

Rasionalisasi Pos Curah Hujan Menggunakan Metode Kagan di DAS Ciliwung untuk Operasi Bendungan Ciawi dan Sukamahi

Rainfall Station Rationalization using Kagan Method in Ciliwung Watershed for the Ciawi and Sukamahi Dams Operations

Propezite Nurhutama Mustain*, Dyah Ari Wulandari, Hari Nugroho, Suripin

Magister Teknik Sipil; Universitas Diponegoro; Jalan Prof. Soedarto, SH., Semarang, Indonesia; e-mail: propezite.n.m@gmail.com; dyahariwulandari@yahoo.co.id; harinugroho66@yahoo.co.id; suripin.ar@gmail.com

* Korespondensi: e-mail: propezite.n.m@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33558/bentang.v11i1.5614>

ABSTRAK

Pos hidrologi menjadi elemen penting dalam rangka memberikan informasi awal kepada pengelola bendungan dalam perencanaan dan pengelolaan bendungan yang lebih baik. Data curah hujan yang dihasilkan dari pos curah hujan adalah salah satu input dalam analisis hidrologi yang dapat digunakan dalam pengelolaan bendungan. Untuk menunjang analisis hidrologi tersebut, maka diperlukan jaringan pos curah hujan yang tepat, baik dari segi jumlah maupun lokasi pos curah hujan. Oleh karena itu dibutuhkan studi penataan kembali/rasionalisasi jaringan pos hidrologi yang berada dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung, sehingga dapat dimanfaatkan dalam pengoperasian bendungan. Tujuan kajian ini adalah untuk mendapatkan jaringan pos curah hujan yang efisien dan efektif di DAS Ciliwung untuk mendukung pengoperasian Bendungan Ciawi dan Sukamahi. Dalam kasus ini digunakan metode Kagan dalam analisis rasionalisasi jaringan pos curah hujan dengan menghasilkan jumlah optimum pos curah hujan di DAS Ciliwung yaitu 29 pos curah hujan. Berdasarkan hasil tersebut, maka jumlah pos curah hujan di DAS Ciliwung telah memenuhi dari segi jumlah, namun titik lokasinya yang perlu disesuaikan dengan segitiga Kagan tersebut.

Kata kunci: DAS Ciliwung; Kagan; pos curah hujan; rasionalisasi

ABSTRACT

Hydrological stations are an important element in order to provide preliminary information to dam managers in planning and managing dams. Rainfall data generated from rainfall stations is one of the inputs in hydrological analysis that can be used in dam management. To support the hydrological analysis, an appropriate network of rainfall stations is needed, both in terms of the number and location of rainfall stations. Therefore, it is necessary to study the rationalization of the hydrological station network within the Ciliwung Watershed, so that it can be utilized in dam operations. The purpose of this study is to obtain an efficient and effective network of rainfall stations in the Ciliwung watershed to support the operation of the Ciawi and Sukamahi Dams. In this case, the Kagan method was used in the analysis of the rationalization of the rainfall station network by producing the optimum number of rainfall stations in the Ciliwung watershed, that is 29 rainfall stations. Based on these results, the number of rainfall stations in the Ciliwung watershed has met in terms of number, but the location point needs to be adjusted to the Kagan triangle.

Keywords: Ciliwung watershed; Kagan; rainfall station; rationalization

Received: October, 20, 2022 ; Revised: November, 1, 2022; Accepted: November, 1, 2022; Available Online: January, 11, 2023

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan hidrologi akan menghasilkan informasi curah hujan, tinggi muka air, besaran debit aliran dan iklim yang sangat diperlukan guna menunjang kegiatan pengelolaan, pengembangan maupun pengendalian daya rusak sumber daya air (SDA), salah satunya adalah untuk mendukung dalam pengoperasian bendungan. Pos hidrologi menjadi elemen penting dalam rangka memberikan informasi awal kepada pengelola bendungan dalam perencanaan dan pengelolaan bendungan yang lebih baik (Basri et al., 2019). Data dasar yang akan digunakan untuk suatu analisis sangat tergantung pada seberapa jauh pos hidrologi yang ada dapat memantau karakteristik hidrologi dalam suatu daerah aliran sungai (DAS) tersebut. Data curah hujan yang dihasilkan dari pos curah hujan adalah salah satu input dalam analisis hidrologi yang dapat digunakan dalam pengelolaan bendungan. Untuk menunjang analisis hidrologi tersebut, maka diperlukan jaringan pos curah hujan yang tepat, baik dari segi jumlah maupun lokasi pos curah hujan.

