

RASIONALISASI JARINGAN PENAKAR HUJAN DI DAS KEDUNGSOKO KABUPATEN NGANJUK

Muhamad Rodhita¹, Lily Montarcih Limantara², Very Dermawan²

¹Mahasiswa Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang.

²Dosen Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang.

Abstrak: Sungai Kedungsoko dan anak sungainya terletak di Kabupaten Kediri dan Nganjuk. Sungai Kedungsoko memiliki luas DAS seluas kurang lebih 416,54 km². DAS Kedungsoko dipengaruhi oleh kurang lebih 8 stasiun hujan yang tersebar di dalam DAS. Selama ini belum pernah dikaji secara teoritis tentang kerapatan optimum dan pola penyebaran jaringan stasiun hujan yang sudah terpasang di DAS Kedungsoko.

Dari hasil pengkajian dan analisa menggunakan metode Kagan-Rodda diperoleh 4 stasiun terpilih, sedangkan metode Kriging diperoleh hasil 8 buah stasiun terpilih dengan perletakan yang menyebar dalam DAS Kedungsoko. Perhitungan kesalahan relatif rerata curah hujan rancangan untuk metode Kagan-Rodda 1,906% dan metode Kriging sebesar 2,802%. Sedangkan kesalahan relatif dari perhitungan debit hidrograf satuan untuk Kagan-Rodda sebesar 38,53% dan Kriging sebesar 19,83%.

Kata kunci: Jaringan stasiun hujan, Kagan-Rodda, Kriging.

Abstract: Kedungsoko River and its tributaries is located in Kediri and Nganjuk district. Kedungsoko river has approximate 416,54 km² of watershed area number. Kedungsoko catchment area is affected by approximate 8 rain stations. There has not been studied theoretically about the optimum density and dispersal patterns of rainfall station networks that have been installed in the Kedungsoko watershed.

Based on the results of assessment and analysis using Kagan-Rodda method, it was acquired 4 selected stations, while Kriging method obtained results of 8 selected stations that spreaded in Kedungsoko watershed. Relative error for design rainfall of Kagan-Rodda method is 1,906% and Kriging method is 2,802%. Relative error of hidrograf discharge unit for Kagan-Rodda is 38,53% and 19,83% for Kriging.

Keywords: Rainfall station networks, Kagan-Rodda, Kriging.

Sungai Kedungsoko dan anak sungainya merupakan salah satu sungai yang terletak di Kabupaten Kediri dan Nganjuk. Sungai Kedungsoko memiliki DAS seluas kurang lebih 416,54 km². DAS Kedungsoko dipengaruhi oleh 8 stasiun hujan yang tersebar di dalam DAS. Pemasangan ini jauh lebih banyak dari kriteria Badan Meteorologi Dunia atau WMO (*World Meteorological Organization*) menyarankan kerapatan minimum jaringan stasiun hujan untuk daerah pegunungan beriklim sedang, mediteran dan daerah tropis antara 100 – 250 km²/stasiun (Suhartanto dan Haribowo, 2011: 330).

Oleh sebab itu diperlukan kajian guna mengetahui apakah jaringan penakar hujan yang ada sudah cukup mewakili kondisi dan variabilitas (keanekaragaman) yang ada di lokasi penelitian, atau justru dengan banyaknya penakar hujan di DAS Kedungsoko perlu diadakan rasionalisasi guna menyederhanakan (mengurangi) atau meratakan perletakan stasiun penakar hujan.

RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana hasil pola jaringan hidrologi (stasiun hujan) berdasarkan metode Kagan – Rodda dan Kriging?
2. Berapa besar kesalahan relatif curah hujan rancangan antara metode Kagan – Rodda dan Kriging dengan hasil curah hujan rancangan kondisi jaringan stasiun hujan eksisting?
3. Berapa besar kesalahan relatif hidrograf yang didapatkan dari rekomendasi metode Kagan – Rodda dan Kriging dengan hidrograf kondisi jaringan stasiun hujan eksisting?

KAJIAN PUSTAKA

1. Poligon Thiessen
Curah hujan rerata dengan metode Thiessen ini dapat dihitung dengan persamaan (Anonim, 1992: 6):

$$d = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A}$$

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

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

dengan:

- A = luas areal
- d = tinggi curah hujan rata-rata areal
- d_1, \dots, d_n = tinggi curah hujan di pos 1, ..n
- A_1, \dots, A_n = luas daerah pengaruh di pos 1, ..n

2. Log Pearson Tipe III

Pearson telah mengembangkan serangkaian fungsi probabilitas yang dapat dipakai untuk hampir semua distribusi probabilitas empiris. Terdapat 12 buah distribusi Pearson, tapi hanya distribusi Log Pearson Tipe III yang digunakan dalam analisis hidrologi (Limantara, 2010: 59). Parameter yang dipakai dalam distribusi Log Pearson Tipe III adalah:

- a. Nilai tengah (*mean*)

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log x_i}{n}$$

dengan:

n = jumlah data

- b. Simpangan baku (*deviasi standart*)

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

- c. Koefisien kepengcengan (*skewness*)

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n - 1) \cdot (n - 2) \cdot S_d^3}$$

- d. Menghitung nilai ekstrim

$$\log X = \overline{\log X} + G \cdot S_d$$

- e. Mencari antilog dari log X untuk mendapatkan hujan rancangan yang dikehendaki

$$\log X = \overline{\log X} + G \cdot S_d$$

3. Metode Kagan-Rodda

Cara Kagan-Rodda telah banyak digunakan untuk menetapkan jaringan stasiun hujan pada DAS. Persamaan-persamaan yang dipergunakan untuk

analisis jaringan Kagan Rodda adalah sebagai berikut (Harto, 1993: 31):

$$r_{(d)} = r_{(0)} \cdot e^{-\frac{d}{d_{(0)}}}$$

$$Z_1 = C_v \sqrt{\frac{1 - r_{(0)} \frac{0,23\sqrt{A}}{d_{(0)}\sqrt{n}}}{n}}$$

$$Z_2 = C_v \sqrt{\frac{1}{3} (1 - r_{(0)}) \frac{0,52 \cdot r_{(0)} \sqrt{\frac{A}{n}}}{d_{(0)}}}$$

