BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Hujan merupakan salah satu bentuk presipitasi dimana bentuk presipitasi ini merupakan komponen yang sangat penting dalam proses hidrologi. Presipitasi merupakan suatu proses kondensasi dari uap air menjadi zat cair (hujan dan embun) maupun padat (salju dan es) yang jatuh dari atmosfer ke bumi dalam rangkaian siklus hidrologi.

Untuk menetapkan jumlah hujan yang jatuh di dalam suatu DAS, 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, p.23).

Jaringan stasiun hujan merupakan sistem yang terorganisir untuk mengumpulkan data hujan secara optimal. Dimana perolehan data yang diharapkan adalah data yang maksimal dan kerapatan jaringan yang optimum.

Untuk mencapai kepentingan tersebut ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu (Harto,1993, p.20):

1. Kerapatan optimum mengandung arti jumlahh yang mencukupi dan penyebaran yang memadai di seluruh DAS.
2. Kerapatann hendaknya sedemikian rupa sehingga tidak terlalu tinggi, karena akan mengakibatkann biaya pemasangan, pengoperasian dan pemeliharaan yang semakin tinggi.
3. Penyebarann hendaknya dilakukan sedemikian rupa sehingga variabilitas ruang DAS dapat teramati dengan baik.

Dalam rangka mengantisipasi kesalahan dalam memantau data hidrologi yang mengakibatkan berkurangnya efektivitas dan efisiensi hasil perencanaan, penelitian, pengelolaan sumber daya air. Maka, WMO (*World Meteorological Organization*) memberikan pedoman kerapatan minimum di beberapa daerah seperti berikut ini (Linsley, 1989, p.67):

1. Untuk daerah datar pada zona beriklim sedang, mediteranian, dan tropis, 100 sampai 900 km^2 (230 sampai 350 mil^2) untuk setiap stasiun

2. Untuk daerah pegunungan pada zona beriklim sedang, mediteranian, dan tropis, sebesar 100 sampai 250 km^2 (40 sampai 100 mil^2) untuk setiap stasiun
3. Untuk bdaerah pulau-pulau dengan pegunungan kecil dengan hujan yang tak beraturan, 25 km^2 (10 mil^2) untuk setiap stasiun hujan
4. Untukk zona-zona kering dan kutub, 1500 sampai 10000 km^2 (600 sampai 4500 mil^2) untuk setiap stasiun

Dengan demikian, berdasarkan pertimbangan di atas akan dilakukan analisa rasionalisasi untuk jumlah dan penyebaran stasiun hujan pada DAS Sarokah. Analisa rasionalisasi ini akan mempertimbangkan faktor elevasi pada daerah studi yang dimaksud.

2.2 Analisis Data Hujan

2.2.1 Pengisian Data Hilang

Pada analisa hujan daerah, dibutuhkan data yang lengkap dari masing-masing stasiun yang ada. Seringkali pada suatu DAS terdapat data yang tidak lengkap hilang. Jika terjadi hal seperti ini maka data hujan yang hilang harus dilengkapi terlebih dahulu. Untuk mempermudah kesulitan analisis tersebut, kemudian dicoba untuk dapat memperkirakan besaran data yang hilang dengan membandingkannya dengan menggunakan data dari stasiun lain yang ada disekitarnya. Untuk melengkapi data hujan yang hilang bisa dilakukan jika (Limantara, 2008, p.71):

1. Disekitarnya ada pos penakar (minimal 2) yang lengkap datanya.
2. Pos penakar yang datanya hilang diketahui hujan rata-rata tahunannya.

