

JARINGAN STASIUN HUJAN DITINJAU DARI TOPOGRAFI PADA DAS WIDAS KABUPATEN NGANJUK - JAWA TIMUR

Eri Prawati

Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Metro, Lampung.
Email : eri.prawati@yahoo.co.id

ABSTRAK

Informasi keadaan hujan pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat diperoleh dengan memasang alat-alat penakar hujan yang membentuk suatu jaringan pengamatan hujan pada DAS. Hal ini berkaitan dengan berapa besar sebaran dan kerapatan stasiun hujan dalam DAS, dapat memberikan data yang mewakili DAS yang bersangkutan. Serta berapa besar sebaran dan kerapatannya berpengaruh terhadap tingkat kesalahan nilai rerata datanya. 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. Dan apakah penempatan stasiun hujan memperhatikan dari segi topografis. Dalam penelitian ini menganalisis kerapatan jaringan stasiun hujan menggunakan metode Kagan-Rodda pada DAS Widas Kabupaten Nganjuk Jawa-Timur. DAS Widas memiliki luas kurang lebih 1502 km² dan memiliki 12 stasiun hujan yang tersebar di dalam DAS. Pada DAS Widas belum pernah dikaji pola penyebaran dan kerapatan hujan ditinjau dari topografinya.

Kata kunci : Jaringan, Penakar hujan, Topografi dan Kagan-Rodda

PENDAHULUAN

Informasi keadaan hujan pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat diperoleh dengan memasang alat-alat penakar hujan yang membentuk suatu jaringan pengamatan hujan pada DAS yang bersangkutan. Jaringan tersebut diharapkan dapat memberikan data yang menggambarkan keadaan hujan di DAS tersebut. Hal ini berkaitan dengan berapa besar sebaran dan kerapatan stasiun hujan dalam suatu DAS, dapat memberikan data yang mewakili DAS yang bersangkutan, serta berapa besar sebaran dan kerapatannya berpengaruh terhadap tingkat kesalahan nilai rerata datanya.

Permasalahan jumlah dan sebaran stasiun hujan dalam DAS di Indonesia sampai saat ini masih kurang mendapat perhatian. Hal ini terbukti masih belum adanya petunjuk baku tentang metode yang tepat tentang pola penempatan dan penyebaran stasiun penakar hujan.

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.

TINJAUAN PUSTAKA

Penetapan jaringan stasiun hujan tidak hanya terbatas pada penentuan jumlah stasiun yang dibutuhkan dalam suatu DAS, namun juga tempat dan pola penyebarannya. Petunjuk yang bersifat kualitatif diberikan oleh Rodda (1972), yaitu dengan memanfaatkan koefisien korelasi hujan (Harto, 1993:29).

Dalam pengembangan pola sebaran hujan di masing-masing negara tidak akan pernah sama. Karena kriteria yang menjadi dasar digunakan tidak sama. Sampai saat ini belum dijumpai kriteria yang jelas dan berlaku umum untuk menetapkan kerapatan jaringan pengamatan suatu daerah. Terlebih pemakaiannya di Indonesia memerlukan kecermatan karena masih banyak masalah yang belum dapat dijelaskan. Hal ini terutama sekali karena kondisi hidrologis di Indonesia sangat jauh berbeda dengan kondisi dimana teori sebelumnya dikembangkan.

WMO (1967) telah mengeluarkan petunjuk tentang kerapatan jaringan minimum untuk berbagai keadaan di dunia, akan tetapi petunjuk tersebut belum dapat digunakan sebagai ketentuan yang jelas. Menurut WMO setiap pos hujan mewakili areal seluas 600 – 900 km² untuk daerah tropis seperti Indonesia (Linsley, 1986 : 67). Ini berarti dalam radius 14 – 17 km besaran curah hujan dapat dianggap hampir sama. Kepadatan jaringan pos hujan di Indonesia tidak mengikuti kriteria tertentu, sebarannya terjadi karena berbagai pihak mempunyai kepentingan yang berbeda. Hal ini menyebabkan kepadatan jaringan pos hujan tidak merata dan akibatnya analisis curah hujan yang bergerak dalam tatanan spasial sering menemui hambatan atau kesulitan berbagai pihak mempunyai kepentingan yang berbeda.

Kagan-Rodda (1972), melakukan penelitian penetapan jaringan stasiun hujan tidak hanya terbatas pada penentuan jumlah stasiun hujan yang dibutuhkan dalam suatu DAS, namun juga tempat dan pola penyebarannya. Pada saat ini pola sebaran dan kerapatan stasiun hujan berpengaruh

besar terhadap ketelitian perkiraan hujan DAS, akan tetapi belum diperoleh kesepakatan tentang aturan penetapan stasiun hujan yang paling menguntungkan. Hal ini sangat terasa terutama daerah tropik seperti di Indonesia. Dengan perkataan lain, masalah praktis yang belum terselesaikan adalah pemilihan jumlah dan lokasi stasiun hujan dalam sebuah DAS untuk kepentingan analisis yang dapat memberikan hasil dengan ketelitian setinggi mungkin (Sri Harto, 1987).