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

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
- C_v = koefisien variasi
- A = luas DAS (km²)
- n = jumlah stasiun
- Z_1 = kesalahan perataan (%)
- Z_2 = kesalahan interpolasi (%)
- L = jarak antar stasiun (km)

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

- a. Hitung nilai rata-rata hujan daerah

$$\overline{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- b. Hitung standar deviasi

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \overline{d})^2}{n - 1}}$$

- c. Hitung koefisien variasi

$$C_v = \frac{S_d}{\overline{x}}$$

dengan:

- C_v = koefisien variasi
- S_d = standar deviasi
- \overline{x} = nilai rata-rata

Sedangkan koefisien korelasi (r) dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n X_i^2)(\sum_{i=1}^n Y_i^2)}}$$

dengan:

- r = koefisien korelasi
- n = jumlah data
- X_i = data hujan pada stasiun X
- Y_i = data hujan pada stasiun Y

4. Metode Kriging

Analisis dengan Kriging digunakan untuk estimasi nilai yang tidak diketahui berdasarkan nilai yang diketahui. Metode ini menggunakan *semivariogram* yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai diantara semua pasangan sampel data. *Semivariogram* juga menunjukkan bobot (*weight*) yang digunakan dalam interpolasi. *Semivariogram* dihitung berdasarkan sampel *semivariogram* dengan jarak (h), beda nilai (z) dan jumlah sampel data (n). Dalam metode Kriging, fungsi *semivariogram* sangat menentukan. Persamaan umum *semivariogram* adalah sebagai berikut (Harto, 1993: 65):

$$(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (z(x_i+h) - z(x_i))^2$$

dengan:

- z_(xi) = nilai z pada titik x yang ditinjau
- h = jarak antar titik
- (X_i+h) = nilai Y pada jarak h dari titik x yang ditinjau

Salah satu cara untuk menguji keakuratan suatu model adalah dengan menggunakan validasi silang (*cross validation*). Metode ini menggunakan seluruh data untuk mendapatkan suatu model. Dari hasil prediksi dapat ditentukan galat yang diperoleh dari selisih antara nilai sesungguhnya dengan hasil prediksi.

$$e_i = Z_{(xi)} - Z^*_{(xi)}$$

dengan:

- e_i = galat (*error*)
- Z_(xi) = nilai sesungguhnya pada lokasi ke-i
- Z^{*}_(xi) = prediksi nilai pada lokasi ke-i

Beberapa ukuran yang digunakan untuk membandingkan keakuratan model adalah:

a. Root Mean Square Error (RMSE)

Ukuran ini digunakan untuk membandingkan akurasi antara dua atau lebih model dalam analisis spasial. Semakin kecil nilai RMSE suatu model menandakan semakin akurat model tersebut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}}$$

dengan:

- e_i = galat
- n = jumlah data

b. Mean Absolute Error (MAE)

Mean Absolute Error (MAE) ini mengindikasikan seberapa jauh penyimpangan prediksi dari nilai sesungguhnya.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n}$$

dengan:

- e_i = galat mutlak
- n = jumlah data

5. Distribusi Hujan

Sebaran hujan jam jaman dihitung dengan menggunakan rumus Mononobe (Hadisusanto, 2011: 155):

$$R_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c}\right)^{\frac{2}{3}}$$

dengan:

- R_t = intensitas hujan rerata dalam t jam (mm/jam)
- R₂₄ = curah hujan dalam 1 hari
- t_c = waktu konsentrasi (jam)

6. Hujan Netto

Hujan netto (R_n) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R_n = C \times R$$

dengan:

- R_n = hujan netto
- C = koefisien limpasan
- R = intensitas curah hujan

7. Hidrograf Satuan Pengamatan

Dalam penelitian ini dipergunakan metode Collins dengan rumus estimasi terakhir ordinat hidrograf satuan adalah sebagai berikut (Limantara, 2010: 184):

$$U_e = (V \cdot U^{**}) / (3600 \cdot U^{**})$$

dengan:

- U^{**} = (U₁ + F^{*} U^{*}) / (1/F)
- U^{*} = Q/R_{eff maks}
- U_e = ordinat hidrograf awal
- V = volume limpasan (m³)
- U_i = unit hidrograf pada jam ke-i
- F = faktor kalibrasi
- U^{*} = ordinat hidrograf dikoreksi
- Q = ordinat hidrograf pengamatan
- R_{eff maks} = hujan efektif maksimum

8. HSS Nakayasu

Besarnya nilai debit puncak hidrograf satuan dihitung dengan rumus:

$$Q_p = \frac{Ca \cdot R_0}{3,60 \times (0,3T_p + T_{0,3})}$$

dengan:

Q_p = debit (m³/det)

Ca = luas daerah aliran sungai (km²)

R_0 = hujan satuan (mm)

T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf satuan (jam)

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai debit menjadi 30% dari debit puncak hidrograf satuan (jam)

Pada lengkung naik, besarnya nilai hidrograf satuan dihitung dengan:

$$Q_a = Q_p \cdot \frac{t^{2,4}}{T_p}$$

Pada bagian lengkung turun yang terdiri dari tiga bagian, hitungan limpasan permukaannya adalah:

a. Untuk $T_p \cdot d'' \cdot t < (T_p + T_{0,3})$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,30 \frac{t - T_p}{T_{0,3}}$$

b. Untuk $(T_p + T_{0,3}) \cdot d'' \cdot t < (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,3 \frac{(t - T_p - 0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}}$$

c. Untuk $t \geq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,3 \frac{(t - T_p - 1,5T_{0,3})}{2T_{0,3}}$$

dengan:

Q_d = debit (m³/det)

Q_p = debit puncak (m³/det)

t = satuan waktu (jam)

