysis depends on how far the existing hydrological post is, able to monitor the hydrological characteristics within a watershed. How many hydrological posts need to be placed in a watershed to monitor hydrological characteristics accurately and correctly. The problem is whether the number of available stations currently available in a watershed is sufficient, whether the number and location can monitor the hydrological characteristics of the area. It is impossible and costly to have a very high number of hydrological posts. In conditions where the number of headings is too much then to perform a hydrological analysis sometimes arises a problem, which post will be used whether in whole or in part. The purpose of this research is to know the comparison between existing rain station and rain station using Kagan Rodda method. The existing rain station has 16 rain stations, after using Kagan Rodda method into 13 rain stations with a relative error of 1.977%.

Keywords: distance, rain gauge, Kagan Rodda

PENDAHULUAN

Analisis hidrologi berisi tentang data curah hujan, data iklim, data debit air. Sebelum mengumpulkan seluruh data DAS, sangat perlu memperhatikan keadaan

jaringan pengamatan hidrologi yang ada pada daerah aliran sungai. Jaringan dalam pengertian ini dimaksudkan sebagai satu sistem yang terorganisasi untuk mengumpulkan data hidrologi secara optimum untuk berbagai

kepentingan. Dalam kepentingan ini terkait dua kepentingan pokok yaitu tercapainya kerapatan jaringan yang optimum dan perolehan informasi yang maksimum, sehingga dengan pengukuran dari satu set stasiun dapat diperoleh besaran variabel hidrometeorologi di semua titik dengan ketelitian yang cukup (Harto 1993).

Kualitas dari data dasar yang akan digunakan untuk suatu analisa sungai tergantung dari seberapa jauh stasiun hidrologi yang ada dapat memantau karakteristik hidrologi dalam suatu daerah aliran sungai tersebut. Berapa jumlah stasiun hidrologi yang perlu ditempatkan dalam suatu DAS untuk memantau karakteristik hidrologi secara akurat dan benar. Permasalahannya adalah apakah jumlah stasiun-stasiun yang tersedia yang ada saat ini dalam suatu daerah aliran sungai sudah memadai, apakah jumlah dan lokasinya dapat memantau karakteristik hidrologi daerah tersebut. Adalah tidak mungkin dan diperlukan suatu biaya yang sangat mahal jika jumlah stasiun hidrologi sangat banyak. Dalam kondisi dimana jumlah stasiun terlalu banyak maka untuk melakukan analisa hidrologi kadang-kadang timbul masalah, stasiun mana yang akan digunakan apakah seluruhnya atau sebagian saja.

Analisis Data Hujan

Bila dalam suatu areal terdapat beberapa alat penakar atau pencatat curah hujan, maka untuk mendapatkan harga curah hujan areal adalah dengan mengambil harga rata-ratanya. Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rencana pemanfaatan air dan rencana pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah (*area rainfall*), bukan curah hujan pada suatu titik tertentu (*point rainfall*). Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm. Dalam studi ini metode yang digunakan untuk menentukan tinggi curah hujan rerata daerah yaitu Metode Poligon Thiessen, karena Poligon Thiessen dapat digunakan untuk menentukan luas pengaruh daerah stasiun hujan yang memiliki sebaran tidak merata.

Perbandingan luas poligon untuk setiap stasiun yang besarnya A_n/A . Thiessen memberi rumusan sebagai berikut:

$$R = \frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + \dots + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2-1)$$

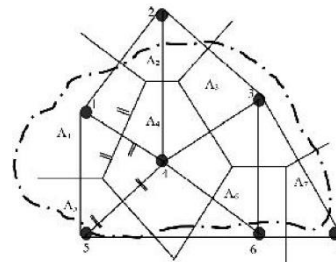
dengan:

R = Curah hujan daerah rata-rata

R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan di tiap titik stasiun Curah hujan

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah Thiessen yang mewakili titik stasiun curah hujan

n = Jumlah stasiun curah hujan



Gambar 1. Cara Poligon Thiessen

Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan adalah curah hujan yang terjadi pada suatu daerah dengan periode ulang tertentu.