Beberapa metode dan model yang telah dikembangkan untuk dapat mengakomodasi rasionalisasi jaringan pos curah hujan. Beberapa metode tersebut adalah metode Kendali Mutu, Kagan, Isohyet, Stepwise, dan Kerapatan WMO (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2019). Model lain yang telah dikembangkan adalah *Genetic Algorithm* (Wang et al., 2020) dan *Remote Sensing* (Morsy et al., 2021).

Beberapa penelitian juga telah dilakukan dalam penataan pos curah hujan di Indonesia, seperti di Wilayah Sungai (WS) Welang (Haromain et al., 2022), Sumbawa (Renaldhy et al., 2021), Sampean (Hidayah et al., 2022), DAS Progro (Nandiasa et al., 2021), dan WS Rokan (Abdaa et al., 2021). Selain itu di WS Ciliwung Cisadane (Prmono et al., 2019) telah dilakukan penelitian terkait penataan/rasionalisasi pos hidrologi, namun penelitian tersebut dilakukan berdasarkan keseluruhan wilayah sungai (WS), tidak dilakukan perDAS, sehingga masih diperlukan penelitian kembali terkait penataan pos curah hujan di DAS Ciliwung dalam mendukung pengoperasian Bendungan Ciawi dan Sukamahi.

Berdasarkan fenomena tersebut, maka dibutuhkan studi penataan kembali/rasionalisasi jaringan pos hidrologi yang berada dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung, sehingga dapat dimanfaatkan dalam pengoperasian bendungan. Tujuan kajian ini adalah untuk mendapatkan jaringan pos curah hujan yang efisien dan efektif di DAS Ciliwung untuk mendukung pengoperasian Bendungan Ciawi dan Sukamahi. Dalam kasus ini digunakan metode Kagan dalam analisis rasionalisasi jaringan pos hidrologi, karena dalam model Kagan dapat meminimalkan kesalahan pendugaan curah hujan pada jaringan korelasi spasial antar stasiun pengukuran, dan dapat digunakan untuk menentukan pola penempatan dan jumlah stasiun pengukur.