Menurut Nakayasu, waktu naik hidrograf bergantung dari waktu konsentrasi, dan dihitung dengan persamaan:

$$T_p = t_g + 0,8 \cdot t_r$$

dengan:

t_g = waktu konsentrasi hujan (jam)

Waktu konsentrasi dipengaruhi oleh panjang sungai utama (L):

Jika $L < 15$ km : $t_g = 0,21 \cdot L^{0,70}$

Jika $L > 15$ km : $t_g = 0,4 + 0,058L$

Hujan efektif dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_r = 0,5 \sim 1 \cdot t_g$$

Waktu yang diperlukan dari debit puncak sampai debit 30% dari debit puncak hidrograf satuan dihitung dengan:

$$T_{0,3} = k \cdot t_g$$

dengan:

k = koefisien yang bergantung pada karakteristik DPS (1,5 – 3)

9. Kesalahan Relatif

Perhitungan kesalahan relatif dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

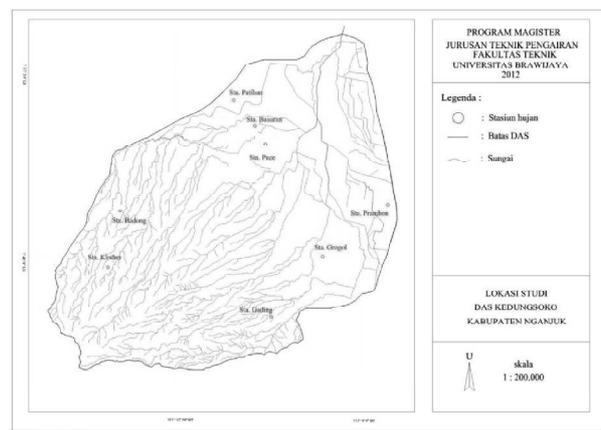
$$K_r = \left| \frac{X_a - X_b}{X_a} \right| \times 100\%$$

dengan:

K_r = kesalahan relatif (%)

X_a = nilai asli

X_b = aproksimasi



Gambar 1. Kondisi daerah penelitian

Metodologi Penelitian

1. Kondisi Daerah Penelitian

Sungai Kedungsoko berada di wilayah Kabupaten Kediri dan Nganjuk. Memiliki DAS seluas 416,54 km², dengan alur sungai utama 28,66 km.

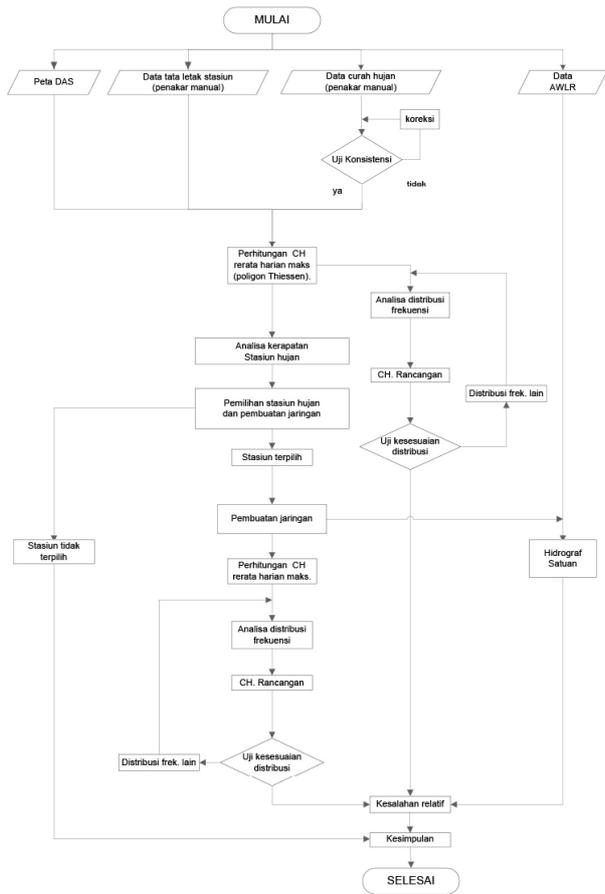
2. Alur Pengerjaan Penelitian

Gambaran pengerjaan penelitian secara keseluruhan berupa diagram alir penyelesaian pada gambar 2 berikut.

Hasil Analisa

1. Curah Hujan Rancangan (Eksisting)

Dalam penelitian ini digunakan metode Log Pearson Tipe III karena metode tersebut dapat digunakan untuk semua sebaran data, yang mana harga koefisien skewnes (Cs) dan koefisien kurtosis (Ck) bebas. Hasil perhitungan tercantum dalam Tabel 1.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Hujan Rancangan (Eksisting)

Kala Ulang	Prob. %	Log X rerata	Cs	G	Sd	Log X	X (mm)
2	50	1,798	0,434	-0,072	0,088	1,792	61,92
5	20	1,798	0,434	0,814	0,088	1,870	74,09
10	10	1,798	0,434	1,319	0,088	1,914	82,07
20	5	1,798	0,434	1,700	0,088	1,948	88,66
25	4	1,798	0,434	1,891	0,088	1,964	92,14
50	2	1,798	0,434	2,278	0,088	1,999	99,67
100	1	1,798	0,434	2,639	0,088	2,030	107,23
200	0,5	1,798	0,434	2,980	0,088	2,060	114,90

Sumber: Hasil Perhitungan

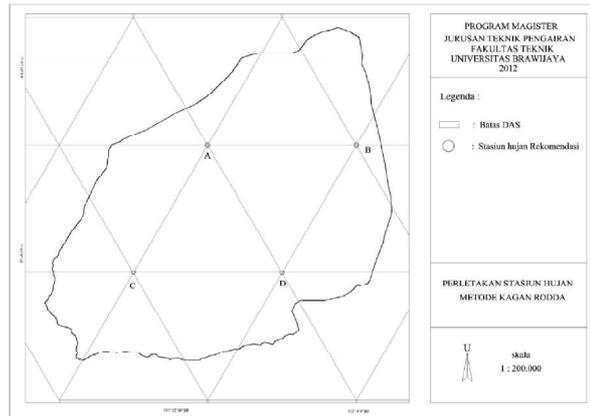
2. Analisa Jaringan Stasiun Hujan Dengan Metode Kagan-Rodda

Dipergunakan perhitungan koefisien korelasi dari hujan tahunan. Kemudian digambarkan grafik koefisien korelasi antar stasiun dalam sebuah grafik lengkung eksponensial. Grafik yang dipergunakan memiliki koefisien korelasi tertinggi dari sebaran kelas koefisien korelasi.