Distribusi Log-Pearson III

Parameter-parameter statistik yang diperlukan oleh distribusi Log Pearson Type III adalah : rata-rata, penyimpangan baku (*standart deviasi*), koefisien kepercengan.

Uji Kesesuaian Frekuensi

Uji kesesuaian frekuensi 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:

$$\Delta_{maks} = |(T) - P(E)| \quad (3-10) \quad (2-2)$$

dimana:

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

Δ_{cr} = Simpangan kritis

$P(T)$ = Peluang teoritis

$P(E)$ = Peluang empiris

- Menghitung $P_e(x)$ dengan rumus dari Weibull

$$P_e = \frac{100 \cdot m}{n+1} \% \quad (2-3)$$

dalam hal ini :

P_e = Probabilitas empiris (%)

m = Nomor urut data dari seri yang telah diurutkan diurutkan dari besar ke kecil atau sebaliknya

n = Banyaknya data

2. Uji Kai Kuadrat

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

$$X^2 = \sum_{i=0}^n \frac{(E_f - O_f)}{E_f} \quad (2-4)$$

dimana :

X^2 = Harga chi-square hasil perhitungan

E_f = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

O_f = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama

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

$$Dk = k - (P+1) \quad (2-5)$$

$$k = 1 + 3,22 \log n \quad (2-6)$$

dimana :

Dk = Derajat kebebasan

P = Banyaknya parameter sebaran kai-kuadrat

k = Jumlah kelas distribusi

n = Banyaknya data

Sebaran distribusi frekuensi 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 dan Pola Penyebaran Stasiun Hujan

Penetapan jaringan stasiun hujan tidak hanya terbatas pada penetapan jumlah stasiun yang di butuhkan dalam suatu DAS, namun tempat dan pola penyebarannya, petunjuk yang bersifat kualitatif diberikan oleh Rodda (1970), yaitu dengan memanfaatkan koefisien korelasi hujan. Hal ini masih harus dikaitkan dengan keadaan sekitarnya yang menyangkut masalah ketersediaan tenaga pengamat dan pola penyebarannya.

Metode Kagan-Rodda

Pada penelitian yang dilakukan Kagan (1972), untuk hujan 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 (Sri Harto,1993). cara Kagan-Rodda telah banyak digunakan untuk menetapkan jaringan stasiun hujan pada beberapa DAS di pulau jawa.

Analisis Jaringan Kagan-Rodda

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:

$$r(d) = r(0) \cdot e^{-ddo} \quad (2-7)$$

$$Z1 = C_v \cdot \sqrt{1 - (0)^+} + (0,23 \sqrt{A} d(0) \sqrt{nn} \quad (2-8)$$

$$Z2 = C \cdot 13 (1-(0)^+ + 0,52 \cdot r(0) \cdot \sqrt{And(0)} \quad (2-9)$$

$$L = 1,07 \sqrt{An} \quad (2-10)$$

dimana :

$r(o)$ = koefisien korelasi untuk jarak stasiun sejauh d

$r(o)$ = koefisien korelasi untuk jarak stasiun yang sangat dekat

Cv = koefisien variasi

d = jarak antar stasiun (km)

$d(o)$ = radius korelasi, yaitu jarak antar stasiun dimana korelasi berkurang dengan faktor e .

A = luas DAS (km²)

n = jumlah stasiun

$Z1$ = kesalahan perataan (%)

$Z2$ = kesalahan interpolasi (%)

L = jarak antar stasiun (km)

Koefisien Variasi

Koefisien variasi merupakan variasi relatif dari suatu variabel terhadap nilai rata-rata aljabarnya, yang dapat dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Hitung nilai rata-rata hujan daerah dengan cara aljabar

$$X = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2-11)$$

2. Hitung standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n-1}} \quad (2-12)$$

2. Hitung koefisien variasi dengan rumus sebagai berikut :

$$Cv = \frac{S}{X} \quad (2-13)$$

dimana :

Cv = koefisien variasi

S = standar deviasi

X = nilai rata-rata

Koefisien variasi yang dihitung berdasarkan hujan bulanan biasanya rendah ($< 0,6$) tetapi untuk hujan harian pada umumnya sangat tinggi ($> 0,6$), hal ini mudah dipahami karena sifat hujan di daerah tropik seperti Indonesia yang sangat bervariasi dan tidak merata (Harto, 1993:34). Dasar analisis yang digunakan dalam jaringan Kagan-Rodda adalah sifat hujan yang merata dengan variasi rendah ($0,3 - 0,6$).