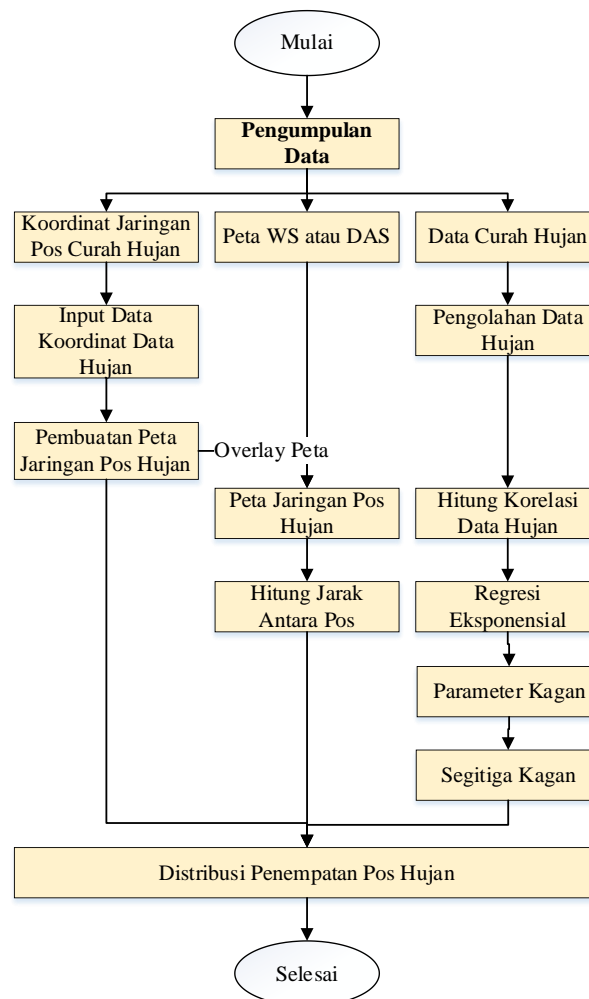
2. METODE PENELITIAN

Rasionalisasi pos curah hujan merupakan salah satu cara untuk mendapatkan jaringan pos curah hujan yang efisien, efektif, serta dapat mewakili kondisi hidrologi di suatu wilayah sungai. Cara sederhana untuk mengetahui jaringan pos curah hujan adalah metode yang diusulkan oleh (Kagan et al., 1997) dengan keunggulan dalam menentukan kebutuhan jumlah pos curah hujan dan pola penempatannya. Metode Kagan menggunakan analisis statistik dengan menghubungkan kerapatan jaringan pos curah hujan, kesalahan interpolasi dan kesalahan perataan, sehingga didapatkan jarak yang optimal dengan berbagai tingkat kesalahan yang dapat diterima. Jarak optimal tersebut membentuk jaringan segitiga sama sisi, dan titik simpul antar segitiga sama sisi tersebut merupakan titik ideal teoritis penempatan pos curah hujan. Fungsi metode Kagan tersebut sebagai berikut pada persamaan 1.

$$r(\rho) = r(o)e^{\frac{-\rho}{\rho_0}} \quad (1)$$

Dimana, $r(\rho)$ adalah koefisien korelasi untuk jarak, $r(o)$ adalah koefisien korelasi antara pos dengan jarak yang sangat kecil (± 0 km), ρ adalah jarak antara pos (km), dan ρ_o adalah radius korelasi (jarak antara pos dimana korelasi berkurang dengan faktor e).

Deskripsi skematis dari proses metode ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk menghasilkan analisis yang valid diperlukan data yang panjang dan kualitas yang baik. Dalam studi ini pos yang dianalisis adalah pos yang memiliki data minimal 10 tahun, memiliki koordinat yang valid dan alat yang masih berfungsi. Kondisi eksisting saat ini terdapat 31 pos curah hujan di DAS Ciliwung, namun karena keterbatasan data curah hujan, maka dalam analisis menggunakan metode Kagan, hanya menggunakan data dari pos curah hujan milik Besar Wilayah Sungai (BBWS) Ciliwung Cisadane. Namun nantinya dalam penentuan akhir tetap memperhitungkan jumlah keseluruhan pos curah hujan yang terdapat di DAS Ciliwung.



Gambar 1. Skema Metode Kagan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode Kagan merupakan metode yang menggunakan unsur korelasi data hujan bulanan dan jarak antar pos curah hujan. Koefisien korelasi pada metode Kagan, dilakukan dengan menggunakan data hujan bulanan pada masing-masing pos curah hujan. Maksud dari perhitungan ini adalah untuk mengetahui hubungan korelasi antar pos curah hujan. Perhitungan korelasi antar pos curah hujan menggunakan bantuan program *spreadsheet*. Hasil korelasi antar pos curah hujan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Korelasi Data Hujan Bulanan Antar Pos Curah Hujan Metode Kagan di DAS Ciliwung

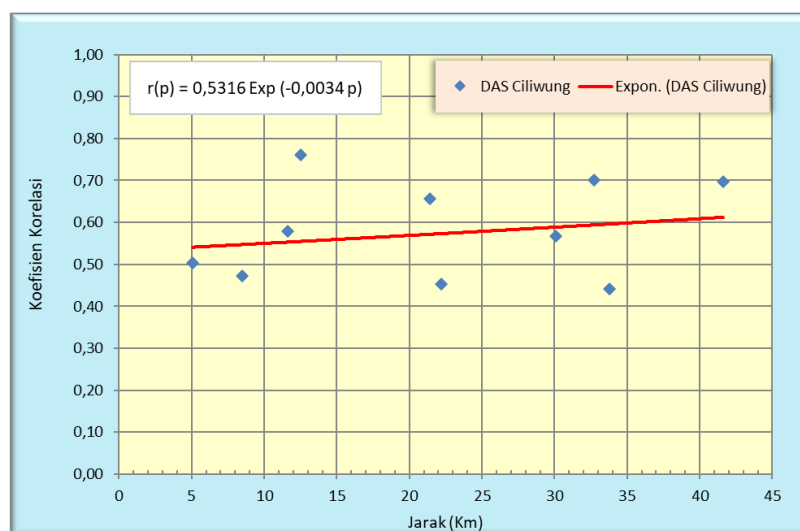
Pos Curah Hujan	PCH Perkeb. Gn. Mas	PCH Cilamber	PCH Gadog	PCH Cibinong	PCH Kampus UI
PCH Perkeb. Gn. Mas	1,00				
PCH Cilamber	0,47	1,00			
PCH Gadog	0,76	0,50	1,00		
PCH Cibinong	0,57	0,45	0,66	1,00	
PCH Kampus UI	0,70	0,44	0,70	0,58	1,00