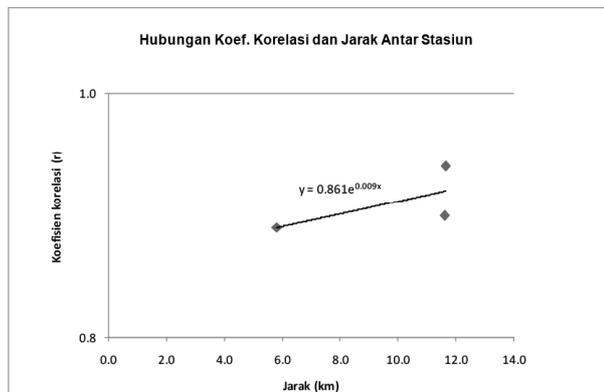
Berdasarkan Gambar 4 diperoleh nilai $r_{(0)} = 0,861$ dan nilai $d_{(0)} = 0,009$ kemudian dimasukkan dalam Z_1 dan Z_2 sebagaimana tercantum dalam Tabel 2. Sehingga dapat dihitung panjang sisi segitiga:

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

$$L = 1,07 \sqrt{\frac{416,54}{4}} = 10,919 \text{ km}$$



Gambar 3. Perletakan stasiun hujan metode Kagan-Rodda



Gambar 4. Koefisien korelasi

Tabel 2. Kesalahan Perataan (Z_1) dan Kesalahan Interpolasi (Z_2)

n	C_v	$r_{(0)}$	A	$d_{(0)}$	Z_1	Z_2
1	0,210	0,861	416,54	0,009	4,799	6,695
2	0,210	0,861	416,54	0,009	2,854	5,630
3	0,210	0,861	416,54	0,009	2,106	5,087
4	0,210	0,861	416,54	0,009	1,697	4,734
5	0,210	0,861	416,54	0,009	1,436	4,477
6	0,210	0,861	416,54	0,009	1,252	4,278
7	0,210	0,861	416,54	0,009	1,115	4,116
8	0,210	0,861	416,54	0,009	1,009	3,981
9	0,210	0,861	416,54	0,009	0,924	3,866
10	0,210	0,861	416,54	0,009	0,854	3,765

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan diplotkan berdasarkan gambar plotting jaringan Kagan-Rodda (Gambar 3).

3. Curah Hujan Rancangan (Kagan-Rodda)

Digunakan metode Log Pearson Tipe III karena metode tersebut dapat digunakan untuk semua sebaran data, yang mana harga koefisien skewnes (C_s) dan koefisien kurtosis (C_k) bebas. Hasil perhitungan tercantum dalam Tabel 3.

4. Analisa Jaringan Dengan Metode Kriging

Dalam melakukan permodelan diambil *Root Mean Square Error (RMSE)* terkecil, perhitungan

Tabel 3. Hujan Rancangan (Kagan-Rodda)

Kala Ulang	Prob. %	Log X rerata	Cs	G	Sd	Log X	X (mm)
2	50	1,804	0,4704	-0,078	0,089	1,797	62,67
5	20	1,804	0,4704	0,810	0,089	1,876	75,15
10	10	1,804	0,4704	1,320	0,089	1,921	83,41
20	5	1,804	0,4704	1,707	0,089	1,956	90,28
25	4	1,804	0,4704	1,900	0,089	1,973	93,92
50	2	1,804	0,4704	2,295	0,089	2,008	101,83
100	1	1,804	0,4704	2,664	0,089	2,041	109,81
200	0,5	1,804	0,4704	3,013	0,089	2,072	117,94

Sumber : Hasil Perhitungan

metode ini dilakukan secara otomatis dengan *ArcView GIS 9.3*. Untuk pemilihan ukuran *lag* dilakukan secara otomatis dan banyaknya *lag* yang dipilih dalam permodelan *semivariogram* adalah yang menghasilkan nilai RMSE dan MAE terkecil (dalam penelitian ini model yang didapat adalah *spherical*).

Tabel 4. Perhitungan Galat Stasiun Hujan Eksisting

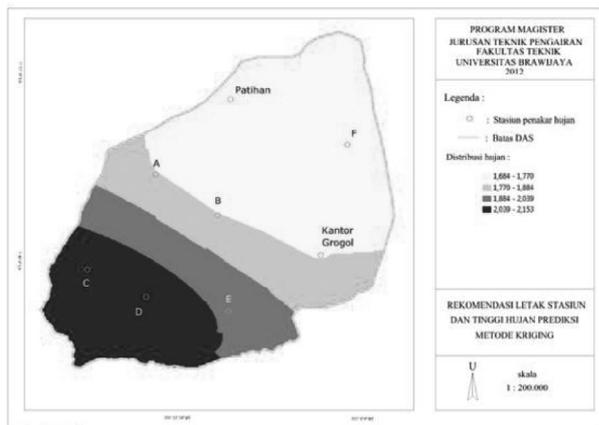
No	Nama	Curah Hujan Eksisting (mm/th)	Curah Hujan Pasdikst (mm/th)	Galat (e _i)	Galat Mutlak (e)	Koadrat galat	Kesalahan Relatif (%)
1	Patihan	1684,50	1662,30	22,20	22,20	492,84	1,318
2	Banaran	1592,80	1598,20	-5,40	5,40	29,16	0,339
3	Pacc	1532,70	1631,80	-99,10	99,10	9820,81	6,466
4	Prambon	1713,10	1608,50	104,60	104,60	10941,16	6,106
5	Badong	1773,70	1870,00	-96,30	96,30	9273,69	5,429
6	Grogol	1764,70	1762,10	2,60	2,60	6,76	0,147
7	Gading	2024,40	1805,50	218,90	218,90	47917,21	10,813
8	Klodan	2152,40	1898,40	254,00	254,00	64516,00	11,801
JUMLAH					803,09	142997,07	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5. Perhitungan Galat Stasiun Hujan Rekomendasi

