

EVALUASI KERAPATAN STASIUN HUJAN MENGGUNAKAN METODE *KAGAN-RODDA* PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI TUKAD AYUNG

Putu Doddy Heka Ardana¹⁾, I Ketut Soriarta²⁾, Gede Agus Gunawan³⁾, I Gusti Made Sudika⁴⁾, I Made Dedi Suardika⁵⁾

E-mail : doddyhekaardana@unr.ac.id¹⁾, soriarta88@gmail.com²⁾, gunawanboel@gmail.com³⁾, made.sudika@unr.ac.id⁴⁾, dedi.suardika@unr.ac.id⁵⁾

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil Universitas Ngurah Rai

⁵ Program Studi Teknik Sipil Universitas Ngurah Rai

ABSTRAK

Pengembangan sumber daya air biasanya diawali dengan analisa hidrologi dan memerlukan data hidrologi yang cukup akurat agar pengembangan sumber daya air yang dilakukan efektif dan efisien. Data hidrologi yang dimaksud adalah data curah hujan, data debit air dan data iklim, semua data tersebut diperoleh dari pemantauan pos hidrologi yang tersebar dalam Daerah Aliran Sungai (DAS). Dibutuhkan sebaran letak stasiun hujan yang merata agar mendapatkan data yang akurat. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan pada DAS Tukad Ayung mempergunakan stasiun hujan yang berbeda-beda. Mempertimbangkan hal tersebut perlu dilakukan sebuah evaluasi jaringan stasiun hujan dari daerah hulu (*up stream*) sampai hilir (*down stream*) guna mendapatkan stasiun hujan yang lebih efektif. Berdasarkan hasil analisa WMO (*World Meteorological Organization*) 25 km²/stasiun hujan hanya 5 dari 14 stasiun yaitu Stasiun Catur, Stasiun Kintamani, Stasiun Pelaga, Stasiun Kerta dan Stasiun Abiansemal yang memenuhi kerapatan minimum. Dari hasil analisa *Kagan-Rodda* berdasarkan kesalahan perataan (Z1) = 5,101 %, kesalahan interpolasi (Z3) = 11,74 % dan panjang jaring L = 3,957 km didapat stasiun hujan untuk mewakili daerah hulu DAS yaitu Stasiun Catur, Stasiun Pelaga dan Stasiun Kerta. Daerah tengah DAS diwakili oleh Stasiun Tegallalang, Stasiun Petang, Stasiun Luwus dan Stasiun Abiansemal. Daerah hilir DAS dapat diwakili oleh Stasiun Celuk, Stasiun Penatih dan Stasiun Sumerta.

Kata kunci: Kerapatan stasiun hujan, DAS Tukad Ayung, Kagan-Rodda

ABSTRACT

Water resource development typically begins with hydrological analysis and requires sufficiently accurate hydrological data for effective and efficient water resource development. The hydrological data in question include rainfall, water discharge, and climate data, all of which are obtained from monitoring hydrological stations spread across the watershed. An even distribution of rainfall stations is necessary to obtain accurate data. Several studies conducted in the Tukad Ayung watershed have used different rainfall stations. Considering this, an evaluation of the rainfall station network from upstream to downstream is necessary to obtain more effective rainfall stations. Based on the analysis of the WMO (World Meteorological Organization) of 25 km²/rainfall station, only 5 of the 14 stations namely Catur Station, Kintamani Station, Pelaga Station, Kerta Station, and Abiansemal Station met the minimum density. From the results of the Kagan-Rodda analysis based on the smoothing error (Z1) = 5.101%, interpolation error (Z3) = 11.74% and the length of the net L = 3.957 km, the rainfall stations to represent the upstream area of the watershed are Catur Station, Pelaga Station and Kerta Station. The middle area of the watershed is represented by Tegallalang Station, Petang Station, Luwus Station and Abiansemal Station. The downstream area of the watershed can be represented by Celuk Station, Penatih Station and Sumerta Station.

Keywords: Density of rainfall stations, Tukad Ayung Watershed, Kagan-Rodda

1. PENDAHULUAN

Dari beberapa sungai yang ada di Bali, yang mempunyai Daerah Aliran Sungai (DAS) yang cukup

besar adalah Tukad Ayung. Tukad Ayung sendiri memiliki panjang mencapai 69,36 km dengan luas DAS mencapai 300,84 km². Peranan Tukad Ayung sampai saat ini sangatlah penting untuk kebutuhan sehari-hari contohnya sungai sebagai sumber pengairan irigasi, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), sumber cadangan air bersih dan sungai juga sebagai sarana pariwisata seperti *rafting*. Beberapa masalah juga terjadi di sepanjang DAS Tukad Ayung diantaranya erosi, tanah longsor dan sedimentasi yang cukup tinggi, maka diperlukan pengelolaan dan pengembangan sumber daya air. Dalam pengembangan sumber daya air biasanya diawali dengan analisa hidrologi dan memerlukan data hidrologi yang cukup akurat agar pengembangan sumber daya air yang dilakukan efektif dan efisien (Triadi et al., 2013).