Koefisien korelasi

Cara Kagan-Rodda menggunakan hubungan antara kerapatan jaringan (jarak antar stasiun) dengan sifat statistik hujan pada masing-masing stasiun. Secara umum dapat ditentukan hubungan antara jarak antar stasiun dengan korelasi yang diperlukan dapat ditetapkan, maka jarak antar stasiun yang dibutuhkan dalam suatu jaringan yang dapat ditentukan.

Ukuran yang digunakan untuk menyatakan berapa kuat hubungan antara dua variabel (terutama data kuantitatif) dinamakan koefisien korelasi (r), yang dapat pula dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut

$$r = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{[n \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] \cdot [n \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad (2-14)$$

dimana:

r = koefisien korelasi

n = jumlah data

X_i = data hujan pada stasiun X

Y_i = data hujan pada stasiun Y

Pada umumnya nilai r bervariasi dari -1 melalui 0 hingga +1. Bila $r = 0$ atau mendekati 0, maka hubungan antara kedua variabel sangat lemah atau tidak ada hubungan sama sekali. Bila $r = +1$ atau mendekati +1, maka korelasi antara kedua variabel dikatakan stasioner dan sangat kuat. Bila $r = -1$ atau mendekati -1, maka korelasi antara kedua variabel dikatakan kuat dan negatif.

Tanda stasioner (+) dan negative (-) pada koefisien korelasi sebenarnya memiliki arti yang khas. Bila $r (+)$, maka korelasi antara kedua variabel bersifat searah. Dengan kata lain kenaikan / penurunan nilai variabel yang satu (X) terjadi dengan kenaikan / penurunan nilai variabel yang lain (Y). Bila $r (-)$, maka kenaikan nilai salah satu variabel (X) terjadi dengan penurunan nilai variabel yang lain (Y) dan sebaliknya.

Koefisien korelasi untuk hujan harian di Jawa (Indonesia) pada umumnya sangat rendah 0,06 - 0,59, sedangkan koefisien korelasi untuk hujan bulanan berkisar antara 0,67 - 0,94 (Sri Harto, 1993:34). Untuk nilai koefisien

korelasi yang rendah, berarti menunjukkan bahwa antara hujan di satu stasiun tidak ada hubungannya dengan hujan di stasiun lain. Sebaliknya untuk nilai koefisien korelasi yang tinggi, berarti hujan di satu stasiun memiliki korelasi atau hubungan dengan hujan di stasiun yang lain dan membentuk suatu fungsi baik itu dalam bentuk persamaan matematis atau persamaan garis. Dalam analisis Kagan-Rodda dibutuhkan data hujan yang memiliki korelasi diantara satu stasiun yang lain ($r > 0,6$).

Evaluasi Jaringan Stasiun Hujan

Kesalahan dalam pemantauan data dasar hidrologi dalam suatu daerah pengaliran sungai akan menghasilkan data siap pakai yang tidak benar dan mengakibatkan hasil perencanaan, penelitian, dan pengelolaan sumber daya air yang tidak efisien dan efektif. Kesalahan tersebut biasanya disebabkan oleh jumlah stasiun hujan dalam DAS yang kurang memadai dan pola penyebaran stasiun hujan yang tidak merata. Untuk mengatasi masalah tersebut menurut WMO (*World Meteorological Organization*), maka suatu DAS harus memiliki stasiun hujan yang mewakili kerapatan jaringan stasiun hujan minimum seluas 100-250 km²/stasiun. Kerapatan jaringan stasiun hujan dapat dinyatakan sebagai luas DAS yang diwakili oleh satu stasiun hujan. Sedangkan pola penyebaran stasiun hujan menyatakan lokasi penempatan stasiun hujan dalam DAS. Secara teoritis, semakin tinggi kerapatan stasiun hujan yang digunakan maka akan semakin tinggi pula ketelitian data yang diperoleh. Dalam merencanakan suatu jaringan stasiun hujan agar diperoleh data hujan yang mempunyai tingkat ketelitian cukup, maka perlu dilakukan evaluasi kerapatan dan pola penyebaran stasiun hujan yang sudah ada. Sehingga dapat diketahui perlu dan tidaknya dilakukan penambahan dan pengurangan stasiun hujan, atau perlu tidaknya dilakukan pemindahan stasiun lama ke tempat baru.