Untuk jarak antar pos curah hujan diukur dari satu pos ke pos yang lain dan sebaliknya. Maksud dari perhitungan ini adalah untuk mengetahui jarak antar pos curah hujan pada DAS Ciliwung. Hasil perhitungan jarak antar pos curah hujan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jarak Antar Pos Curah Hujan Metode Kagan di DAS Ciliwung (km)

Pos Curah Hujan	PCH Perkeb. Gn. Mas	PCH Cilamber	PCH Gadog	PCH Cibinong	PCH Kampus UI
PCH Perkeb. Gn. Mas	0,0				
PCH Cilamber	8,5	0,0			
PCH Gadog	12,5	5,1	0,0		
PCH Cibinong	30,1	22,2	21,4	0,0	
PCH Kampus UI	41,6	33,8	32,7	11,6	0,0

Grafik hubungan antara koefisien korelasi antar pos untuk curah hujan bulanan dan jaraknya ditunjukkan pada Gambar 2. Grafik hubungan antara koefisien korelasi dan jarak antar pos curah hujan mengartikan bahwa semakin dekat jarak pos hujan, maka keragaman data curah hujan pada pos tersebut semakin kecil. Berdasarkan Gambar 2 terlihat hubungan yang cukup landai karena data sampel yang digunakan memiliki jarak antar pos curah hujan yang relatif jauh, sementara sampel pos yang berdekatan tidak tersedia. Walaupun demikian dengan mengoptimasi nilai $r(0)$, pola hubungan koefisien korelasi dan jarak antar pos curah hujan dapat diketahui dengan $r(p) = 0,5316 \text{ Exp}(-0,0034p)$.



Gambar 2. Koefisien Korelasi dan Jarak Antar Pos Curah Hujan DAS Ciliwung

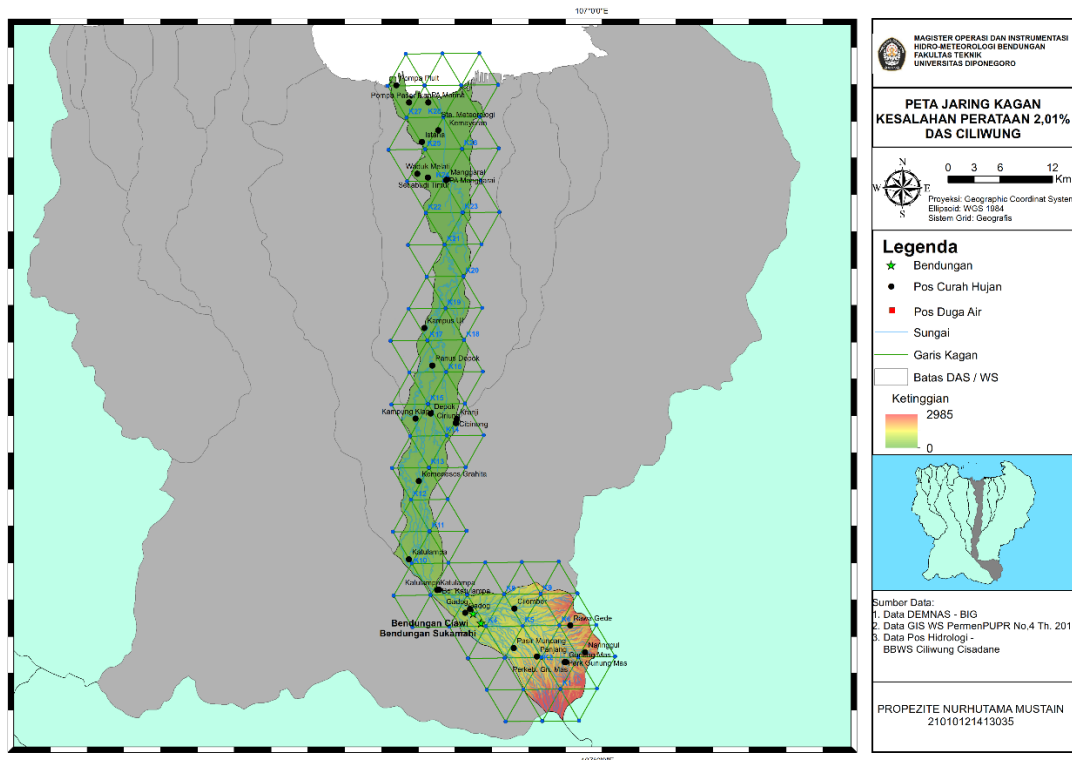
Selanjutnya menentukan jumlah pos curah hujan yang mewakili wilayah studi dengan mempertimbangkan nilai kesalahan perataan relatifnya. Tabel 3 menunjukkan rekap dari jumlah pos (N), kesalahan perataan relatif (Z1), kesalahan interpolasi (Z3), dan jarak antar pos (L). Dalam studi nilai kesalahan perataan relatif ditentukan sebesar 2,01%, sehingga jumlah pos yang