Konsep utama kekuatan dan kelemahan pola dan penyebaran stasiun hujan yang sudah ditemukan oleh peneliti terdahulu secara ringkas disajikan pada Tabel 1.1. Dari tabel 1.1. dari kekuatan dan kelemahan pola dan penyebaran stasiun hujan maka penelitian ini menggunakan metode Kagan-Rodda merupakan metode yang relatif sederhana dalam pemakaian baik dalam pengertian data yang dibutuhkan maupun prosedur hitungannya. Kebutuhan data yang dapat disesuaikan dengan keadaan jaringan stasiun hujan yang telah ada dapat terpenuhi. Dapat memberikan petunjuk dan gambar tentang pola penyebaran hujan untuk tingkat kesalahan tertentu. Sri Harto dan Vermeulen (1987) dalam (Harto 1993:28) menyatakan bahwa bila dapat diandaikan persamaan-persamaan Kagan-Rodda berlaku di Jawa, maka kerapatan jaringan seperti yang disarankan oleh Sugawara membawa kesalahan sekitar 25% untuk hujan harian dan sekitar 5% untuk hujan bulanan.

Dalam penelitian ini akan memodifikasi metode Kagan-Rodda yang diharapkan kuantitas dan kualitas data pada pos yang dominan dapat dijaga dan kualitas peralatan dapat ditingkatkan serta melakukan relokasi dan penambahan pos-pos sesuai kebutuhan berdasarkan hasil analisa. Selain itu diharapkan agar dapat menjaga kelayakan fungsi dari pos-pos hidrologi, kualitas dan kuantitas data serta kesinambungan datanya.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Kagan (1972), untuk daerah

tropis yang hujannya bersifat setempat dengan luas penyebarannya yang sangat terbatas mempunyai variasi ruang untuk hujan dengan periode tertentu adalah sangat tidak menentu meskipun sebenarnya menunjukkan suatu hubungan sampai tingkat tertentu. Evaluasi jaringan stasiun hujan yang telah dilakukan masih perlu terus diuji keandalannya. Terutama jika digunakan didaerah tropik seperti di Indonesia (Harto,1987:22).

Untuk penggunaan metode Kagan-Rodda di Indonesia harus dilakukan dengan hati-hati karena jika digunakan data hujan harian maupun bulanan akan memberikan hasil yang diperoleh menjadi sangat besar. Juga dasar andalan yang digunakan dalam metode ini adalah sifat hujan yang homogen dan isotropi. Hal ini sangat kecil kemungkinannya terjadi di Indonesia.

Meskipun belum dilakukan pengujian secara khusus, namun cara Kagan-Rodda telah banyak digunakan untuk menetapkan jaringan stasiun hujan pada beberapa DAS di pulau jawa. Kelemahan metode Kagan-Rodda adalah

1. Dalam penentuan rumus dalam Kagan-Rodda menggunakan rumus

$$L = 1,07 \sqrt{\frac{A}{n}} \quad \text{dalam}$$
 penelitian ini dicoba dengan DAS di Indonesia maka rumus akan menjadi

$$L = f(A, n)$$
2. Pada Kagan-Rodda hanya menganggap DAS nya datar, dalam penelitian ini akan dicoba DAS dalam kondisi yang sebenarnya di lapangan.

Hujan merupakan masukan yang paling penting dalam proses hidrologi, karena besarnya hujan (*rainfall depth*) ini yang dialihragamkan menjadi aliran di sungai, baik melalui limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*interflow*, *sub surface flow*) maupun sebagai aliran air tanah (*groundwater flow*). Menurut Asdak (2002:4), Daerah aliran sungai adalah suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan

untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama. Wilayah daratan tersebut dinamakan daerah tangkapan air (DTA atau *catchment area*) yang merupakan suatu ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumber daya alam (tanah, air, dan vegetasi) dan sumber daya manusia sebagai pemanfaat sumber daya alam.

Untuk menetapkan jumlah hujan yang jatuh didalam suatu DAS (Daerah Aliran Sungai), diperlukan sejumlah stasiun hujan yang dipasang sedemikian rupa sehingga diperoleh data yang mewakili besaran hujan pada DAS yang bersangkutan. Data hujan sebagai masukan model analisis harus merupakan data yang dikumpulkan secara teratur dan teramati sehingga memberikan informasi yang cermat (Harto, 1989). Jaringan stasiun hujan sebagai satu sistem yang terorganisir untuk mengumpulkan data hujan secara optimal untuk berbagai keperluan. Dalam hal ini kepentingan yang dimaksud adalah perolehan data yang maksimal dan kerapatan jaringan yang optimum.

Jaringan stasiun penangkap hujan mempunyai fungsi yang sangat penting, yaitu untuk mengurangi variabilitas besaran kejadian atau mengurangi ketidakpastian dan meningkatkan pemahaman terhadap besaran yang terukur maupun terinterpolasi (Made, 1987 dalam Harto, 1993 :22). Setiap stasiun hujan memiliki luasan pengaruh (*sphere of influence*) yang merupakan daerah dimana kejadian-kejadian didalamnya menunjukkan keterikatan atau koreksi dengan salah satu kejadian yang diamati stasiun lainnya didalam daerah tersebut.

Jaringan stasiun penakar hujan (*rainfall network*) harus mencakup kerapatan jaringan serta kemungkinan pertukaran datanya. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan penetapan jaringan stasiun primer dan sekunder.

Jaringan primer dimaksudkan untuk dipasang dalam jangka waktu yang lama dan diamati secara teratur ditempat yang telah dipilih secara seksama. Sedangkan

jaringan sekunder dimaksudkan untuk lebih mendapatkan variasi ruang hujannya. Jaringan ini dapat ditentukan pada beberapa tempat yang dipilih, selanjutnya apabila telah ditetapkan hubungannya dengan jaringan primer, stasiun ini dapat dipindah ke lokasi lain.