Kesalahan Relatif

Untuk memperoleh keyakinan bahwa stasiun-stasiun hujan yang dipilih dari hasil evaluasi berdasarkan analisis jaringan Kagan-Rodda cukup mewakili dari jumlah stasiun hujan yang tersedia maka dihitung presentase perbedaan besarnya curah hujan rancangan yang diperoleh berdasarkan jaringan Kagan-Rodda dengan besarnya curah hujan rancangan berdasarkan keadaan jaringan stasiun yang tersedia.

Penentuan kesalahan relatif curah hujan rancangan dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Kr = ((Xa - Xb) / Xa) * 100\%$$

(2- 15)

dimana :

Kr = kesalahan relatif curah hujan rancangan (%)

Xa = curah hujan rancangan berdasarkan jaringan stasiun hujan yang tersedia (mm)

Xb = curah hujan rancangan berdasarkan jaringan Kagan-Rodda (mm)

Hidrograf

Hidrograf dapat mendeskripsikan (*describe*) sebagai penyajian grafis antara salah satu unsur aliran dengan waktu. Oleh karena sifat-sifat fisik daerah aliran tersebut bentuk, ukuran, kemiringan, dan sebagainya adalah konstan, maka bentuk hidrograf dari hujan-hujan yang karakteristik hujannya sama diperkirakan akan sama pula (Linsley, 1989: 200). Hidrograf ini menunjukkan tanggapan menyeluruh (*integral response*) DAS terhadap masukan tertentu. Sesuai dengan sifat dan perilaku DAS yang bersangkutan, hidrograf aliran selalu berubah sesuai dengan besaran dan waktu terjadinya masukan. Salah satu bentuk hidrograf yang dapat digunakan untuk keperluan verifikasi adalah hidrograf satuan sintetis Nakayasu

Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Nakayasu menurunkan rumus hidrograf satuan sintetis berdasarkan hasil pengamatan dan penelitian pada beberapa

sungai di Jepang. Besarnya nilai debit puncak hidrograf satuan dihitung dengan rumus (Lily Montarcih, 2010):

$$Q_p = \frac{a \cdot R_o}{3,6(0,3 \cdot T_p + T_{0,3})} \quad (2-23)$$

dengan:

- Q_p = debit (m³/det)
- c = koefisien aliran (=1)
- A = luas daerah aliran sungai (km²)
- R_o = hujan satuan (mm)
- T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
- $T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam).

Nakayasu membagi bentuk hidrograf satuan dalam dua bagian, yaitu lengkung naik dan lengkung turun. Menurut Nakayasu, waktu naik hidrograf bergantung dari waktu konsentrasi, dan dihitung dengan persamaan:

$$T_p = T_g + (0,8 \times T_r) \quad (2-24)$$

dengan:

- t_g = waktu konsentrasi hujan (jam)
- Waktu konsentrasi dipengaruhi oleh panjang sungai utama (L):
- Jika $L < 15$ km: $70,0L \cdot 21,0t_g$
- Jika $L > 15$ km: $L \cdot 058,04,0t_g$

Hujan efektif yang menyebabkan terjadinya limpasan permukaan dihitung sebagai berikut:

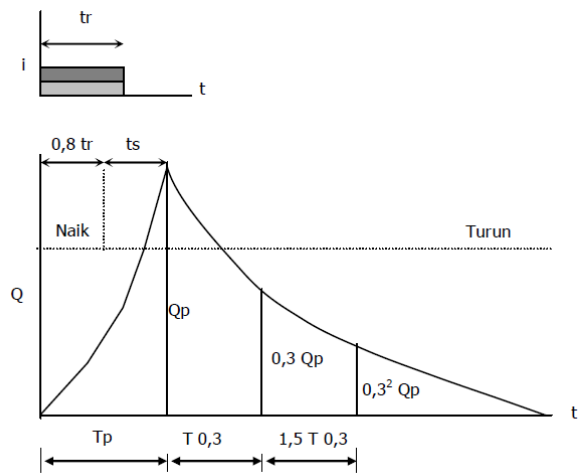
$$T_r = 0,75 \times T_g \quad (2-16)$$

Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai debit menjadi 30% dari debit puncak hidrograf satuan dihitung:

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g \quad (2-26)$$

dengan:

- α = koefisien yang bergantung pada karakteristik DAS
- Nilai α ditentukan berdasarkan:
- $\alpha = 2$ untuk daerah pengaliran biasa
- $\alpha = 1,5$ bagian naik hidrograf lambat dan bagian menurun cepat.
- $\alpha = 3$ bagian naik hidrograf cepat dan bagian menurun lambat.



Gambar 2. Bentuk hidrograf satuan sintetik Nakayasu

METODE

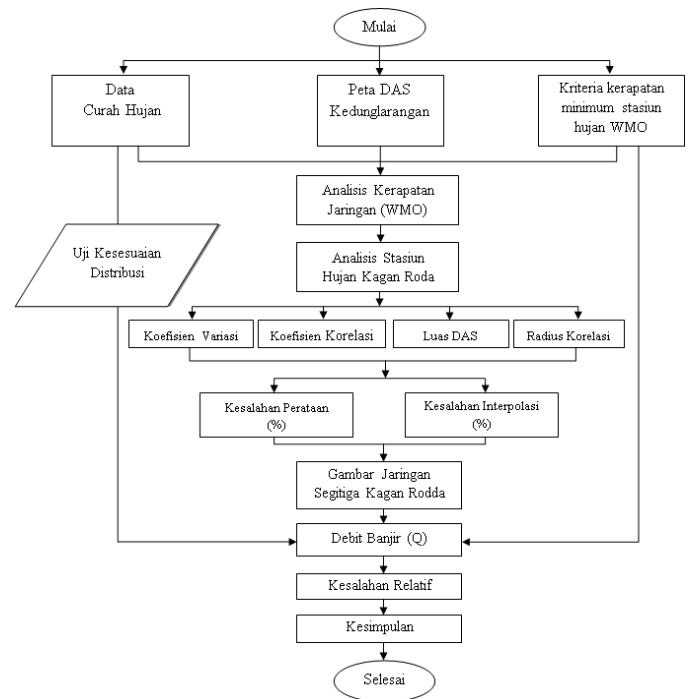
Penelitian ini dilakukan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Kedunglarangan yang memiliki 16 stasiun hujan yang terdiri dari Stasiun Badong, Stasiun Bangil, Stasiun Banyulegi, Stasiun Bareng, Stasiun Bekacak, Stasiun Gempol, Stasiun Jawi, Stasiun Kasri, Stasiun Kepulungan, Stasiun Prigen Stasiun Purwosari, Stasiun Randupitu, Stasiun Tanggul, Stasiun Telebuk, Stasiun Wilo, Stasiun Winong.

Dalam studi ini diperlukan tahapan - tahapan sebagai berikut :

1. Pengumpulan dan penyiapan data hujan dan stasiun hujan
 - Data Hujan : curah hujan harian dan bulanan maksimum, curah hujan tahunan
 - Data Stasiun Hujan : luas daerah pengaruh stasiun hujan, jarak antar stasiun hujan
2. Uji konsistensi data hujan
3. Menghitung hujan rata-rata harian maksimum DAS dengan 2 metode Rata-rata Hitung dan Poligon Thiessen.
4. Menghitung curah hujan rancangan untuk jaringan eksisting dengan metode Log Pearson Tipe III.
5. Analisa distribusi frekuensi dengan metode Log Pearson Tipe III, kemudian menguji kesesuaian distribusi dengan

Uji Smirnov-Kolmogorov dan Uji Chi Square.