optimum didapat dari metode Kagan adalah sebanyak 29 pos curah hujan dengan jarak antar pos curah hujan sebesar 4,22 km.

Tabel 3. Rekap Hasil Analisa Metode Kagan Pos Curah Hujan di DAS Ciliwung

N	Z1	Z3	L
1	10,97	6,61	22,74
5	4,86	6,40	10,17
10	3,43	6,35	7,19
15	2,80	6,33	5,87
20	2,42	6,31	5,09
25	2,16	6,30	4,55
28	2,04	6,30	4,30
29	2,01	6,30	4,22
30	1,97	6,30	4,15

Peta distribusi pemasangan pos curah hujan hasil metode Kagan ini digambarkan dalam bentuk simpul segitiga sama sisi. Titik simpul kagan tersebut merupakan langkah awal penentuan lokasi pos curah hujan yang optimal. Apabila pada titik simpul Kagan tersebut terdapat pos curah hujan eksisting, maka titik simpul kagan dapat diabaikan. Distribusi pos curah hujan di DAS Ciliwung dengan kesalahan perataan 2,01% dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Jaring Kagan Kesalahan Perataan 2,01% DAS Ciliwung

Kondisi eksisting saat ini terdapat 31 pos curah hujan di DAS Ciliwung, baik milik BBWS Ciliwung Cisadane (CilCis), BMKG, maupun instansi lainnya. Tabel 4 menunjukkan rekapitulasi jarak antara pos curah hujan eksisting dengan simpul Kagan terdekat dari masing-masing pos curah hujan. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Kagan, jumlah optimum pos curah hujan yang didapat adalah sebesar 29 pos curah hujan. Jika melihat dari jumlah optimum dari metode Kagan, pos curah hujan di DAS Ciliwung sudah mencukupi dan tidak perlu dilakukan penambahan pos curah hujan, namun jika ditinjau dari titik lokasi beberapa pos curah hujan yang saling berdekatan, maka perlu dilakukan pemindahan pos atau pembangunan baru pada titik

simpul Kagan yang belum terisi oleh pos curah hujan eksisting. Beberapa simpul Kagan yang belum terisi antara lain simpul Kagan 1, 5, 9, 11, 12, 18, 19, 20, 21, 22, 23, dan 26.