Dalam merencanakan jaringan stasiun penakar hujan, terdapat dua hal penting yang perlu dipertimbangkan yaitu (Harto, 1993 : 23) :

1. Berapa jumlah stasiun yang diperlukan
2. Dimana stasiun-stasiun tersebut akan dipasang

Hal ini sangat diperlukan, karena dalam jaringan stasiun penakar hujan perbedaan jumlah dan pola penyebaran stasiun yang digunakan dalam memperkirakan besar hujan yang terjadi dalam suatu DAS akan memberikan perbedaan dalam besaran hujan yang didapatkan dan mempengaruhi ketelitian hitungan hujan rata-rata DAS.

Selain hal-hal tersebut diatas, maka juga harus mempertimbangkan beberapa faktor berikut ini (Sri Harto, 1993 : 23) :

1. Rencana pengembangan sumber daya air
2. Tujuan pemakaiannya di kemudian hari, baik untuk tujuan operasional maupun perencanaan.
3. Kebijakan pengembangan yang akan datang
4. Penelitian-penelitian mendatang yang akan dilaksanakan.

Dalam kenyataan, semua faktor yang mempengaruhi rencana pengembangan jaringan tersebut selalu berubah sebagai fungsi waktu, baik keterikatan, variabilitas data, nilai sosio-ekonomi dan ketelitian yang dikehendaki oleh pemakai data. Oleh sebab itu, prosedur pengembangan jaringan dapat dianggap merupakan pengembangan yang berkesinambungan.

Apabila dalam DAS yang ditinjau belum tersedia jaringan stasiun hujan sama sekali, maka sampai saat ini belum tersedia cara sederhana yang dapat digunakan untuk menetapkan jaringan tersebut. Untuk itu

disarankan menempuh dua cara, yaitu (Harto, 1993:28) :

1. Cara pertama dengan menetapkan jaringan awal (*Pilot Network*) yang kemudian dievaluasi setelah jangka waktu tertentu untuk menetapkan jaringan yang sebenarnya, atau yang dibutuhkan.
2. Cara kedua yang dapat ditempuh adalah dengan memenuhi DAS yang bersangkutan dengan stasiun hujan, kemudian setelah berjalan beberapa waktu dievaluasi untuk dapat mengurangi stasiun-stasiun yang dianggap kurang bermanfaat.

Tetapi cara kedua diatas tidak dapat dianjurkan untuk digunakan, karena biaya yang dibutuhkan sangat besar. Hal ini perlu diperhatikan, karena biaya yang diperlukan bukan hanya biaya untuk membeli alat saja tetapi juga biaya yang harus disediakan selama alat tersebut dipergunakan. Oleh karena itu perencanaan jaringan perlu dilakukan dengan upaya maksimal agar diperoleh keseimbangan antara data atau informasi yang diperoleh dengan biaya pengadaan tanpa mengabaikan faktor-faktor yang berperan sangat penting seperti diatas.

Data hujan yang diperoleh dari stasiun penakar hujan merupakan data hujan lokal yang hanya mewakili pengukuran hujan untuk luas daerah tertentu. Sehingga untuk menentukan besarnya curah hujan suatu DAS diperlukan beberapa stasiun penakar hujan yang tersebar didalam DAS yang bersangkutan dengan kerapatan dan pola penyebaran yang memadai.

Dalam pemilihan jumlah lokasi stasiun penakar hujan pada suatu DAS untuk kepentingan analisis hidrologi yang dapat memberikan hasil dengan ketelitian semaksimal mungkin sesuai dengan yang dikehendaki, terdapat dua pendapat yg berbeda, yaitu (Harto, 1986:12) :

1. Penempatan stasiun hujan yang terbagi merata dengan pola tertentu akan menghasilkan perkiraan hujan yang

- lebih baik dibandingkan dengan penempatan stasiun hujan secara rambang.
2. Stasiun hujan dapat ditempatkan sedemikian rupa, sehingga dibagian daerah dengan variasi hujan tinggi mempunyai kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lain yang variasi hujannya rendah.

Metode Kagan-Rodda

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

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Kagan (1972), untuk daerah tropis yang hujannya bersifat setempat dengan luas penyebarannya yang sangat terbatas mempunyai variasi ruang untuk hujan dengan periode tertentu adalah sangat tidak menentu meskipun sebenarnya menunjukkan suatu hubungan sampai tingkat tertentu (Harto,1986:22).

Meskipun belum dilakukan pengujian secara khusus, namun cara Kagan-Rodda telah banyak digunakan untuk menetapkan jaringan stasiun hujan pada beberapa DAS di pulau jawa. Pemilihan cara ini didasarkan pada sifat Kagan-Rodda sebagai berikut :

1. Sederhana dalam prosedur dan perhitungan
2. Kebutuhan data yang dapat disediakan dengan keadaan jaringan stasiun hujan yang telah ada dapat dipenuhi

3. Dapat memberikan petunjuk dan gambaran tentang pola penyebaran stasiun hujan, untuk tingkat kesalahan tertentu.

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

$$r(d) = r(0).e^{(-\frac{d}{d_0})}$$

$$Z_1 = C_v \cdot \sqrt{\frac{1 - r(0) + \left(\frac{0,23 \sqrt{A}}{d(0) \sqrt{n}}\right)}{n}}$$

$$Z_2 = C_v \cdot \frac{1}{3} \left(1 - r(0) + \frac{0,52 \cdot r(0) \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}}{d(0)}\right)$$

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

Dengan :