Secara umum, pengisian data hujan yang hilang dapat menggunakan 2 cara, yaitu:

a. Perbandingan Normal (Normal Ratio)

Data yang hilang diperkirakan dengan rumus berikut:

$$\frac{Px}{Nx} = \frac{1}{n}\left(\frac{P1}{N1} + \frac{P2}{N2} + \frac{P3}{N3} + \cdots + \frac{Pn}{Nn}\right) \qquad (2\text{-}1)$$

dengan:

P_x = hujann yang hilang di stasiun x

P_1,P_2,P_3,P_n = data hujann di stasiun sekitarnya pada periode yang samaa

N_x = hujan tahunan di stasiun x

N_1,N_2,N_3,N_n = hujan tahunan di stasiun sekitar x

b. Reciprocal method

Cara ini memperhitungkan jarak antar stasiun (Li), yaitu:

$$Px = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{P_i}{{L_i}^2}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{{L_i}^2}} \qquad (2\text{-}2)$$

Dengan:

P_x = hujan yang hilang di stasiun x,

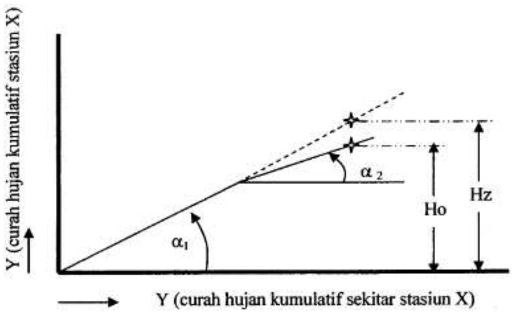
P_i = data hujan di stasiun sekitarnya pada periode yang sama,

L_i = jarak antara stasiun hujan i dengan stasiun hujan x,

2.2.2 Uji Konsistensi Data

Uji yang akan digunakan dalam penulisan ini adalah uji lengkung massa ganda yang bertujuan untuk mengetahui di mana letak ketidak konsistennya suatu data yang di tunjukkan oleh penyimpangan garisnya dari garis lurus. Jika terjadi penyimpangan, maka data hujan dari stasiun yang diuji harus dikoreksi sesuai dengan perbedaan kemiringan garisnya.

Jika data hujan tidak konsisten karena perubahan atau gangguan lingkungan di sekitar tempat penakar hujan dipasang, misalnya penakar hujan terlindung oleh pohon, terletak berdekatan dengan gedung tinggi, perubahan cara penakaran dan pencatatan, pemindahan letak penakar dan sebagainya, memungkinkan terjadi penyimpangan terhadap *trend* semula. Hal tersebut dapat diselidiki dengan menggunakan lengkung massa ganda seperti pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 Analisis Kurva Massa Ganda
Sumber: Harto, 1993:46

$Hz = Fk * H_o$ .... (2-3)

$Fk = Tan\ \alpha\ /\ Tan\ \alpha_o$ .... (2-4)

dengan:

Hz = data huujan yang perlu diperbaiki

H_o = dataa hujan hasil pengamatan

Fk = faktor koreksi

$Tan\ \alpha$ = kemiringan garis sebelum ada perubahan

$Tan\ \alpha_o$ = kemiringan garis sesudah ada perubahan

2.3 Penyaringan Data Hujan

2.3.1 Uji Ketidakadaan Trend

Uji ketidakadaan trend dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ada tidaknya trend atau variasi dalam data. Apabila ada trend maka data tidak disarankan dalam analisis hidrologi. Data yang baik adalah data yang homogen, artinya data berasal dari populasi yang sama jenis.

Uji ketiadaan *trend* dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain Uji Korelasi Peringkat (KP) dengan Metode Spearman, Uji Mann dan Whitney, dan Uji Tanda dengan Metode Cox dan Stuart. Pada umumnya uji ketiadaan trend menggunakan Uji Korelasi Peringkat dengan Metode Spearman. Langkah – langkah yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

1. H_0 : data tidak mempunyai trend
2. H_1 : data mempunyai trend
3. α : 0,05
4. Statistik Uji

$$KP = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n}(dt)^2}{n^3 - n} \quad \text{.......} \quad (2\text{-}5)$$

$$t = KP\left[\frac{n-2}{1-KP^2}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{.......} \quad (2\text{-}6)$$

dengan :