Tabel 4. Rekap Jarak Pos Curah Hujan Eksisting dengan Simpul Kagan

No	Pos Curah Hujan	Instansi Pengelola	Lintang	Bujur	Simpul Kagan	Jarak ke Simpul Kagan
1	Perkeb. Gn. Mas	BBWS CilCis	-6,709	106,967	3	1,7
2	Rawa Gede	BBWS CilCis	-6,671	106,973	6	1,3
3	Cilember	BBWS CilCis	-6,653	106,915	8	2
4	Gadog	BBWS CilCis	-6,653	106,869	7	1,7
5	Cibinong	BBWS CilCis	-6,460	106,856	14	1,8
6	Kampung Klapa	BBWS CilCis	-6,455	106,814	15	2,2
7	Kemenesos Grahita	BBWS CilCis	-6,520	106,817	13	1,9
8	PA Manggarai	BBWS CilCis	-6,208	106,848	24	0,3
9	Panus Depok	BBWS CilCis	-6,400	106,832	16	1,8
10	Kampus UI	BBWS CilCis	-6,361	106,824	17	1,5
11	Depok	BMKG Pondok Bitung	-6,450	106,83	15	1,2
12	Istana	BMKG Pondok Bitung	-6,168	106,823	25	0,9
13	Katulampa	BMKG Pondok Bitung	-6,633	106,837	7	3,3
14	Manggarai	BMKG Pondok Bitung	-6,207	106,849	24	0,4
15	Setiabudi Timur	BMKG Pondok Bitung	-6,205	106,829	24	1,9
16	Waduk Melati	BMKG Pondok Bitung	-6,201	106,818	25	3
17	Sta. Met. Kemayoran	BMKG Pusat	-6,156	106,840	28	1,6
18	Bd. Katulampa	Dinas Prov. DKI Jakarta	-6,633	106,837	7	3,3
19	Pompa Pasar Ikan	Dinas Prov. DKI Jakarta	-6,127	106,810	27	1,8
20	PA Marina	Dinas Prov. DKI Jakarta	-6,127	106,830	28	2,4
21	Pompa Pluit	Dinas Prov. DKI Jakarta	-6,109	106,797	27	3,9
22	Ciriung	BMKG Bogor	-6,460	106,856	14	1,8
23	Naringgul	BMKG Bogor	-6,699	106,988	3	0,9
24	Perk Gunung Mas	BMKG Bogor	-6,709	106,967	3	1,7
25	Gadog	BMKG Bogor	-6,657	106,864	7	2,1
26	Katulampa	BMKG Bogor	-6,601	106,806	10	0,6
27	Gunung Mas	Dinas Prov. Jabar	-6,709	106,968	3	1,6
28	Katulampa	Dinas Prov. Jabar	-6,633	106,835	7	3,5
29	Kranji	Dinas Prov. Jabar	-6,456	106,857	14	2,2
30	Panjang	Dinas Prov. Jabar	-6,703	106,938	2	0,5
31	Pasir Muncang	Dinas Prov. Jabar	-6,694	106,914	4	2,8

Beberapa hasil penelitian dengan metode Kagan dalam melakukan penataan/rasionalisasi pos curah hujan dalam suatu DAS antara lain DAS Cisadane (Lestari et al., 2018), DAS Keduang (Pariarta, 2012), subDAS Lesti (Alfirman et al., 2019), dan Pulau Ternate (Widyawati et al., 2021). Tabel 5 adalah perbandingan hasil rasionalisasi pos curah hujan dengan metode Kagan pada beberapa studi tersebut.

Tabel 5. Rekap Perbandingan Metode Kagan pada Beberapa DAS

No	DAS/SubDAS	Kesalahan Perataan	Jumlah Pos Curah Hujan Eksisting	Jumlah Pos Curah Hujan Optimum Metode Kagan
1	DAS Ciliwung	2,01%	31	29
2	DAS Cisadane	1,47%	6	15
3	DAS Keduang	5,00%	10	17
4	SubDAS Lesti	4,65%	2	3
5	Pulau Ternate	19,27%	6	5

4. KESIMPULAN

Kondisi eksisting pos curah hujan yang berada di DAS Ciliwung yaitu terdapat 31 pos curah hujan DAS Ciliwung, baik milik BBWS Ciliwung Cisadane, BMKG, maupun instansi lainnya. Hasil rasionalisasi terhadap pos curah hujan menggunakan metode Kagan yang berada

di DAS Ciliwung dalam mendukung pengoperasi Bendungan Ciawi dan Sukamahi di masa yang akan datang menghasilkan jumlah rekomendasi yaitu 29 pos curah hujan. Berdasarkan metode Kagan tersebut, jumlah pos di DAS Ciliwung telah memenuhi dari segi jumlah, namun jika ditinjau dari titik lokasi beberapa pos curah hujan yang saling berdekatan, maka perlu dilakukan pemindahan pos atau pembangunan baru pada titik simpul Kagan yang belum terisi oleh pos curah hujan eksisting.