- $r_{(od)}$ = koefisien korelasi untuk jarak stasiun sejauh d
- $r_{(o)}$ = koefisien korelasi untuk jarak stasiun yang sangat dekat
- C_v = 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
- Z_1 = kesalahan perataan (%)
- Z_2 = kesalahan interpolasi (%)
- L = jarak antar stasiun (km)

Hubungan seperti yang disajikan dalam persamaan $L = 1,07 \sqrt{\frac{A}{n}}$ dapat diperoleh dengan menggambarkan hubungan antara jarak stasiun hujan dengan

koefisien korelasi hujan yang bersangkutan. Hal tersebut dilakukan dengan hati-hati, dan dipilih hanya hari-hari (atau bulan) yang benar-benar terjadi hujan, dengan meninggalkan hari-hari (atau bulan) tanpa hujan. Meskipun hal ini akan memperkecil nilai koefisien korelasi (Stol, 1981), akan tetapi dipandang lebih realistis dibandingkan dengan penyertaan hari (bulan) tanpa hujan. Perlu pula diperhatikan kemungkinan adanya pola variasi hujan tertentu sebagai akibat pengambilan jarak antar-stasiun dengan orientasi arah tertentu.

Dalam persamaan $Z2 =$

$$Cv \cdot \frac{1}{3} (1 - r(0)) + \frac{0,52 \cdot r(0) \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}}{d(0)}$$

dan $L = 1,07 \sqrt{\frac{A}{n}}$ terdapat hubungan antara jumlah stasiun hujan dengan besar kesalahan yang terjadi. Hal ini dapat ditafsirkan dengan dua pengertian yaitu :

1. Ketelitian hitungan (besar kesalahan) dapat diketahui apabila jumlah stasiun hujan diketahui
2. Jumlah stasiun hujan yang diperlukan dalam analisis dapat ditetapkan apabila ketelitian yang dikehendaki dapat ditetapkan dari analisis lainnya.

Selanjutnya apabila jumlah stasiun hujan telah diketahui, maka stasiun-stasiun tersebut ditempatkan dengan pola penempatan tertentu, yang masing-masing mempunyai jarak sama yang merupakan simpul-simpul jaringan segitiga sama sisi.

Analisa Jaringan Kagan-Rodda Koefisien Variasi

Koefisien variasi merupakan variasi relatif dari suatu variabel terhadap nilai rata-rata aljabarnya, yang dapat dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut (Garg, 1979:53) :

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

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_1}{n}$$

2. Hitung standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_1 - \bar{X})^2}{n-1}}$$

3. Hitung koefisien variasi dengan rumus sebagai berikut :

$$Cv = \left[\frac{S}{\bar{X}} \right]$$

Dengan :

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 didaerah 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 :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_1 Y_1 - \sum_{i=1}^n X_1 \sum_{i=1}^n Y_1}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_1^2 - (\sum_{i=1}^n X_1)^2] \cdot [n \sum_{i=1}^n Y_1^2 - (\sum_{i=1}^n Y_1)^2]}}$$

dimana :

r = koefisien korelasi

n = jumlah data

X₁ = data hujan pada stasiun X

Y₁ = 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 positif dan sangat kuat. Bila $r = -1$ atau mendekati -1, maka korelasi antara kedua variabel dikatakan kuat dan negatif.

Tanda positif (+) dan negatif (-) 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 lain (Y). Bila $r (-)$, maka kenaikan nilai salah satu variabel (X) terjadi dengan penurunan nilai variabel yang lain (Y) dan sebaliknya.

Untuk menunjukkan sejauh mana validitas nilai koefisien korelasi dapat dilihat pada tabel berikut ini :

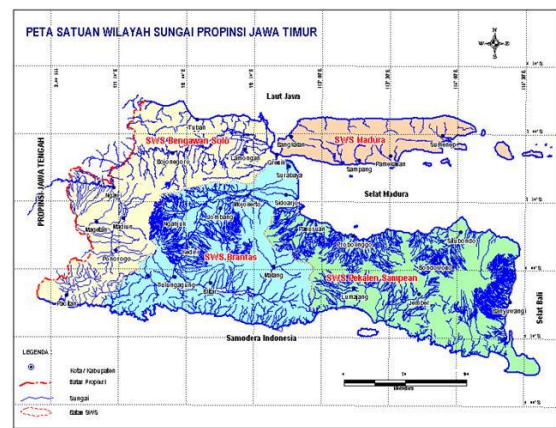
Tabel 1. Tinggi rendahnya validitas derajat asosiasi

Koefisien Korelasi (r)	Validitas
0,00 - 0,20	Hampir tidak ada
0,21 - 0,40	Rendah
0,41 - 0,60	Sedang
0,61 - 0,80	Tinggi
0,81 - 1,00	Sempurna

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 (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 ($r > 0,6$).

METODOLOGI

Sesuai dengan tujuan penelitian yaitu untuk mendapatkan metode baru pola penyebaran dan kerapatan stasiun hujan yang sesuai dengan kondisi di Provinsi Jawa-Timur. Maka daerah penelitian dipilih berdasarkan pertimbangan daerah dengan variasi topografi pegunungan dan dataran guna membedakan jumlah stasiun penakar hujan yang optimum untuk masing-masing daerah tersebut.