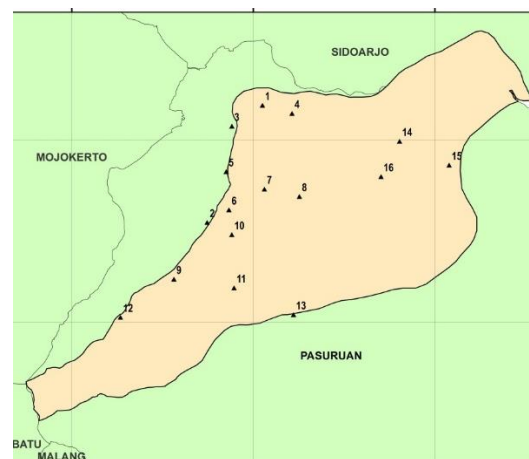
6. Menghitung koefisien korelasi dan membuat grafik hubungan antara jarak dengan nilai korelasi antar stasiun hujan, kemudian menentukan persamaan garis $r(o)$ dan $d(o)$ dari persamaan regresi yang didapat.
7. Menentukan jumlah stasiun hujan yang dibutuhkan dengan syarat perataan ($Z1$) = 5% dan panjang sisi jaring Kagan-Rodda.
8. Mengeplot jaringan Kagan Rodda di atas pada peta DAS dan memilih stasiun yang terdekat dengan titik simpul kagan.
9. 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.
10. Kemudian menghitung analisa frekuensi dan menguji kesesuaian distribusinya sesuai dengan yang dikerjakan pada langkah sesuai pada kondisi eksisting.
11. Menghitung curah hujan rancangan untuk jaringan Kagan-Rodda dengan metode Log Pearson Tipe III.
12. Menghitung kesalahan relatif curah hujan rancangan kondisi eksisting dengan curah hujan rancangan Kagan Rodda.
13. Menentukan curah hujan jam-jaman berdasarkan koefisien pengaliran yang ada.
14. Menghitung debit banjir rancangan dengan menggunakan metode hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu.
15. Kesimpulan



Gambar 3. Diagram Alir Perencanaan Jaringan Kagan Rodda

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data curah hujan yang berasal dari 16 stasiun hujan di DAS Kedunglarangan. Semua data yang ada pada 16 stasiun hujan tercatat oleh Dinas Tata Ruang dan Sumber Daya Air Kab. Pasuruan.



Gambar 3. Peta DAS Kedunglarangan Kab. Pasuruan

Tabel 1. Daftar Stasiun Hujan Pada DAS Kedunglarangan

No	Stasiun	Lokasi		Koordinat		Elevasi (mdpl)
	Hujan	Desa	Kecamatan	B. Timur	L. Selatan	
1	Gempol	Winong	Gempol	112° 42' 18.34"	07° 34' 50.67"	36
2	Winong	Sumber Gadang	Pan daan	112° 40' 28.75"	07° 38' 42.37"	212
3	Jembrung	Jembrung	Gempol	112° 41' 17.69"	07° 35' 32.17"	55
4	Banyulegi	Gunung Gangsir	Beji	112° 43' 17.03"	07° 35' 06.89"	43
5	Kepulungan	Kepulungan	Gempol	112° 41' 06.38"	07° 37' 02.04"	109
6	Bareng	Tawangrejo	Pan daan	112° 41' 11.92"	07° 38' 17.48"	162
7	Randupitu	Randupitu	Gempol	112° 42' 22.21"	07° 37' 36.38"	127
8	Tanggul	Baujeng	Beji	112° 43' 31.64"	07° 37' 51.09"	115
9	Jawi	Gambiran	Prigen	112° 39' 22.80"	07° 40' 34.48"	405
10	Kasri	Petungasri	Pan daan	112° 41' 17.61"	07° 39' 06.59"	208
11	Wilo	Ketan Ireng	Prigen	112° 41' 22.06"	07° 40' 51.86"	265
12	Prigen	Prigen	Prigen	112° 37' 36.87"	07° 41' 49.77"	847
13	Telebuk	Mojotengah	Sukorejo	112° 43' 19.97"	07° 41' 44.74"	197
14	Bangil	Kidul Dalem	Bangil	112° 46' 50.25"	07° 36' 01.88"	23
15	Badong	Mojoparon	Rembang	112° 48' 28.47"	07° 36' 49.15"	19
16	Bekacak	Kolursari	Bangil	112° 46' 13.42"	07° 37' 11.76"	40