No	Nama	Stasiun Terdekat	Curah Hujan Eksisting (mm/th)	Curah Hujan Prediksi (mm/th)	Galat Mutlak (e _i)	Kuadrat galat	Kesalahan Relatif (%)	Ket.
1	Patihan		1684,50	1739,4	54,90	3014,01	3,2591	Terpilih
2	F	Prambon	1710,00	1720,2	10,20	104,04	0,5965	Terpilih
3	A	Badong	1773,70	1810,1	36,40	1324,96	2,0522	Terpilih
4	B	Badong	1773,70	1802,3	28,60	817,96	1,6124	Terpilih
5	Grogol		1764,70	1816,7	52,00	2704,00	2,9467	Terpilih
6	C	Klodan	2152,90	2069,7	83,20	6922,24	3,8646	Terpilih
7	D	Klodan	2152,40	2085,4	67,00	4489,00	3,1128	Terpilih
8	E	Gading	2015,00	1992,7	22,30	497,29	1,1067	Terpilih
JUMLAH					332,313	19377,598		

Sumber: Hasil Perhitungan



Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar 5. Perletakan stasiun hujan metode Kriging

Nilai RMSE dan MAE dari semivariogram eksisting dihitung dengan persamaan:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{142997,07}{8}} = 133,696$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n} = \frac{803,09}{8} = 100,386$$

Perhitungan dilanjutkan dengan *running* kembali metode Kriging pada program *ArcView GIS 9.3*. Sehingga didapatkan hasil pada Tabel 5 yang dipergunakan untuk perhitungan RMSE dan MAE rekomendasi metode Kriging sebagaimana tercantum dalam perhitungan berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{19377,598}{8}} = 49,216$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n} = \frac{332,313}{8} = 41,539$$

5. Curah Hujan Rancangan (Kriging)

Untuk merencanakan curah hujan rancangan dari stasiun hasil rekomendasi metode Kriging dipergunakan metode Log Pearson Tipe III karena metode tersebut dapat digunakan untuk semua sebaran data, yang mana harga koefisien skewnes (Cs) dan koefisien kurtosis (Ck) bebas. Hasil perhitungan curah hujan rancangan dengan berbagai kala ulang dari hasil rekomendasi metode Kriging tercantum dalam Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Hujan Rancangan (Kriging)

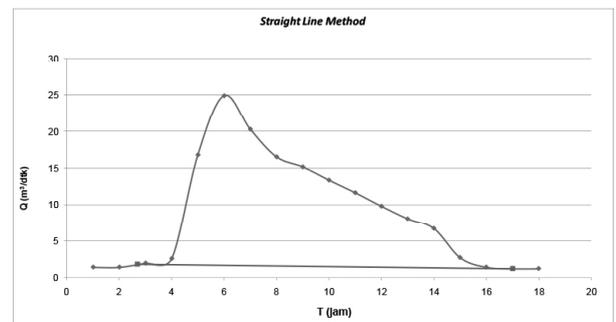
Kala Ulang	Prob. %	Log X rerata	Cs	G	Sd	Log X	X (mm)
2	50	1,807	0,4512	-0,075	0,090	1,800	63,15
5	20	1,807	0,4512	0,812	0,090	1,880	75,81
10	10	1,807	0,4512	1,319	0,090	1,925	84,18
20	5	1,807	0,4512	1,703	0,090	1,960	91,11
25	4	1,807	0,4512	1,895	0,090	1,977	94,79
50	2	1,807	0,4512	2,286	0,090	2,012	102,75
100	1	1,807	0,4512	2,651	0,090	2,044	110,78
200	0,5	1,807	0,4512	2,995	0,090	2,075	118,94

Sumber : Hasil Perhitungan

6. Perhitungan Metode Collins

Metode Collins dipergunakan untuk menghitung hidrograf satuan pengamatan, Langkah perhitungannya sebagai berikut (Limantara, 2010: 185):

- a. Menentukan hidrograf limpasan langsung dengan metode *Straight Line Method*.



Gambar 6. Straight line method.

- b. Menentukan volume limpasan langsung akibat hujan 1 mm

$$V_{LL} = (416,54 \cdot 10^6 \text{ m}^2) \times 0,001 \text{ m}$$

$$= 416540 \text{ m}^3$$
- c. Menghitung hujan jam-jaman.
- d. Menghitung phi (Φ) indeks

$$Q = (V_{LL} \cdot 3600)/A$$

$$= (79,80 \cdot 3600)/416540$$

$$= 0,6897 \text{ mm}$$

$$\text{indeks} = P - Q$$

$$= 0,793 - 0,6897$$

$$= 0,103 \text{ mm}$$
- e. Menentukan lebar dasar hidrograf

$$t_b = n - j + 1$$

$$= 13 - 2 + 1 = 12$$
- f. Menentukan ordinat hidrograf awal (coba-coba 1)

$$U_{t \text{ awal}} = V_{LL} / (3600 \cdot t_b)$$

$$= 416540 / (12 \cdot 3600)$$

$$= 9,642 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{mm}$$
- g. Menentukan hidrograf limpasan langsung yang diakibatkan oleh hujan efektif di DAS, kecuali untuk harga hujan efektif terbesar.
- h. Mencari selisih antara ordinat hidrograf limpasan langsung dengan hidrograf pengamatan.
- i. Mencari U_{t-1} (ordinat hidrograf ke-t percobaan ke-1).
- j. Mencari faktor perubahan (P)
- k. Mencari $U_{t-1 \text{ jus}}$ (U_{t-1} yang telah diperbaiki).
- l. Menghitung faktor F

$$F = \frac{Q \cdot R_u}{R_u}$$

- m. Mengalikan $U_{t-1 \text{ jus}}$ dengan F.
- n. Menghitung U_{t-1*}

$$U_{t-1*} = \frac{F \cdot U_{t-1 \text{ jus}} \cdot U_{t \text{ awal}}}{1 \cdot F}$$
- o. Menghitung U_{t-2} dengan persamaan:

$$U_{t-2} = \frac{A \cdot 3600 \cdot U_{t-1*}}{U_{t-1*}}$$
- p. Jika volume U_t awal belum sama dengan U_{t-2} , maka coba-coba dilakukan sampai mendapatkan hasil yang relatif sama.