Gambar 1. Peta Batuan Wilayah Sungai Provinsi Jawa Timur

Data – data yang dibutuhkan

Dalam penelitian ini ditekankan pada pola penyebaran stasiun hujan, maka data yang diperlukan dalam menganalisis penelitian ini adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran, pencatatan, penelitian. Data yang digunakan meliputi data :

1. Data Topografi skala 1 : 25.0000 dari Bakosurtanal
2. Peta Daerah Aliran Sungai dari Balai Besar Wilayah Sungai Jawa Timur.
3. Data Stasiun Hujan meliputi data lokasi administratif stasiun hujan dan koordinat stasiun hujan. Adapun data didapatkan dari BMKG Karangploso Malang
4. Data curah hujan harian pada DAS selama 20 tahun dari tahun 1992 sampai dengan tahun 2011 yang di dapatkan dari Dinas Pengairan Provinsi Jawa Timur.

5. Data AWLR yang didapatkan dari Dinas Pengairan Provinsi Jawa Timur

Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah Analisis Data Hujan Kondisi Eksisting

Dalam penelitian ini langkah-langkah penyelesaian dalam kondisi eksisting adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan dan persiapan data curah hujan, data stasiun hujan dan peta. Data hujan meliputi : data hujan harian, data hujan bulanan dan data hujan tahunan. Data hujan harian di ambil dari tahun 1992 – 2011. Data stasiun hujan meliputi : luas daerah pengaruh, jarak antar stasiun hujan.
2. Menghitung curah hujan rata-rata harian maksimum sehingga diperoleh hujan maksimum bulanan dan tahunan. Hasil tersebut digunakan untuk perhitungan selanjutnya.
3. Menghitung hujan rata-rata daerah menggunakan metode Poligon Thiessen
 - a. Stasiun penakar hujan yang berpengaruh letaknya digambar pada peta DAS yang ditinjau
 - b. Tiap-tiap stasiun penakar hujan dihubungkan dengan menggunakan garis lurus
 - c. Menggambar garis tegak lurus pada garis penghubung antar stasiun sehingga membentuk polygon
 - d. Dicari masing-masing luas polygon
 - e. Berdasarkan data curah hujan harian maksimum yang didapat dari stasiun penakar hujan, dapat dihitung curah hujan rata-rata untuk seluruh luas daerah pengaliran.
4. Menganalisa distribusi frekuensi dengan metode Log Pearson Tipe III, kemudian menguji kesesuaian distribusi dengan Uji Smirnov Kolmogorof dan Uji Chi Square.
 - a. Data rerata hujan maksimum tahunan sebanyak n buah diubah dalam bentuk logaritma (Log X_i).

- b. Dihitung harga logaritma rata-rata (Log X)
 - c. Dihitung harga simpangan baku (Sd)
 - d. Dihitung koefisien kemencengan/*Skewness* (Cs).
 - e. Dihitung logaritma curah-hujan rancangan dengan kala ulang tertentu (Log X_i)
 - f. Curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu didapat dengan menghitung antilog dari log X_i
5. Menguji kesesuaian distribusi data (*testing of goodness of fit*) dilakukan dengan dua cara yaitu uji *Smirnov-Kolmogorov* dan uji *Chi-Square*.

Langkah-langkah Analisis Data Hujan dengan Metode Kagan Rodda

Langkah-langkah perhitungan yang dilakukan dalam perencanaan jaringan Kagan-Rodda adalah sebagai berikut (Harto,1993:32) :

1. Dari hasil perhitungan curah hujan rata-rata maksimum daerah, dapat dihitung nilai koefisien variasi (Cv) untuk hujan harian.
2. Koefisien korelasi hujan harian dengan menggunakan persamaan :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_1 Y_1 - \sum_{i=1}^n X_1 \cdot \sum_{i=1}^n Y_1}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_1^2 - (\sum_{i=1}^n X_1)^2] \cdot [n \sum_{i=1}^n Y_1^2 - (\sum_{i=1}^n Y_1)^2]}}$$

3. Dari hasil diatas dapat digambarkan hubungan antar stasiun dengan koefisien korelasi dalam sebuah grafik lengkung eksponensial. Dari persamaan regresi eksponensial yang telah diperoleh dan berdasar gambar grafik hubungan jarak stasiun dengan koefisien korelasi dan grafik hubungan antara jumlah stasiun hujan dengan Z_1 dan Z_2 . Dapat diketahui nilai koefisien variasi (Cv) untuk hujan harian dan nilai korelasinya. Hal ini sesuai dengan andaian yang digunakan yaitu sifat hujan yang merata dengan variasi yang rendah. Sehingga perencanaan jaringan Kagan-Rodda pada jaringan ini berdasarkan pada hujan harian.

4. Dengan persamaan

$$Z_1 = C_v \cdot \sqrt{\frac{1 - r(0) + \frac{0,23 \sqrt{A}}{d(0) \sqrt{n}}}{n}}$$

dapat ditentukan jumlah stasiun hujan yang dibutuhkan untuk tingkat kesalahan perataan Z_1 , dan dengan persamaan

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

dapat dihitung kesalahan interpolasi Z_2 . Hubungan antara jumlah stasiun penakar hujan dengan kesalahan perataan dan kesalahan interpolasi dapat dilihat dari grafik hubungannya.

5. Dengan persamaan $L = 1,07 \sqrt{\frac{A}{n}}$

dapat dihitung panjang sisi jaring segitiga untuk masing-masing jumlah stasiun hujan yang direncanakan.