Data dari PU Bidang Pengairan, dan BMKG sepanjang DAS Tukad Ayung terdapat stasiun hujan diantaranya Stasiun Catur, Stasiun Kintamani, Stasiun Candikuning, Stasiun Pelaga, Stasiun Kerta, Stasiun Tegallalang, Stasiun Petang, Stasiun Luwus, Stasiun Ubud, Stasiun Abiansema, Stasiun Kapal, Stasiun Celuk, Stasiun Penatih dan Stasiun Sumerta. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan pada DAS Tukad Ayung mempergunakan stasiun hujan yang berbeda-beda. Sejauh ini penelitian-penelitian yang menggunakan menggunakan metode *Kagan-Rodda* untuk lokasi penelitiannya cenderung pada kondisi topografi yang rata tidak berbukit, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Lismula et al., (2021) di Kabupaten Sumbawa dimana lokasi studinya tidak rata dan cenderung berbukit dengan ketinggian 0 – 1.750 m diatas permukaan laut dengan hasil penelitiannya merekomendasikan perlu adanya penambahan stasiun hujan untuk wilayah Kabupaten Sumbawa.

Kondisi DAS Tukad Ayung memiliki karakteristik DAS yang berbukit, yang artinya topografi DAS Tukad Ayung mempunyai kemiripan dan bentuknya yang memanjang seperti penelitian sebelumnya seperti di Sumenep (Prawati & Dermawan, 2018) dan Sulawesi Tengah (Junaidi, 2015). Berdasarkan penelitian Triadi et al., (2013) dan Wangsa et al., (2023) di DAS Tukad Ayung yang telah dilakukan, terdapat pemilihan stasiun hujan yang beragam serta wilayah yang ditinjau hanya daerah hulu (*up stream*) dan tengah (*mid stream*) yang berarti tinjauannya di DAS Tukad Ayung belum menyeluruh. Maka perlu dilakukan kajian berupa evaluasi pola jaringan stasiun hujan dari daerah hulu (*up stream*) sampai hilir (*down stream*) dengan pendekatan *Kagan-Rodda* guna mendapatkan stasiun hujan yang lebih efektif.

Rumusan masalah penelitian ini berfokus pada efektivitas dan efisiensi stasiun hujan yang terdapat di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tukad Ayung serta penentuan stasiun hujan yang tepat digunakan sebagai acuan analisa hidrologi setelah dilakukan evaluasi jaringan stasiun hujan dengan metode *Kagan-Rodda*, sedangkan ruang lingkup penelitian dibatasi pada DAS Tukad Ayung dari hulu hingga hilir dengan hanya menggunakan stasiun hujan yang berada di sekitar wilayah tersebut agar pembahasan lebih terarah, tidak menyimpang, dan menghasilkan kesimpulan yang tepat.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Uji outlier

Data yang telah konsisten kemudian perlu diuji lagi dengan pemeriksaan *Outlier*. *Outlier* merupakan data yang bernilai jauh dengan data yang lain. Untuk outlier bawah dapat langsung dibuang tetapi outlier atas perlu dipertimbangkan dan dibandingkan dengan data hujan dari stasiun-stasiun didekatnya. Uji *Grubbs and Beck* menetapkan dua batas ambang bawah (Xl) dan ambang atas (Xh) sebagai berikut:

$$X_h = \bar{K} + K_n \cdot S \quad (1)$$

$$X_l = \bar{K} - K_n \cdot S \quad (2)$$

Dimana:

- Xh = Nilai ambang atas
- Xl = Nilai ambang bawah
- \bar{K} = Nilai rata-rata
- n = Banyak data

S = Simpangan baku dari logaritma terhadap sampel data
 K_n = Besaran yang tergantung pada jumlah data

2.2 Uji ketiadaan trend

Pada uji ketiadaan *trend* bertujuan untuk membuktikan ada atau tidaknya suatu *trend* pada data hujan, yaitu gerakan berjangka panjang yang cenderung satu arah baik naik atau turun (Soewarno, 1995).

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (dt)^2}{n^3 - n} \quad (3)$$

$$t = KP \left[\frac{n-2}{1-KP^2} \right]^{1/2} \quad (4)$$

Dimana:

KP = Koefisien korelasi peringkat Spearman
 dt = Selisih R_t dengan T_t
 T_t = Peringkat dari waktu
 R_t = Peringkat dari variabel hidrologi dalam deret berkala
 n = Banyak data
 t = Nilai distribusi t

2.3 Uji persistensi

Pada uji persistensi bertujuan untuk membuktikan bahwa tidak terdapat ketergantungan pada masing-masing nilai data hujan dari suatu deret berkala (Soewarno, 1995).

$$KS = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (di)^2}{m^3 - m} \quad (5)$$

$$t = KS \left[\frac{m-2}{1-KS^2} \right]^{1/2} \quad (6)$$

Dimana:

KS = Koefisien korelasi serial Spearman
 m = n - 1
 di = Selisih antara peringkat ke X_i dan ke X_{i+1}
 n = Banyak data
 t = Nilai hitung uji t

2.4 Kerapatan dan penyebaran jaringan stasiun hujan

Jumlah stasiun hujan bukan satu-satunya faktor yang berpengaruh terhadap ketelitian perkiraan hujan. Selain jumlah, pola penyebaran stasiun-stasiun hujan dalam suatu DAS berperan dalam menentukan ketelitian hitungan (Harto, 1993). Organisasi Meteorologi Dunia (*World Meteorological Organization*) memberikan pedoman kerapatan minimum jaringan stasiun hujan di beberapa tipe daerah.