Sumber: Dinas Tata Ruang dan Sumber Daya Air Kab. Pasuruan (2016)

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Hidrograf Debit Banjir Rancangan Dengan Menggunakan Metode Nakayasu (Kagan Rodda)

Waktu (jam)	Debit Banjir Rancangan (m ³ /dt)							
	2 th	5 th	10 th	25 th	50 th	100 th	200 th	1000 th
0.00	16.091	16.091	16.091	16.091	16.091	16.091	16.091	16.091
1.00	191.412	214.167	225.250	236.238	242.831	248.381	253.163	261.957
2.00	1181.956	1333.273	1406.973	1480.047	1523.887	1560.793	1592.595	1651.076
3.00	3547.633	4005.990	4229.234	4422.602	4583.382	4695.174	4791.505	4968.652
4.00	7768.980	8775.223	9265.317	9695.440	10042.788	10288.208	10499.686	10888.582
5.00	14283.690	16135.475	17037.392	17836.307	18468.168	18919.812	19308.994	20024.678
6.00	23500.500	26548.529	28033.081	29357.347	30388.133	31131.538	31772.130	32950.142
7.00	79.366	87.578	91.578	95.146	97.924	99.926	101.652	104.826
8.00	55.480	60.592	63.082	65.303	67.032	68.279	69.354	71.329
9.00	40.611	43.793	45.343	46.726	47.802	48.578	49.247	50.477
10.00	31.355	33.336	34.301	35.162	35.832	36.315	36.731	37.497
11.00	25.593	26.826	27.427	27.963	28.380	28.681	28.940	29.416
12.00	22.006	22.774	23.148	23.481	23.741	23.928	24.090	24.386
13.00	19.773	20.251	20.484	20.692	20.853	20.970	21.070	21.255
14.00	30.107	31.926	32.812	33.602	34.217	34.661	35.043	35.746
15.00	26.309	27.636	28.281	28.858	29.306	29.630	29.908	30.421
16.00	23.541	24.508	24.979	25.399	25.726	25.962	26.165	26.538
17.00	21.523	22.227	22.571	22.877	23.115	23.287	23.435	23.708
18.00	20.051	20.565	20.815	21.038	21.212	21.338	21.446	21.644
19.00	18.978	19.353	19.535	19.698	19.825	19.916	19.995	20.140
20.00	18.196	18.469	18.602	18.721	18.813	18.880	18.937	19.043
21.00	17.626	17.825	17.922	18.008	18.076	18.124	18.166	18.243
22.00	17.210	17.355	17.426	17.489	17.538	17.574	17.604	17.660
23.00	16.907	17.013	17.064	17.110	17.146	17.172	17.194	17.235
24.00	18.489	18.800	18.952	19.087	19.192	19.268	19.334	19.454
25.00	19.153	19.551	19.744	19.917	20.051	20.148	20.232	20.386
26.00	18.507	18.821	18.974	19.110	19.216	19.292	19.358	19.479
27.00	17.998	18.245	18.365	18.473	18.557	18.617	18.669	18.765
28.00	17.595	17.791	17.886	17.970	18.036	18.084	18.125	18.200
29.00	17.278	17.432	17.507	17.574	17.626	17.664	17.696	17.755
30.00	17.028	17.149	17.208	17.261	17.302	17.332	17.357	17.404
31.00	16.830	16.926	16.973	17.014	17.047	17.070	17.090	17.127
32.00	16.674	16.750	16.787	16.820	16.845	16.864	16.879	16.909
33.00	16.551	16.611	16.640	16.666	16.686	16.701	16.713	16.736
34.00	16.454	16.501	16.524	16.545	16.561	16.572	16.582	16.600
35.00	16.378	16.415	16.433	16.449	16.462	16.471	16.478	16.493
36.00	16.317	16.347	16.361	16.374	16.384	16.391	16.397	16.408
37.00	16.270	16.293	16.304	16.314	16.322	16.328	16.332	16.341
38.00	16.232	16.250	16.259	16.267	16.273	16.278	16.282	16.289
39.00	16.202	16.217	16.224	16.230	16.235	16.238	16.241	16.247
40.00	16.179	16.190	16.196	16.201	16.205	16.207	16.210	16.214
41.00	16.160	16.169	16.174	16.178	16.181	16.183	16.185	16.188
42.00	16.146	16.153	16.156	16.160	16.162	16.164	16.165	16.168
43.00	16.134	16.140	16.143	16.145	16.147	16.148	16.150	16.152
44.00	16.125	16.130	16.132	16.134	16.135	16.136	16.137	16.139
45.00	16.118	16.122	16.123	16.125	16.126	16.127	16.128	16.129
46.00	16.113	16.115	16.117	16.118	16.119	16.119	16.120	16.121
47.00	16.108	16.110	16.111	16.112	16.113	16.114	16.114	16.115
48.00	16.105	16.106	16.107	16.108	16.108	16.109	16.109	16.110
Q maksimum	23500.500	26548.529	28033.081	29357.347	30388.133	31131.538	31772.130	32950.142