6. Dengan panjang sisi jaring sama dengan L , maka dapat digambarkan jaringan Kagan-Rodda, selanjutnya gambar jaringan diplotkan diatas peta DAS yang ditinjau dan dilakukan penggeseran sedemikian rupa sehingga jumlah simpul segitiga dalam DAS sama dengan jumlah stasiun yang dihitung, dan simpul-simpul tersebut merupakan lokasi stasiun.
7. Menghitung hujan rata-rata harian maksimum dengan metode *Poligon Thiessen* dengan disesuaikan pada kondisi normal standar WMO.
8. Analisa distribusi frekwensi curah hujan rancangan dengan menggunakan distribusi *Log Pearson Type III*. Kemudian di uji kesesuaian distribusi dengan menggunakan Uji *Smirnov-Kolmogorov* dan Uji *Chi-Square*
9. Kesalahan Relatif dibandingkan antara curah hujan rancangan dan curah hujan rerata harian maksimum eksisting dengan hasil

Kagan-Rodda dengan kesalahan relatif maksimal 5%.

Langkah-langkah Analisis Data Hujan dengan Metode Prawati-UB

- Parameter-parameter yang berpengaruh terhadap kerapatan stasiun hujan (L) adalah luas DAS (A) dan jumlah stasiun hujan (n). Akan dicari persamaan $L = f(A, n)$ dari semua DAS yang diteliti sehingga akan didapatkan persamaan baru sesuai daerah penelitian. Untuk mendapatkan persamaan ini akan digunakan pendekatan dengan melakukan analisa regresi sehingga akan didapatkan apakah persamaan itu bersifat linier, berpangkat, eksponensial, Pemilihan model berdasarkan kriteria sebagai berikut (Soewarno, 1995) :
 - Antara variabel tetap dan variabel bebas mempunyai hubungan korelasi yang cukup kuat, dimana koefisien korelasi ($r = 0,60 - 1,00$) dan koefisien determinasi (R^2) terbesar.
 - Nilai perkiraan kesalahan (SEY) terkecil.
 - Terdapat pengaruh nyata antara variabel tetap dengan variabel bebas dalam regresi menggunakan uji F.
- Pada penelitian-penelitian sebelumnya mengamsumsikan permukaan ketinggian DAS adalah rata. Sehingga ini yang mendasari peneliti untuk melakukan penelitian dengan menganggap permukaan ketinggian DAS tidak rata atau sesuai dengan ketinggian rata-rata suatu DAS dari hilir sampai hulu. Sehingga ada faktor kemiringan DAS didalam menentukan kerapatan stasiun hujan (L). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.1.

HASIL

Penelitian ini menggunakan data hujan di sebagian wilayah Provinsi Jawa-timur. Data hujan yang digunakan merupakan hasil pencatatan selama kurun waktu 20 tahun, dari tahun 1992 sampai

dengan tahun 2011. Mulai dari data curah hujan harian maksimum, curah hujan

bulanan maksimum dan curah hujan tahunan.

Tabel 2. Distribusi stasiun hujan eksisting pada DAS Widas

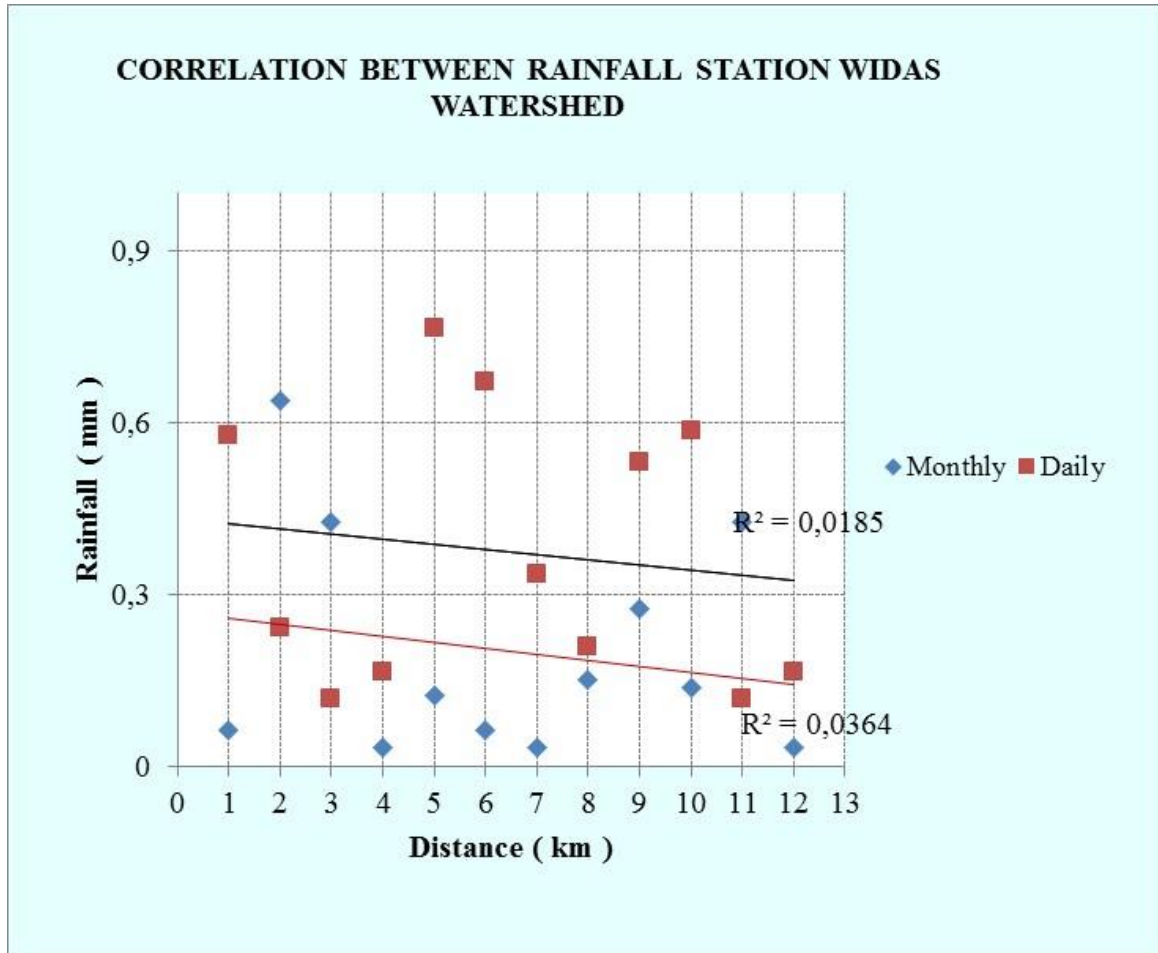
No	Name of Station	Area (km ²)	Polygon Thiessen (km ²)
1	Banaran	135,298	9,0080
2	Glatik	162,138	10,795
3	Kedungpingit	75,443	5,023
4	Kedungmaron	63,044	5,023
5	Lengkong	135,185	9,000
6	Milir	166,389	11,078
7	Nganjuk	69,194	4,607
8	Ngrambek	117,932	7,852
9	Prambon	177,685	11,830
10	Sawahan	263,386	17,536
11	Sumbersono	59,990	3,994
12	Tempuran	76,324	5,081