Tabel 1. Kerapatan minimum jaringan stasiun hujan di beberapa tipe daerah

No	Tipe	Luas Daerah (km ²) Kondisi Normal
1	Daerah dataran tropis, mediteran, dan sedang	600-900
2	Daerah pegunungan tropis, mediteran, dan sedang	100-250
3	Daerah kepulauan kecil bergunung dengan curah hujan bervariasi	25
4	Daerah arid dan kutub	1500-10000

Sumber : (Linsley et al., 1986)

2.5 Analisis kerapatan dan pola penyebaran stasiun hujan metode kagan-rodha

Jumlah penetapan jaringan stasiun hujan tidak hanya terbatas pada penetapan jumlah stasiun yang dibutuhkan dalam suatu DAS, namun juga tempat dan pola penyebarannya. Petunjuk yang bersifat kualitatif diberikan oleh Rodda (1970), yaitu dengan memanfaatkan koefisien korelasi hujan (Harto, 1993). Hal ini masih harus dikaitkan dengan keadaan sekitarnya yang menyangkut masalah ketersediaan tenaga pengamat dan pola penyebarannya. Pada penelitian yang dilakukan Kagan (1972), untuk daerah tropis yang hujannya bersifat setempat dengan luas penyebaran yang sangat terbatas mempunyai variasi ruang untuk hujan dengan periode tertentu adalah sangat tidak menentu meskipun sebenarnya menunjukkan suatu hubungan sampai tingkat tertentu (Harto, 1993).

$$r_{(d)} = r_{(o)} e^{-\left(d/d_{(o)}\right)} \quad (7)$$

$$Z_1 = Cv \sqrt{\frac{1-r_{(o)}+0,23 \frac{\sqrt{A}}{d_{(o)}\sqrt{N}}}{N}} \quad (8)$$

$$L = 1,07 \sqrt{\frac{A}{N}} \quad (9)$$

$$Z_3 = Cv \sqrt{\frac{\frac{1}{3} |1 - r_{(o)}| + 0,52 \frac{r_{(o)}}{d_{(o)}} \sqrt{\frac{A}{N}}}{N}} \quad (10)$$

$$Cv = \frac{sd}{\bar{x}} \quad (11)$$

Dimana:

- d = Jarak antar stasiun (km)
- d(o) = Radius korelasi, yaitu jarak (km) dimana koefisien korelasi berkurang dengan faktor e
- Cv = Koefisien variasi
- r(o) = Koefisien korelasi untuk jarak yang sangat dekat
- r(d) = Koefisien korelasi untuk jarak d (km)
- A = Luas DAS dalam km²
- N = Jumlah stasiun hujan
- L = Jarak antar stasiun dalam segitiga sama sisi (km)
- Z1 = Kesalahan perataan (%)
- Z3 = Kesalahan interpolasi (%)

Harto (1993) memberikan langkah pengerjaan dengan menggunakan metode ini. Secara garis besar langkah-langkah yang harus dilakukan dalam metode kagan ini adalah :

1. Dari jaringan stasiun hujan yang telah tersedia, dapat dihitung nilai koefisien-variasi (Cv) baik harian ataupun bulanan, sesuai dengan yang diperlukan.
2. Dari jaringan stasiun hujan yang telah tersedia pula dapat dicari hubungan jarak antar stasiun dan koefisien korelasi, baik untuk hujan harian maupun hujan bulanan, sesuai dengan yang diperlukan. Dalam penetapan hubungan ini tidak perlu diorientasikan arahnya, karena tidak berpengaruh terhadap besarnya korelasi, sedangkan korelasi hanya dilakukan untuk hari-hari yang di kedua stasiun terjadi hujan.
3. Hubungan yang diperoleh di atas digambar dalam sebuah grafik lengkung eksponensial. Dari grafik ini diperoleh besar $d(0)$ dengan menggunakan nilai rata-rata d dan $r(d)$.
4. Dengan besaran tersebut, maka Z_1 dan Z_3 dapat dihitung setelah tinggi ketelitian ditetapkan. Atau sebaliknya, dapat dicari grafik hubungan antara jumlah stasiun dengan ketelitian yang diperoleh, baik untuk hujan bulanan maupun untuk hujan harian.
5. Setelah jumlah stasiun ditetapkan untuk DAS tersebut, maka penempatan stasiun hujan dapat dilakukan dan menggambarkan jaring-jaring segitiga sama sisi dengan panjang sisi sama dengan gambar dibuat diatas kertas transparan, yang selanjutnya ditumpukkan diatas peta DAS, dan dilakukan penggeseran-penggeseran sedemikian rupa, sehingga simpul stasiun yang berada

didalam DAS sama dengan jumlah stasiun yang dihitung. Simpul-simpul tersebut adalah lokasi stasiun hujan.

Menetapkan jaringan awal dengan cara Kagan, dengan meminjam karakter hujan DAS lain terdekat sebagai acuan sementara. Selanjutnya apabila telah beroperasi beberapa lama misalnya lima tahun, kemudian dievaluasi lagi dengan cara Kagan. Untuk pendekatan awal dalam Harto (1993) mengemukakan rumus berikut :

$$EH = 100,3187 N^{-0,5395} \quad (12)$$

$$EB = 22,4504 N^{-0,5231} \quad (13)$$

Dimana:

EH = Kesalahan perataan hujan harian (%)

EB = Kesalahan perataan hujan bulanan (%)

N = Jumlah stasiun yang ada

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode evaluasi jaringan stasiun hujan berdasarkan *Kagan-Rodda*. Data yang dikumpulkan meliputi curah hujan harian dan bulanan dari PU Bidang Pengairan dan BMKG, serta data topografi dan peta DAS Tukad Ayung untuk mengetahui kondisi fisiografi dan distribusi spasial stasiun hujan. Data curah hujan diuji konsistensi dan homogenitasnya, sementara peta DAS digunakan untuk menentukan posisi relatif stasiun terhadap hulu, tengah, dan hilir.