Ucapan Terima Kasih

Penghargaan yang tulus kami sampaikan kepada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia dan Universitas Diponegoro yang telah membuat program spesialisasi bendungan, dan mendanai program ini.

REFERENSI

- Abdaa, D., Fauzi, M., & Sandhyavitri, A. (2021). Rasionalisasi Kerapatan Stasiun Hujan Wilayah Sungai Rokan Berdasarkan Data Hujan Harian dan Variasi Tingkat Kesalahan. *Jurnal SAINTIS*, 21(2), 61–70. [https://doi.org/10.25299/saintis.2021.vol21\(02\).6839](https://doi.org/10.25299/saintis.2021.vol21(02).6839)
- Alfirman, Z. R., Limantara, L. M., & Wahyuni, S. (2019). Rasionalisasi Kerapatan Pos Hujan Menggunakan Metode Kagan-Rodda di Sub DAS Lesti. *Jurnal Teknik Sipil*, VIII(2).
- Basri, H., Sidek, L. M., Chua, L. H. C., Razad, A. Z. A., & Kamarulzaman, M. S. (2019). Hydrometeorological Monitoring for Hydropower Reservoirs in Remote Areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 257(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/257/1/012009>
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). *Surat Edaran Dirjen SDA No. 07 tentang Prosedur Pelaksanaan Studi Rasionalisasi Jaringan Pos Hidrologi*.
- Haromain, S. A., Wahyuni, S., & Limantara, L. M. (2022). Rationalization of Rainfall Station Network in Welang Watershed Using Kagan-Rodda Method. *Journal UKARsT*, 6(2). <https://doi.org/10.30737/ukarst.v6i2>
- Hidayah, E., Halik, G., & Trilita, M. N. (2022). Rain Station Network Analysis in the Sampean Watershed: Comparison of Variations in Data Aggregation. *Geosfera Indonesia*, 7(1), 96. <https://doi.org/10.19184/geosi.v7i1.29160>
- Kagan, R. L., Gandin, L. S., & Smith, T. M. (1997). *Averaging of Meteorological Fields*. Averaging of Meteorological Fields.
- Lestari, U. D., Andajani, S., & Hidayat, D. P. A. (2018). Studi Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan di DAS Cisadane Menggunakan Metode Kagan Rodda. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12*.
- Morsy, M., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Michaelides, S., Scholten, T., Dietrich, P., & Schmidt, K. (2021). Optimization of Rain Gauge Networks for Arid Regions Based on Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/rs13214243>
- Nandiasa, J. E., Masnia, & Purwaning, M. (2021). Analysis of the Placement Pattern and the Needs of the Rain Station tith Kagan-Rodda Methode on Das Progo Yogyakarta. *Jurnal of World Conference*, 3(2), 204–211. <https://proceedings.worldconference.id/index.php/prd/article/view/324>

- Pariarta, P. G. S. (2012). Analisis Pola Penempatan dan Jumlah Stasiun Hujan Berdasarkan Persamaan Kagan pada DAS Keduang Waduk Wonogiri. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 16(1), 100–106. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jits/article/view/4237>
- Pramono, F. Y., Suripin, Suharyanto, & Sulistya, W. (2019). Rationalization of Rain Stations in the Ciliwung Cisadane River Basin. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 12(1), 2957–2963. https://www.ripublication.com/irph/ijertv12n12_120.pdf
- Renaldhy, R., Yasa, I. W., & Setiawan, E. (2021). Evaluasi Rasionalisasi Stasiun Hujan Metode Kagan Rodda dengan Mempertimbangkan Kriteria Penentuan Lokasi Pembangunan Stasiun Hujan. *Jurnal Teknik Pengairan*, 12(1), 49–60. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2021.012.01.05>
- Wang, K., Gong, Y., Peng, Y., Hu, C., & Chen, N. (2020). An Improved Fusion Crossover Genetic Algorithm for a Time-Weighted Maximal Covering Location Problem for Sensor Siting Under Satellite-Borne Monitoring. *Computers and Geosciences*, 136(March). <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2020.104406>
- Widyawati, E., Nagu, N., Rizal, M., Zulkarnain, K. M., & Syafrel, O. (2021). Rationalization of Rainfall Station in Ternate Island. *International Conference on Science and Technology (ICST 2021)*, 328, 10016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132810016>