Tabel 2. Jarak antara stasiun hujan pada DAS Widas (km)

	Banaran	Glatik	Kedungpingit	Kedungmaron	Lengkong	Milir	Nganjuk	Ngrambek	Prambon	Sawahan	Sumbersono	Tempuran
Banaran	0	16,965	16,381	15,752	20,028	7,424	8,613	12,811	11,939	19,959	22,722	22,491
Glatik	16,965	0	5,073	4,393	26,672	13,798	9,708	14,072	28,563	20,687	28,140	17,640
Kedungpingit	16,381	5,073	0	4,832	19,213	16,820	8,769	7,341	26,880	22,890	19,532	9,017
Kedungmaron	15,752	4,393	4,832	0	22,680	14,281	7,785	10,290	27,092	24,885	24,150	13,442
Lengkong	20,028	26,672	19,213	22,680	0	25,515	19,758	12,936	21,934	38,220	3,774	15,750
Milir	7,424	13,798	16,820	14,281	25,515	0	8,886	15,542	17,968	13,096	28,560	24,782
Nganjuk	8,613	9,708	8,769	7,785	19,758	8,886	0	8,770	19,530	20,372	21,525	15,960
Ngrambek	12,811	14,072	7,341	10,290	12,936	15,542	8,770	0	21,260	27,825	14,280	10,500
Prambon	11,939	28,563	26,880	27,092	21,934	17,968	19,530	21,260	0	27,520	26,880	30,660
Sawahan	19,959	20,687	22,890	24,885	38,220	13,096	20,372	27,825	27,520	0	41,160	35,700
Sumbersono	22,722	28,140	19,532	24,150	3,774	28,560	21,525	14,280	26,880	41,160	0	15,543
Tempuran	22,491	17,640	9,017	13,442	15,750	24,782	15,960	10,500	30,660	35,700	15,543	0
	14,590	15,476	13,062	14,132	18,873	15,556	12,473	12,969	21,686	24,360	20,522	17,624

Tabel 3. Jarak rata-rata antara stasiun hujan dan koefisien korelasi masing-masing stasiun

	Jarak rata-rata antara stasiun yang satu dengan yang lain		r _(day)	r _(month)
	Jarak rata-rata	Koefisien korelasi		
Banaran	15,917	0,577	0,063	
Glatik	16,883	0,241	0,639	
Kedungpingit	13,062	0,118	0,427	
Kedungmaron	14,132	0,164	0,032	
Lengkong	18,873	0,766	0,122	
Milir	15,556	0,671	0,063	
Nganjuk	12,473	0,336	0,032	
Ngrambek	12,969	0,207	0,152	
Prambon	21,686	0,531	0,274	
Sawahan	26,574	0,585	0,138	
Sumbersono	20,522	0,118	0,427	
Tempuran	17,624	0,164	0,032	
	13,026	0,610	0,686	



Gambar 2. Grafik korelasi antara stasiun hujan pada DAS Widas

Grafik korelasi antara stasiun hujan pada DAS Widas :

$$d_{(o)} = 17,189 \text{ km}$$

$$r_{(o)} \text{ bulanan} = 0,3732$$

$$r_{(o)} \text{ harian} = 0,200$$

Tabel 5 : The number station, flattening error, Interpolated error, and Distance between post daily rainfall on Widas Watershed