Analisis jaringan dilakukan dengan menghitung koefisien korelasi antar stasiun, menentukan indeks jaringan, dan mempertimbangkan kondisi topografi DAS yang berbukit dan memanjang. Evaluasi efektivitas dan efisiensi jaringan dilakukan untuk menilai kecukupan jumlah dan distribusi stasiun hujan, mengidentifikasi stasiun yang paling representatif, serta memberikan rekomendasi penambahan atau pengurangan stasiun bila diperlukan. Hasil akhir berupa kesimpulan efektivitas jaringan stasiun hujan dan rekomendasi teknis untuk pengelolaan data hidrologi yang lebih akurat dalam mendukung pengembangan sumber daya air secara berkelanjutan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis uji outlier, uji ketiadaan trend, dan uji persistensi

Setelah data setiap stasiun hujan yang digunakan menunjukkan data yang konsisten, maka dilanjutkan dengan uji *outlier* dan uji ketiadaan trend yang ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Setelahnya dilanjutkan uji persistensi yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 2. Rekapitulasi uji *outlier*

No	Data Hujan	Uji Outlier					
		Max	Batas Atas	Keterangan	Min	Batas Bawah	Keterangan
1	Stasiun Catur	313	380,96	Tidak terdapat outlier	95	75,04	Tidak terdapat outlier
2	Stasiun Kintamani	139	445,55	Tidak terdapat outlier	84	56,85	Tidak terdapat outlier
3	Stasiun Candikuning	325	450,83	Tidak terdapat outlier	78	54,45	Tidak terdapat outlier
4	Stasiun Pelaga	217	317,34	Tidak terdapat outlier	50	42,68	Tidak terdapat outlier
5	Stasiun Kerta	222	267,97	Tidak terdapat outlier	50,5	34,4	Tidak terdapat outlier
6	Stasiun Petang	166	173,08	Tidak terdapat outlier	68	59,45	Tidak terdapat outlier
7	Stasiun Luwus	268	363,25	Tidak terdapat outlier	84	49,2	Tidak terdapat outlier
8	Stasiun Tegallalang	98	161,56	Tidak terdapat outlier	42,5	40,43	Tidak terdapat outlier
9	Stasiun Ubud	165	344,87	Tidak terdapat outlier	85,5	31,19	Tidak terdapat outlier
10	Stasiun Abiansema	150	166,11	Tidak terdapat outlier	80	69,88	Tidak terdapat outlier
11	Stasiun Kapal	134	155,63	Tidak terdapat outlier	80,5	77,81	Tidak terdapat outlier

12	Stasiun Celuk	158	182,08	Tidak terdapat outlier	63,5	56,9	Tidak terdapat outlier
13	Stasiun Penatih	144,5	176,94	Tidak terdapat outlier	67,3	63,82	Tidak terdapat outlier
14	Stasiun Sumerta	194	215,54	Tidak terdapat outlier	72,2	68,6	Tidak terdapat outlier

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa data yang tersedia menunjukkan tidak terdapat data yang outlier sehingga semua data dapat dipakai.

Tabel 3. Rekapitulasi uji ketiadaan *trend*

No	Data Hujan	Uji Ketidadaan <i>Trend</i>		
		<i>t</i> _{hitung}	<i>t</i> _{tabel}	Keterangan
1	Stasiun Catur	0,85	2,262	Independen
2	Stasiun Kintamani	-0,25	2,262	Independen
3	Stasiun Candikuning	0,38	2,262	Independen
4	Stasiun Pelaga	-0,58	2,262	Independen
5	Stasiun Kerta	-0,25	2,262	Independen
6	Stasiun Petang	-0,33	2,262	Independen
7	Stasiun Luwus	-0,05	2,262	Independen
8	Stasiun Tegallalang	1,82	2,262	Independen
9	Stasiun Ubud	-0,19	2,262	Independen
10	Stasiun Abiansemal	-0,41	2,262	Independen
11	Stasiun Kapal	0,25	2,262	Independen
12	Stasiun Celuk	-0,50	2,262	Independen
13	Stasiun Penatih	-0,61	2,262	Independen
14	Stasiun Sumerta	-0,14	2,262	Independen

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa data yang tersedia menunjukkan Independen sehingga semua data dapat dipakai.