Perhitungan selengkapnya disajikan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

7. HSS Nakayasu

Sebagai pembandingan dengan kondisi eksisting, maka perhitungan debit untuk stasiun hasil rekomendasi dilakukan dengan menggunakan data dari tanggal yang sama dengan perhitungan metode Collins.

Perhitungan hidrograf satuan sintesis Nakayasu untuk stasiun hasil rekomendasi dilakukan dengan parameter-parameter sebagai berikut:

- a. Luas DAS (A) = 416,54 km²
- b. Panjang sungai utama (L) = 28,66 km
- c. Diasumsikan bagian naik hidrograf cepat dan bagian menurun lambat, maka $\alpha = 3$
- d. Koefesien pengaliran (c) = 0,7
- e. Hujan satuan (R_o) = 1 mm

Tabel 7. Pemisahan Komponen Hidrograf

No	Tanggal	Jam	Debit Sungai (m ³)	Aliran Dasar (m ³)	Limpasan Langsung (m ³)	Hujan Rerata (mm/jam)	Indeks Φ	Hujan Efektif
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Data	Data	Data	Data	Data	(4) - (5)	Data	Data	(7) - (8)
1	27 Des 09	00.00	1,41	1,41	0,00	0,710	0,137	0,573
		01.00	1,41	1,40	0,01	0,184	0,137	0,048
		02.00	1,95	1,39	0,56	0,129	0,137	0,000
		03.00	2,57	1,38	1,19	0,103	0,137	0,000
		04.00	16,82	1,37	15,45	0,087	0,137	0,000
		05.00	24,92	1,36	23,56	0,076	0,137	0,000
		06.00	20,27	1,35	18,92	0,000	0,137	0,000
		07.00	16,55	1,34	15,21	0,000	0,137	0,000
		08.00	15,19	1,33	13,86	0,000	0,137	0,000
		09.00	13,37	1,32	12,05	0,000	0,137	0,000
		10.00	11,64	1,31	10,33	0,000	0,137	0,000
		11.00	9,78	1,30	8,48	0,000	0,137	0,000
		12.00	8,05	1,29	6,76	0,000	0,137	0,000
		13.00	6,65	1,28	5,37	0,000	0,137	0,000
		14.00	2,70	1,25	1,45	0,000	0,137	0,000
		15.00	1,41	1,23	0,18	0,000	0,137	0,000
		16.00	1,22	1,22	0,00	0,000	0,137	0,000
17.00	1,22	1,22	0,00	0,000	0,137	0,000		
Jumlah					133,41	1,290		

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Mencari tenggang waktu antara hujan sampai debit puncak (tg)
 Karena $L > 15$ km, maka:
 $T_g = 0,4 + (0,058 L)$
 $= 0,4 + (0,058 \cdot 28,66)$
 $= 2,06$ jam
- b. Mencari waktu regresi (Tr)
 $T_r = 0,75 \times T_g$
 $= 0,75 \times 2,06 = 1,55$ jam
- c. Mencari tenggang waktu permulaan hujan sampai puncak banjir (Tp)

$$T_p = T_g + (0,8 \times T_r)$$

$$= 2,06 + (0,8 \times 1,55)$$

$$= 3,30 \text{ jam}$$

- d. Mencari penurunan debit sampai menjadi 30% dari puncak ($T_{0,3}$)
 $T_{0,3} = T_g = 3 \cdot 2,06$
 $= 6,19$ jam
- $1,5 T_{0,3} = 1,5 \cdot 6,19$
 $= 9,28$ jam
- $TP + T_{0,3} = 3,30 + 6,19$
 $= 9,49$ jam
- $TP + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3} = 3,30 + 6,19 + 9,28$
 $= 18,77$ jam