Sumber: Hasil Perhitungan

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kondisi eksisting bahwa stasiun hujan yang tersedia pada DAS Kedunglarangan tidak tersebar secara merata dan penempatannya ada yang tidak sesuai dengan titik koordinat.
2. Dari hasil perhitungan metode Kagan-Rodda terdapat 13 stasiun baru yang direkomendasikan berdasarkan jaring-jaring segitiga Kagan Rodda dengan panjang sisi segitiga $(L) = 4,852$ km. Berdasarkan pola penyebaran dan kerapatan jaringan pos hujan dengan cara Kagan-Rodda penambahan stasiun hujan baru sesuai dengan titik simpul jaring-jaring Kagan-Rodda tanpa melakukan reposisi stasiun hujan eksisting.
3. Berdasarkan hasil perhitungan HSS Nakayasu didapat nilai rata-rata debit rancangan sebesar 19885.771 m³/detik pada setiap kala ulang tahun yang ditentukan dengan rata-rata kesalahan relatif sebesar 1.977 %

Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dari beberapa referensi yang penulis kumpulkan tentang metode Kagan Rodda untuk langkah-langkah perhitungannya sangat sulit di pahami. Oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya agar penelitian ini lebih mendetailkan ke perhitungannya agar mudah dipahami. Saran yang di berikan adalah sebagai berikut:

1. Dalam penelitian Rasionalisasi jaringan stasiun hujan diharapkan untuk penelitian selanjutnya agar dapat menggunakan metode yang lain seperti metode Jaringan Syaraf dan lain-lain.

2. Analisis ini hanya meliputi DAS Kedunglarangan, di harapkan untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian pada DAS yang lain.

3. Penggunaan aplikasi yang digunakan yaitu *ArcMap GIS 10.3.1* diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan Aplikasi *ArcGis* dengan versi yang lain yang mudah digunakan.

Berisi simpulan dan saran.

Simpulan memuat jawaban atas pertanyaan penelitian. Saran-saran mengacu pada hasil penelitian dan berupa tindakan praktis, sebutkan untuk siapa dan untuk apa saran ditujukan. Ditulis dalam bentuk essay, bukan dalam bentuk numerikal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucap terima kasih atas dana hibah penelitian yang di danai oleh DRPM Kemenristek Dikti tahun 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Harto BR, Sri. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka
- Linsley, Rk., Kohler, M.A dan Paulhus, 1986. *Hidrologi Untuk Insinyur* (Terjemahan). Jakarta : Erlangga.. Juli 1998.
- Montarcih. L., 2010. *Hidrologi Praktis*. CV Lubuk Agung. Bandung.
- Prasetijo H., Montarcih. L., Prasetyorini. L., 2011. *Analysis of Average Rainfall Using Kagan-Rodda*. Journal of Applied Sciences Research, 7 (3) : 309-313. 2011.
- Rodda, J.C., 1972, *Planning The Apatial Distribution of Hydrometeorological Stations to Meet an Error Criterion*, Cassbook on Hydrological Network Design Practice, WMO-NO 324, Geneva.

Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*.
Surabaya : Penerbit Usaha
Nasional.

Sosrodarsono, Suyono, Takeda, Ken. 1989.
Hidrologi Untuk Pengairan. Jakarta
: Pradnya Paramita.