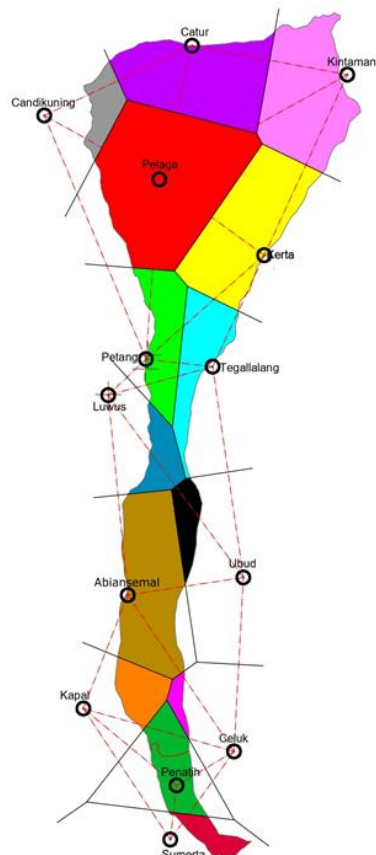
Tabel 4. Rekapitulasi uji persistensi

No	Data Hujan	Uji Persistensi		
		<i>t</i> _{hitung}	<i>t</i> _{tabel}	Keterangan
1	Stasiun Catur	-1,52	1,860	Independen
2	Stasiun Kintamani	-1,49	1,860	Independen
3	Stasiun Candikuning	-1,13	1,860	Independen
4	Stasiun Pelaga	-0,21	1,860	Independen
5	Stasiun Kerta	-3,58	1,860	Independen
6	Stasiun Petang	0,73	1,860	Independen
7	Stasiun Luwus	0,24	1,860	Independen
8	Stasiun Tegallalang	-1,00	1,860	Independen
9	Stasiun Ubud	-0,65	1,860	Independen
10	Stasiun Abiansemal	-1,30	1,860	Independen
11	Stasiun Kapal	-6,17	1,860	Independen
12	Stasiun Celuk	-0,21	1,860	Independen
13	Stasiun Penatih	-1,06	1,860	Independen
14	Stasiun Sumerta	-1,73	1,860	Independen

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa data yang tersedia menunjukkan Independen sehingga semua data dapat dipakai.

4.2 Analisis stasiun hujan eksisting menurut WMO

Berdasarkan standar WMO sudah menetapkan untuk daerah pulau kecil bergunung cukup 1 stasiun hujan untuk mewakili tiap luasan 25 km². DAS Tukad Ayung yang terletak di Pulau Bali memiliki luas DAS 300,81 km². Dilihat dari ukuran Pulau Bali yang berada pada wilayah Indonesia merupakan pulau kecil yang beriklim tropis. Dengan Metode *Poligon Thiessen* didapat luas kerapatan tiap stasiun dan dapat dipilih standar WMO untuk daerah pulau kecil yang bergunung.



Gambar 1. Peta pengaruh tiap stasiun pada DAS Tukad Ayung

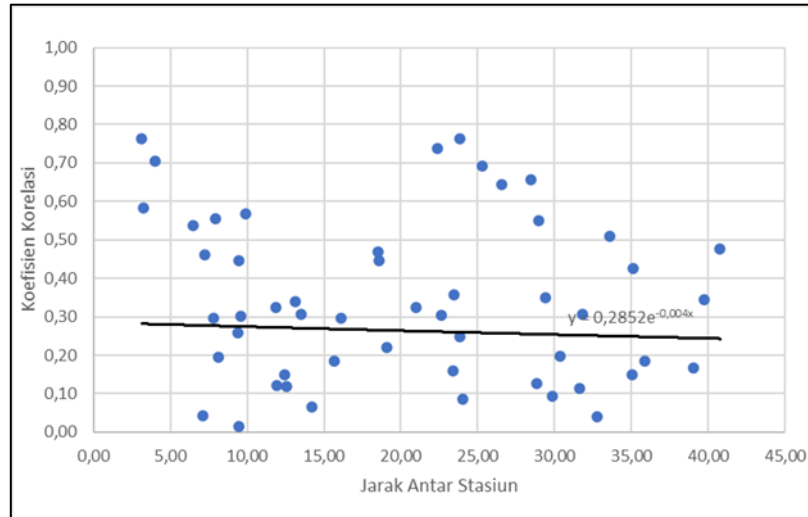
Tabel 5. Luas daerah pengaruh hujan pada DAS Tukad Ayung menurut WMO

No	Data Hujan	Luas Pengaruh (km ²)	Standar WMO (25 km ²)
1	Stasiun Catur	38,6	Memenuhi kerapatan minimum
2	Stasiun Kintamani	37,6	Memenuhi kerapatan minimum
3	Stasiun Candikuning	7,7	Lebih kecil dari kerapatan minimum
4	Stasiun Pelaga	63,3	Memenuhi kerapatan minimum
5	Stasiun Kerta	38,9	Memenuhi kerapatan minimum
6	Stasiun Petang	17,3	Lebih kecil dari kerapatan minimum
7	Stasiun Luwus	8,6	Lebih kecil dari kerapatan minimum
8	Stasiun Tegallalang	17,2	Lebih kecil dari kerapatan minimum
9	Stasiun Ubud	6,6	Lebih kecil dari kerapatan minimum
10	Stasiun Abiansemal	35,6	Memenuhi kerapatan minimum
11	Stasiun Kapal	8,9	Lebih kecil dari kerapatan minimum
12	Stasiun Celuk	2,3	Lebih kecil dari kerapatan minimum
13	Stasiun Penatih	13,2	Lebih kecil dari kerapatan minimum
14	Stasiun Sumerta	5,1	Lebih kecil dari kerapatan minimum
Total Luas		300,81	

Berdasarkan analisis hujan menurut standar WMO 25 km² didapat bahwa dari 14 stasiun hanya 5 stasiun yang memenuhi kerapatan minimum sesuai standar WMO yaitu Stasiun Catur, Stasiun Kintamani, Stasiun Pelaga, Stasiun Kerta dan Stasiun Abiansemal. Hasil analisa ini selanjutnya dipertimbangkan dalam evaluasi menggunakan metode *Kagan-Rodda*.