Tabel 8. Perhitungan Metode Collins

Jam ke-	$U_{i,2}$	R_{eff} (mm)		Q limpasan model (Q)	Q limpasan pengamatan (R_u)	Q - R_u	$U_{i,3}$	P	$U_{i,3,jus}$	U_i awal	$U_{i,3,jus}$	F	$F \times U_{i,3,jus}$	$U_{i,3}^*$	$U_{i,4}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
	$m^3/dt/mm$	0,573	0,048 (2) x (4)	m^3/dt (3) + (4)	m^3/dt Tabel sebelumnya (6)	m^3/dt (6) - (5)	$m^3/dt/mm$ (7)/Reff maks		$m^3/dt/mm$	$m^3/dt/mm$	$m^3/dt/mm$	$F(Q-R_u) / \Sigma R_u$	$m^3/dt/mm$	$m^3/dt/mm$	$m^3/dt/mm$
0	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,518	0,000	0,000	0,000	0,959	0,000	0,000	0,000
1	4,082		0,000	0,000	0,012	0,012	0,021	0,518	0,011	4,082	0,011	0,959	0,010	2,089	2,089
2	4,150		0,195	0,195	0,564	0,369	0,645	0,518	0,334	4,150	0,334	0,959	0,320	2,282	2,282
3	4,418		0,198	0,198	1,192	0,994	1,735	0,518	0,899	4,418	0,899	0,959	0,862	2,696	2,696
4	10,520		0,211	0,211	15,454	15,243	26,602	0,518	13,791	10,520	13,791	0,959	13,220	12,121	12,121
5	13,988		0,502	0,502	23,558	23,057	40,238	0,518	20,861	13,988	20,861	0,959	19,997	17,351	17,351
6	12,004		0,667	0,667	18,922	18,255	31,839	0,518	16,516	12,004	16,516	0,959	15,832	14,213	14,213
7	10,415		0,572	0,572	15,208	14,635	25,542	0,518	13,241	10,415	13,241	0,959	12,693	11,798	11,798
8	9,840		0,497	0,497	13,863	13,367	23,328	0,518	12,094	9,840	12,094	0,959	11,593	10,943	10,943
9	9,065		0,469	0,469	12,053	11,584	20,216	0,518	10,481	9,065	10,481	0,959	10,047	9,758	9,758
10	8,330		0,432	0,432	10,334	9,902	17,281	0,518	8,959	8,330	8,959	0,959	8,588	8,638	8,638
11	7,538		0,397	0,397	8,484	8,087	14,113	0,518	7,316	7,538	7,316	0,959	7,013	7,430	7,430
12	6,802		0,359	0,359	6,762	6,403	11,174	0,518	5,793	6,802	5,793	0,959	5,553	6,308	6,308
13	6,205		0,324	0,324	5,368	5,044	8,803	0,518	4,564	6,205	4,564	0,959	4,375	5,402	5,402
14	4,531		0,296	0,296	4,454	4,158	2,021	0,518	3,048	4,531	3,048	0,959	3,005	4,226	4,226
15	3,986		0,216	0,216	0,182	-0,034	-0,060	0,518	-0,031	3,986	-0,031	0,959	-0,030	2,020	2,020
16	-0,169		0,190	0,190	0,000	-0,190	-0,332	0,518	-0,172	-0,169	-0,172	0,959	-0,165	-0,170	-0,170
17	0,000		-0,008	-0,008						0,000	0,000	0,959	0,000	0,000	0,000
18	0,000		0,000	0,000						0,000	0,000	0,959	0,000	0,000	0,000
Jumlah	115,706		5,516	5,516	133,410	127,886	223,185		115,706				110,914	115,706	115,706

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 9. Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu (Kagan-Rodda)

Jam	U (ti)	Hujan Netto (mm/jam)						Debit m^3/det	Aliran Dasar m^3/det	Total Debit m^3/det	
		0,817	0,212	0,149	0,119	0,100	0,087				
0	0,000	0,000						0,000	0,200	0,200	
1	0,919	0,750	0,000					0,750	0,200	0,950	
2	4,848	3,959	0,195	0,000				4,154	0,200	4,354	
3	12,829	10,476	1,029	0,137	0,000			11,641	0,200	11,841	
4	14,068	11,487	2,723	0,722	0,109	0,000		15,041	0,200	15,241	
5	11,580	9,456	2,986	1,910	0,575	0,092	0,000	15,018	0,200	15,218	
6	9,533	7,784	2,458	2,094	1,521	0,485	0,080	14,422	0,200	14,622	
7	7,847	6,407	2,023	1,724	1,667	1,284	0,424	13,530	0,200	13,730	
8	6,459	5,274	1,665	1,419	1,373	1,408	1,122	12,262	0,200	12,462	
9	5,317	4,342	1,371	1,168	1,130	1,159	1,231	10,400	0,200	10,600	
10	4,525	3,695	1,128	0,962	0,930	0,954	1,013	8,682	0,200	8,882	
11	3,974	3,245	0,960	0,792	0,766	0,785	0,834	7,382	0,200	7,582	
12	3,491	2,850	0,844	0,674	0,630	0,646	0,687	6,331	0,200	6,531	
13	3,066	2,504	0,741	0,592	0,536	0,532	0,565	5,470	0,200	5,670	
14	2,693	2,199	0,651	0,520	0,471	0,453	0,465	4,759	0,200	4,959	
15	2,365	1,931	0,572	0,456	0,414	0,398	0,396	4,167	0,200	4,367	
16	2,078	1,696	0,502	0,401	0,363	0,349	0,348	3,660	0,200	3,860	
17	1,825	1,490	0,441	0,352	0,319	0,307	0,305	3,215	0,200	3,415	
18	1,603	1,309	0,387	0,309	0,280	0,270	0,268	2,824	0,200	3,024	
19	1,418	1,158	0,340	0,272	0,246	0,237	0,236	2,489	0,200	2,689	
20	1,287	1,051	0,301	0,239	0,216	0,208	0,207	2,222	0,200	2,422	
21	1,168	0,953	0,273	0,211	0,190	0,183	0,182	1,992	0,200	2,192	
22	1,059	0,865	0,248	0,192	0,168	0,160	0,160	1,793	0,200	1,993	
23	0,961	0,785	0,225	0,174	0,153	0,142	0,140	1,618	0,200	1,818	
24	0,872	0,712	0,204	0,158	0,138	0,129	0,124	1,465	0,200	1,665	
									Jumlah		160,287

Sumber: Hasil Perhitungan

$$Q_p = \frac{Ca \cdot R_o}{3,6(0,3 \cdot T_p \cdot T_{0,3})} = \frac{416,54.1}{3,6(0,3 \cdot 3,30 \cdot 6,19)} = 16,12 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Perhitungan selengkapnya untuk hidrograf satuan sintetik dari stasiun hujan rekomendasi metode Kagan-Rodda dan Kriging dengan menggunakan metode Nakayasu disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 10. Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu (Kriging)