Area	1502				N	: Number station		
$r_{(0)}$	0,373238369				Z_1	: Flattening error		
ρ_0	17,189				Z_3	: Interpolated error		
Cv	0,407				L	: Distance between Post		
N	Z_1	Z_3	L		N	Z_1	Z_3	L
1	43,509	32,689	41,469		51	4,761	21,133	5,807
2	28,653	29,270	29,323		52	4,713	21,110	5,751
3	22,589	27,621	23,942		53	4,666	21,087	5,696
4	19,134	26,589	20,734		54	4,620	21,065	5,643
5	16,848	25,861	18,545		55	4,576	21,044	5,592
6	15,198	25,310	16,929		56	4,533	21,023	5,541
7	13,938	24,873	15,674		57	4,491	21,003	5,493
8	12,937	24,516	14,661		58	4,450	20,983	5,445
9	12,118	24,216	13,823		59	4,410	20,964	5,399
10	11,432	23,959	13,114		60	4,372	20,945	5,354
11	10,848	23,736	12,503		61	4,334	20,927	5,310
12	10,342	23,540	11,971		62	4,297	20,909	5,267
13	9,898	23,365	11,501		63	4,261	20,891	5,225
14	9,506	23,208	11,083		64	4,226	20,874	5,184
15	9,155	23,067	10,707		65	4,192	20,857	5,144
16	8,840	22,938	10,367		66	4,159	20,841	5,104
17	8,554	22,820	10,058		67	4,126	20,825	5,066
18	8,293	22,711	9,774		68	4,094	20,809	5,029
19	8,054	22,611	9,514		69	4,063	20,794	4,992
20	7,835	22,518	9,273		70	4,033	20,779	4,956
21	7,631	22,431	9,049		71	4,003	20,764	4,921
22	7,443	22,350	8,841		72	3,974	20,750	4,887
23	7,267	22,274	8,647		73	3,945	20,736	4,854
24	7,103	22,203	8,465		74	3,917	20,722	4,821
25	6,949	22,135	8,294		75	3,890	20,708	4,788
26	6,805	22,072	8,133		76	3,863	20,695	4,757
27	6,669	22,012	7,981		77	3,837	20,682	4,726
28	6,541	21,955	7,837		78	3,811	20,669	4,695
29	6,420	21,900	7,701		79	3,786	20,657	4,666
30	6,305	21,849	7,571		80	3,761	20,644	4,636
31	6,195	21,800	7,448		81	3,737	20,632	4,608
32	6,092	21,753	7,331		82	3,713	20,620	4,579
33	5,993	21,708	7,219		83	3,690	20,608	4,552
34	5,899	21,665	7,112		84	3,667	20,597	4,525
35	5,808	21,623	7,009		85	3,644	20,586	4,498
36	5,722	21,584	6,911		86	3,622	20,574	4,472
37	5,640	21,546	6,817		87	3,601	20,564	4,446
38	5,561	21,509	6,727		88	3,579	20,553	4,421
39	5,485	21,474	6,640		89	3,558	20,542	4,396
40	5,412	21,440	6,557		90	3,538	20,532	4,371
41	5,342	21,407	6,476		91	3,517	20,522	4,347
42	5,274	21,376	6,399		92	3,497	20,512	4,323
43	5,209	21,345	6,324		93	3,478	20,502	4,300
44	5,146	21,316	6,252		94	3,459	20,492	4,277
45	5,085	21,287	6,182		95	3,440	20,482	4,255
46	5,027	21,259	6,114		96	3,421	20,473	4,232
47	4,970	21,232	6,049		97	3,403	20,463	4,210
48	4,915	21,206	5,985		98	3,384	20,454	4,189
49	4,862	21,181	5,924		99	3,367	20,445	4,168
50	4,811	21,157	5,865		100	3,349	20,436	4,147

Tabel 6. Hasil curah hujan menggunakan Metode Kagan-Rodda

No	Tr (year)	R _{average} (Log)	Standar Deviasi (log)	Skewness (Cs)	Probability (%)	K	Design Rainfall	
							Log	mm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	1	1,780	0,421	-2,530	99	-3,858	0,155	1,428
2	2	1,780	0,421	-2,530	50	-0,139	1,721	52,634
3	5	1,780	0,421	-2,530	20	0,706	2,077	119,510
4	10	1,780	0,421	-2,530	10	0,764	2,102	126,336
5	20	1,780	0,421	-2,530	5	0,788	2,112	129,361
6	25	1,780	0,421	-2,530	4	0,784	2,110	128,871
7	50	1,780	0,421	-2,530	2	0,789	2,112	129,459
8	100	1,780	0,421	-2,530	1	0,790	2,113	129,585
9	200	1,780	0,421	-2,530	0,5	0,791	2,113	129,673
10	1000	1,780	0,421	-2,530	0,1	0,793	2,114	129,924

KESIMPULAN

Analisis stasiun hujan menggunakan metode Kagan Rodda di dapatkan 8 stasiun dari 12 stasiun hujan yang tersedia. Analisa yang didapatkan menggunakan 5% rata-rata kesalahan. Panjang metode Kagan-Rodda adalah $L = 9,692$ km dan kesalahan = 9,225. Kesalahan interpolasi = 14,727

DAFTAR PUSTAKA

Chow, V.T., D.R, Maidment, L.W., 1988, *Applied Hydrology*. Mac. Graw-Hill, New York

Dawdy D.R., Moss M.E., dan Matalas N.C., 1972., "Aplication of System Analysis to Network Design "Cassbook on Hydrological Network Design Practice, WMO-No 324, Geneva.

Rodda, J.C., Richard A., Downing, Frank, M. Law., 1976 "System Hdrology". London-Boston : Newness-Butterworths.

Rodda J.C., 1972, "Planning The Apatial Distribution of Hydrometeorological Stations to Meet an Error Criterion", *Cassbook on Hydrological Network*

Design Practise, WMO-No 324, Geneva.

Solomon, 1972., "Joint Mapping" *Cassbook on Hydrological Network Design Practise, WMO-No 324, Geneva.*

World Meteorological Organization, 1981., "Guide to Hydrological Practices", 4 th edition, WMO no 168, Genewa Switzerland.