4.3 Analisis stasiun hujan dengan metode Kagan-Rodda

Pada Gambar 2 menunjukkan hubungan dari hasil perhitungan koefisien korelasi hujan dan jarak antar stasiun. Perhitungan kesalahan perataan dan kesalahan interpolasi dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.



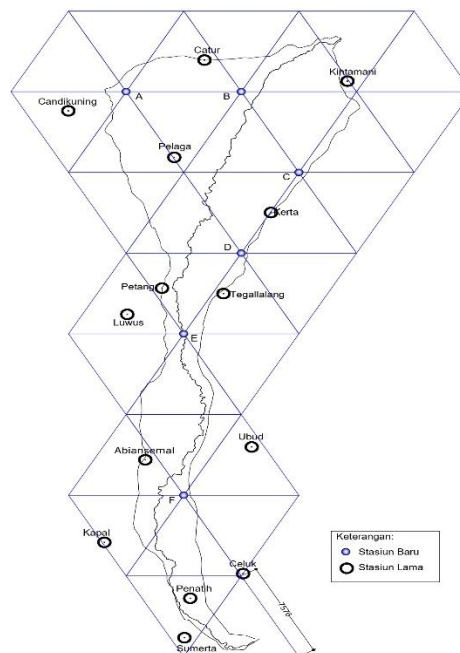
Gambar 2. Hubungan jarak antar stasiun dan koefisien korelasi curah hujan

Tabel 6. Kesalahan perataan dan kesalahan interpolasi

No	Cv	$r_{(0)}$	$d_{(0)}$	A	Z1 (%)	Z3 (%)	L
1	0,239	0,2852	250,00	300,81	23,884	11,93	18,56
2	0,239	0,2852	250,00	300,81	16,900	11,86	13,12
3	0,239	0,2852	250,00	300,81	13,803	11,83	10,71
4	0,239	0,2852	250,00	300,81	11,956	11,81	9,28
5	0,239	0,2852	250,00	300,81	10,695	11,80	8,30
6	0,239	0,2852	250,00	300,81	9,764	11,79	7,57
7	0,239	0,2852	250,00	300,81	9,040	11,78	7,01
8	0,239	0,2852	250,00	300,81	8,457	11,77	6,56
9	0,239	0,2852	250,00	300,81	7,974	11,77	6,19
10	0,239	0,2852	250,00	300,81	7,565	11,76	5,87
11	0,239	0,2852	250,00	300,81	7,213	11,76	5,60
12	0,239	0,2852	250,00	300,81	6,906	11,76	5,36
13	0,239	0,2852	250,00	300,81	6,635	11,75	5,15
14	0,239	0,2852	250,00	300,81	6,394	11,75	4,96
15	0,239	0,2852	250,00	300,81	6,177	11,75	4,79
16	0,239	0,2852	250,00	300,81	5,981	11,75	4,64
17	0,239	0,2852	250,00	300,81	5,803	11,75	4,50
18	0,239	0,2852	250,00	300,81	5,639	11,74	4,37
19	0,239	0,2852	250,00	300,81	5,489	11,74	4,26
20	0,239	0,2852	250,00	300,81	5,350	11,74	4,15
21	0,239	0,2852	250,00	300,81	5,221	11,74	4,05
22	0,239	0,2852	250,00	300,81	5,101	11,74	3,95
23	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,989	11,74	3,87
24	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,884	11,74	3,79
25	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,786	11,74	3,71
26	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,693	11,73	3,64
27	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,605	11,73	3,57
28	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,522	11,73	3,51
29	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,443	11,73	3,45
30	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,369	11,73	3,39
31	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,298	11,73	3,33

32	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,230	11,73	3,28
33	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,166	11,73	3,23
34	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,104	11,73	3,18
35	0,239	0,2852	250,00	300,81	4,045	11,73	3,14
36	0,239	0,2852	250,00	300,81	3,988	11,73	3,09
37	0,239	0,2852	250,00	300,81	3,934	11,73	3,05
38	0,239	0,2852	250,00	300,81	3,882	11,73	3,01
39	0,239	0,2852	250,00	300,81	3,832	11,73	2,97
40	0,239	0,2852	250,00	300,81	3,784	11,72	2,93

Berdasarkan Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah stasiun hujan maka semakin kecil pula kesalahan yang terjadi. Nilai kesalahan persamaan perataan ($Z1$) ditetapkan $5\% < Z1 < 10\%$. Maka digunakan jumlah stasiun $N = 22$ buah stasiun dengan kesalahan perataan minimum dan $N = 6$ buah stasiun dengan kesalahan perataan maksimum.



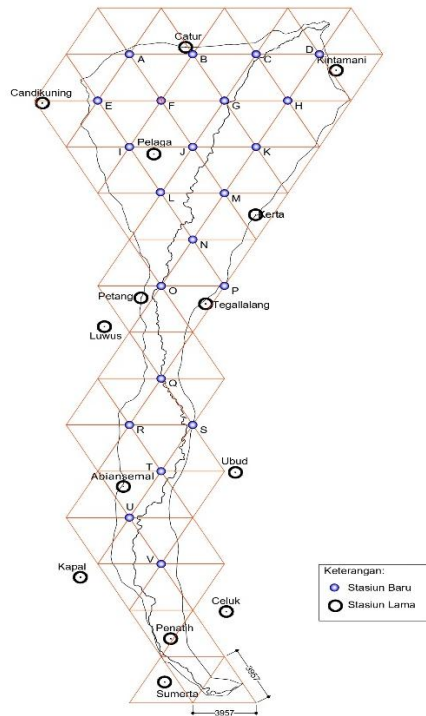
Gambar 3. Jaringan-jaring segitiga sama sisi metode Kagan-Rodda dengan ($N=6$) ($Z1=9,764\%$), ($Z3=11,79\%$), dan ($L=7,576$ km)