Jam	U (t,i)	Hujan Netto (mm/jam)						Debit m ³ /det	Aliran Dasar m ³ /det	Total Debit m ³ /det
		0,461	0,120	0,084	0,067	0,057	0,049			
0	0,000	0,000						0,000	0,200	0,200
1	0,919	0,424	0,000					0,424	0,200	0,624
2	4,848	2,237	0,110	0,000				2,348	0,200	2,548
3	12,829	5,921	0,582	0,077	0,000			6,579	0,200	6,779
4	14,068	6,492	1,539	0,408	0,062	0,000		8,501	0,200	8,701
5	11,580	5,344	1,688	1,079	0,325	0,052	0,000	8,488	0,200	8,688
6	9,533	4,399	1,389	1,184	0,859	0,274	0,045	8,151	0,200	8,351
7	7,847	3,621	1,143	0,974	0,942	0,726	0,240	7,647	0,200	7,847
8	6,459	2,981	0,941	0,802	0,776	0,796	0,634	6,930	0,200	7,130
9	5,317	2,454	0,775	0,660	0,639	0,655	0,696	5,878	0,200	6,078
10	4,525	2,088	0,638	0,544	0,526	0,539	0,573	4,907	0,200	5,107
11	3,974	1,834	0,543	0,447	0,433	0,444	0,471	4,172	0,200	4,372
12	3,491	1,611	0,477	0,381	0,356	0,365	0,388	3,578	0,200	3,778
13	3,066	1,415	0,419	0,334	0,303	0,301	0,319	3,091	0,200	3,291
14	2,693	1,243	0,368	0,294	0,266	0,256	0,263	2,689	0,200	2,889
15	2,365	1,092	0,323	0,258	0,234	0,225	0,224	2,355	0,200	2,555
16	2,078	0,959	0,284	0,227	0,205	0,197	0,197	2,069	0,200	2,269
17	1,825	0,842	0,249	0,199	0,180	0,173	0,173	1,817	0,200	2,017
18	1,603	0,740	0,219	0,175	0,158	0,152	0,152	1,596	0,200	1,796
19	1,418	0,655	0,192	0,154	0,139	0,134	0,133	1,407	0,200	1,607
20	1,287	0,594	0,170	0,135	0,122	0,118	0,117	1,256	0,200	1,456
21	1,168	0,539	0,154	0,119	0,107	0,103	0,103	1,126	0,200	1,326
22	1,059	0,489	0,140	0,108	0,095	0,091	0,090	1,013	0,200	1,213
23	0,961	0,444	0,127	0,098	0,086	0,080	0,079	0,915	0,200	1,115
24	0,872	0,402	0,115	0,089	0,078	0,073	0,070	0,828	0,200	1,028
Jumlah										92,764

Sumber: Hasil Perhitungan

8. Kesalahan Relatif

Guna membuktikan bahwa stasiun hujan yang terpilih cukup mewakili dari jumlah stasiun hujan yang tersedia maka perlu dihitung prosentase perbedaan besarnya curah hujan rancangan dan debit yang diperoleh berdasarkan jaringan Kagan-Rodda dan Kriging dengan besarnya curah hujan rancangan dan debit pengamatan pada kondisi eksisting.

Perhitungan kesalahan relatif untuk debit dan curah hujan rancangan dicantumkan dalam Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Kesalahan Relatif Debit

Debit			Kesalahan Relatif (%)	
Kagan-Rodda	Kriging	Eksisting	Kagan-Rodda	Kriging
160,287	92,764	115,706	38,53	19,83

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 12. Kesalahan Relatif Curah Hujan Rancangan

No	Kala ulang (tahun)	Curah hujan rancangan jaringan existing (mm)	Curah hujan rancangan jaringan Kagan Rodda (mm)	Curah hujan rancangan jaringan Kriging (mm)	Kesalahan Relatif Kagan Rodda		Kesalahan Relatif Kriging	
					%		%	
1	2	61,92	62,67	63,15	1,203		1,981	
2	5	74,09	75,15	75,81	1,432		2,333	
3	10	82,07	83,41	84,18	1,632		2,563	
4	20	88,66	90,28	91,11	1,833		2,767	
5	25	92,14	93,92	94,79	1,934		2,869	
6	50	99,67	101,83	102,75	2,162		3,085	
7	100	107,23	109,81	110,78	2,403		3,303	
8	200	114,90	117,94	118,94	2,648		3,518	
Rerata						1,906		2,802

Sumber: Hasil Perhitungan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan Kagan Rodda diperoleh rekomendasi sebanyak 4 stasiun, dan Kriging 8 buah stasiun yang terpilih.
2. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa kesalahan relatif rerata untuk curah hujan rancangan metode Kagan Rodda sebesar 1,906% dan metode Kriging sebesar 2,802%.
3. Berdasarkan perhitungan hidrograf satuan sintetis (dengan nilai $\alpha=3$ dan $c=0,70$) didapatkan kesalahan relatif sebesar 38,53% untuk Kagan-Rodda dan 19,83% untuk Kriging.

SARAN

Dari hasil analisa yang telah dilakukan terdapat beberapa saran yang bertujuan sebagai rekomendasi antara lain:

1. Dalam merencanakan suatu jaringan stasiun hujan agar diperoleh data hujan yang mempunyai tingkat ketelitian cukup, maka perlu dilakukan evaluasi kerapatan dan pola penyebaran 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.
2. Secara teknis hasil rekomendasi kedua metode dapat dipergunakan dalam merencanakan penempatan stasiun hujan yang baru di DAS Kedungsoko. Tetapi dalam pelaksanaan rasionalisasi sebaiknya dipergunakan hasil rekomendasi dari metode Kagan-Rodda. Sebab selain memenuhi kriteria teknis, jumlah stasiun hujan rekomendasi metode Kagan-Rodda jauh lebih sedikit dibandingkan dengan kondisi eksisting maupun hasil rekomendasi metode Kriging. Berdasarkan

hal tersebut, diharapkan besarnya biaya pemasangan, operasi dan pemeliharaan jaringan penakar hujan pada DAS Kedungsoko dapat diminimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1992. *Cara Menghitung Design Flood*. Jakarta : Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Hadisusanto, N. 2011. *Aplikasi Hidrologi*. Yogyakarta: Jogja Mediautama.
- Harto, B.S. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Limantara, L.M. 2010. *Hidrologi Praktis*. Bandung: CV. Lubuk Agung.
- Limantara, L.M. 2010. *Hidrologi Teknik Dasar*. Malang: CV. Citra.
- Suhartanto, E., & Haribowo, R. 2011. *Application of Kagan-Rodda Method for Rain Station Density in Barito Basin Area of South Kalimantan, Indonesia*. *Journal of Applied Technology in Environmental Sanitation*, Volume 1, Number 4: 329-3