Tabel 7. Evaluasi Pemilihan Stasiun Hujan Untuk ($N=6$) ($Z1=9,764\%$), ($Z3=11,79$) dan ($L=7,576$ km)

Stasiun	Jarak titik simpul	$r(0)$	$r(d)$	$(r(0)-r(d))/r(0)$	Keterangan
Catur-A	5,76	0,2852	0,2787	2,28%	Terpilih
Catur-B	3,53	0,2852	0,2812	1,40%	Terpilih
Kintamani-A	7,03	0,2852	0,2773	2,77%	Terpilih
Kintamani-B	8,08	0,2852	0,2761	3,18%	Terpilih
Candikuning-A	4,11	0,2852	0,2805	1,63%	Terpilih
Candikuning-B	11,48	0,2852	0,2724	4,49%	Terpilih
Pelaga-A	6,21	0,2852	0,2782	2,45%	Terpilih
Pelaga-B	6,92	0,2852	0,2774	2,73%	Terpilih
Pelaga-C	8,29	0,2852	0,2579	3,26%	Terpilih
Kerta-C	3,75	0,2852	0,2810	1,49%	Terpilih
Kerta-D	3,83	0,2852	0,2809	1,52%	Terpilih
Tegallalang-D	8,15	0,2852	0,2761	3,21%	Terpilih
Tegallalang-E	5,49	0,2852	0,2790	2,17%	Terpilih

Petang-D	5,94	0,2852	0,2785	2,35%	Terpilih
Petang-E	3,98	0,2852	0,2807	1,58%	Terpilih
Luwus-D	9,00	0,2852	0,2751	3,54%	Terpilih
Luwus-E	4,04	0,2852	0,2806	1,60%	Terpilih
Ubud-E	10,23	0,2852	0,2738	4,01%	Terpilih
Ubud-F	5,95	0,2852	0,2785	2,35%	Terpilih
Abiansemal-E	10,61	0,2852	0,2722	4,16%	Terpilih
Abiansemal-F	3,81	0,2852	0,2809	1,51%	Terpilih
Kapal-F	6,47	0,2852	0,2779	2,56%	Terpilih
Celuk-F	7,47	0,2852	0,2768	2,94%	Terpilih
Penatih-F	8,38	0,2852	0,2758	3,30%	Terpilih
Sumerta-F	11,58	0,2852	0,2723	4,53%	Terpilih

Dari hasil di atas, stasiun rencana A dapat diwakili oleh tiga stasiun yaitu Stasiun Catur, Stasiun Kintamani, dan Stasiun Pelaga, karena ada tiga stasiun yang dapat digunakan maka dipilih nilai evaluasi yang terkecil adalah Stasiun Candikuning. Stasiun rencana B diwakili oleh Stasiun Catur, stasiun rencana C dan D diwakili oleh Stasiun Kerta, stasiun rencana E diwakili oleh Stasiun Petang, stasiun rencana F diwakili oleh Stasiun Abiansemal.



Gambar 4. Jaring-jaring segitiga sama sisi metode Kagan-Rodda dengan (N=22)
(Z1= 5,101%), (Z3= 11,74%), dan (L= 3,957 km)

Tabel 8. Evaluasi Pemilihan Stasiun Hujan Untuk (N=22)
(Z1= 5,101%), (Z3= 11,74%), dan (L= 3,957 km)

Stasiun Rencana	Stasiun	Jarak titik simpul	r(0)	r(d)	$\frac{r(0)-r(d)}{r(0)}$	Keterangan
A	Catur	3,552	0,2852	0,2812	1,41%	Terpilih
	Candikuning	6,542	0,2852	0,2739	3,95%	Terpilih
	Pelaga	7,541	0,2852	0,2767	2,97%	Terpilih
B	Catur	0,683	0,2852	0,2844	0,27%	Terpilih
C	Catur	4,431	0,2852	0,2802	1,76%	Terpilih
D	Kintamani	1,585	0,2852	0,2834	0,63%	Terpilih
E	Candikuning	3,462	0,2852	0,2813	1,38%	Terpilih

F	Pelaga	3,983	0,2852	0,2807	1,58%	Terpilih
G	Catur	4,631	0,2852	0,2800	1,84%	Terpilih
H	Kintamani	3,762	0,2852	0,2809	1,49%	Terpilih
I	Pelaga	1,618	0,2852	0,2834	0,65%	Terpilih
J	Pelaga	2,485	0,2852	0,2824	0,99%	Terpilih
K	Kerta	5,019	0,2852	0,2795	1,99%	Terpilih
L	Pelaga	2,925	0,2852	0,2819	1,16%	Terpilih
M	Kerta	2,516	0,2852	0,2823	1,00%	Terpilih
N	Kerta	4,334	0,2852	0,2803	1,72%	Terpilih
O	Petang	1,539	0,2852	0,2834	0,61%	Terpilih
P	Petang	5,291	0,2852	0,2792	2,09%	Terpilih
Q	Luwus	5,224	0,2852	0,2793	2,07%	Terpilih
R	Abiansemal	4,636	0,2852	0,2800	1,84%	Terpilih
S	Ubud	4,408	0,2852	0,2802	1,75%	Terpilih
T	Abiansemal	2,669	0,2852	0,2822	1,06%	Terpilih
U	Abiansemal	2,273	0,2852	0,2826	0,90%	Terpilih
V	Celuk	5,391	0,2852	0,2791	2,13%	Terpilih

Dari Tabel 8 diatas, stasiun rencana A diwakili oleh Stasiun Catur, Stasiun Candikuning, Stasiun Pelaga karena ada tiga stasiun yang bisa digunakan maka dipilih stasiun yang memiliki nilai evaluasi terkecil yaitu Stasiun Catur. Stasiun rencana B, C, dan G diwakili oleh Stasiun Catur karena memiliki nilai evaluasi terkecil. Stasiun rencana D, H diwakili oleh Stasiun Kintamani karena memiliki nilai evaluasi terkecil. Stasiun rencana E diwakili oleh Stasiun Candikuning karena memiliki nilai evaluasi terkecil. Stasiun rencana F, I, J, L, diwakili oleh Stasiun Pelaga karena memiliki nilai evaluasi terkecil. Stasiun rencana K, M, N, diwakili oleh Stasiun Kerta karena memiliki nilai evaluasi terkecil. Stasiun rencana O, P, diwakili oleh Stasiun Petang karena memiliki nilai evaluasi terkecil. Stasiun rencana Q diwakili oleh Stasiun Luwus karena memiliki nilai evaluasi terkecil. Stasiun rencana R, T, U, diwakili oleh Stasiun Abiansemal karena memiliki nilai evaluasi terkecil. Stasiun rencana S diwakili oleh Stasiun Ubud karena memiliki nilai evaluasi terkecil. Stasiun rencana V diwakili oleh Stasiun Celuk karena memiliki nilai evaluasi terkecil.

5. KESIMPULAN

Stasiun hujan yang terdapat di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tukad Ayung pada umumnya telah berfungsi secara efektif dalam merekam dan mewakili kondisi curah hujan di wilayah tersebut, meskipun terdapat dua stasiun yang dinilai kurang efisien yaitu Stasiun Luwus dan Stasiun Penatih. Berdasarkan hasil analisa menggunakan metode Kagan-Rodda, jaringan stasiun hujan eksisting di DAS Tukad Ayung sudah memiliki kerapatan yang cukup rasional sehingga mampu menggambarkan karakteristik hidrologi secara menyeluruh. Pembagian wilayah pengamatan pun telah terdistribusi dengan baik, di mana bagian hulu diwakili oleh Stasiun Catur, Stasiun Pelaga, dan Stasiun Kerta yang berperan penting dalam memantau curah hujan di daerah sumber aliran; bagian tengah diwakili oleh Stasiun Tegallalang, Stasiun Petang, Stasiun Luwus, dan Stasiun Abiansemal yang mencerminkan kondisi transisi aliran sungai; serta bagian hilir diwakili oleh Stasiun Celuk, Stasiun Penatih, dan Stasiun Sumerta yang berfungsi untuk mengamati curah hujan di wilayah yang lebih padat penduduk dan rawan banjir. Dengan demikian, meskipun terdapat beberapa stasiun yang perlu evaluasi lebih lanjut terkait efisiensinya, secara keseluruhan jaringan stasiun hujan di DAS Tukad Ayung sudah cukup representatif untuk mendukung analisis hidrologi dan pengelolaan sumber daya air di kawasan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Harto, S. (1993). *Analisis Hidrologi*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Junaidi, R. (2015). Kajian Rasionalisasi Jaringan Stasiun Hujan Pada Ws Parigi-Poso Sulawesi Tengah dengan Metode Kagan Rodda dan Kriging. *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik-Sistem*, 11(1), 22–31. <http://sistem.wisnuwardhana.ac.id/index.php/sistem/article/view/19>

- Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulhus, J. L. H. (1986). *Hydrology for Engineers (Third Edition)*. Erlangga.
- Lismula, A. M., Dharmawansyah, D., Mawardin, A., & Susilawati, T. (2021). Efisiensi Kerapatan Stasiun Hujan di Kabupaten Sumbawa. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 20–30. <https://doi.org/10.24815/jts.v10i1.19122>
- Prawati, E., & Dermawan, V. (2018). Rasionalisasi Jaringan Stasiun Hujan Menggunakan Metode Kagan Rodda Dengan Memperhitungkan Faktor Topografi Pada Das Sarokah Kabupaten Sumenep (Pulau Madura, Jawa Timur). *Tapak*, 8(1), 79–90.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi: Aplikasi Model Statistik untuk Analisis Data Jilid II*. Nova.
- Triadi, I. N. S., Mudhina, M., & Handayani, K. W. (2013). Pengelolaan Sumber Daya Air Tukad Ayung sebagai Upaya Ketersediaan Air. *Logic: Jurnal Rancang Bangun Dan Teknologi*.
- Wangsa, A. A. R. ritaka, Suryatmaja, I. B., & Andini, A. A. M. P. (2023). Analisis Hidrologi Rancangan Menggunakan Metode Rasional Pada Saluran Drainase Di Kelurahan Sumerta Kelod Kota Denpasar Anak Agung Ratu Ritaka Wangsa 1) , Ida Bagus Suryatmaja 2). *Jurnal Ganec Swara*, 17(2), 607–616. <http://journal.unmasmataram.ac.id/index.php/GARA>