KP = koefisien korelasi peringkat Spearman

n = jumlah data

dt = selisih Rt dangan Tt

Tt = peringkat dari waktu

Rt = peringkat dari variabel hidrologi dalam deret berkalaa

t = nilai hitung uji t

2.3.2 Uji Stasioner

Hipotesis statistik dirumuskan untuk dapat dengan mudah menolak atau menerima dugaan yang dibuat. Pengujian hipotesis dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian dua sisi dan pengujian satu sisi. Beberapa uji statistik metode parametrik yang sering digunakan untuk analisa hidrologi antara lain (Soewarno, 1995, p.7):

- Uji Distribusi Normal
- Uji-T (*Tee-test*), t

- Uji-Chi Kuadrat
- Uji-F (*Alf-test*), F

Deret berkala disebut stasioner apabila nilai dari parameter statistiknya (rataa-rata dan varian) relatif tidak berubah dari setiap bagian ke bagian yang lain dalam rangkaian data runtut waktu tersebut, sedanggkan apabila salah satu parameter statistiknya berubah untuk setiap bagian rangkaian data tersebut, maka deret berkala itu disebut tidak stasioner. Deret berkala tidak stasioner menunjukkan bahwa datanya tidak homogen/tidak sama jenis (Soewarno, 1995, p.84).

Dalam studi ini, uji statistik yang digunakan adalah Uji T dan Uji F karena data yang digunakan tidak begitu banyak sehingga menggunakan metode tersebut.

2.3.2.1 Uji t

Uji t termasuk jenis uji untuk sampel kecil. Ukuran sampel kecil yaitu n < 30. Untuk mengetahui apakah dua samp el berasal dari populasi yang sama, maka dihitung t score dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Limantara, 2009, p.27):

$$t = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sigma \cdot \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \quad \text{..........} \quad (2\text{-}7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(N_1 - 1).S_1 + (N_2 - 1).{S_2}^2}{N_1 + N_2 - 2}} \quad \text{..........} (2\text{-}8)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(N_1 - 1).S_1 + (N_2 - 1).{S_2}^2}{N_1 + N_2 - 2}} (2\text{-}8)$$

dengan:

m_1 = rerata dari sampel 1

m_2 = rerata dari sampel 2

S_1 = simpangan baku dari sampel 1

S_2 = simpangan baku dari sampel 2

N_1 = ukuran dari sampel 1

N_2 = ukuran dari sampel 2

Hipotesa:

H_0: sampel 1 dan sampel 2 berasal dari populasi yang sama

H_1: sampel 1 dan sampel 2 tidak berasal dari populasi yang sama

Harga t_{cr} dicari pada tabel Distribusi Student's t untuk Derajat Bebas n = $N_1 + N_2 - 2$ dan α (*Level of Significance*) misalnya 5%. Apabila t *score* < t_{cr}, maka H_0 diterima, dan jika sebaliknya maka H_0 ditolak.

2.3.2.2 Uji f

Uji nilai F ini dibandingkan dengan nilai F kritis (F_{cr}) dari tabel F. Adapun yang diuji adalah ketidakgantungan (*independence*) atau keseragaman (homogenitas).

Besarnya F berupa nisbah (*ratio*). Karena itu ada dua parameter derajat bebas yaitu n_1 (derajat bebas pembilang) dan n_2 (derajat bebas penyebut). Nilai Fcr dapat diperoleh dari Tabel F untuk berbagai *Level of Significant* (α), dengan menggunakan kedua parameter bebas n_1 dan n_2 tersebut. Nilai F yang perlu dihitung adalah sebagai berikut (Limantara, 2009, p.46):

$$F = \frac{n-k \,.\, \sum_{i=1}^{k} ni \,.\, (\overline{X_\iota} - \bar{X})^2}{(k-1).\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n}(\overline{X_{\iota J}} - \bar{X}_i)^2} \quad \text{(2-9)}$$

dengan:

$\bar{X}_i$ = harga rerata untuk kelas i

$\bar{X}$ = harga rerata keseluruhan

$\bar{X}_{ij}$ = pengamatan untuk kelas i pada tahun j

n_i = banyak pengamatan kelas i

n = banyakk pengamatan keseluruhan

2.3.3 Uji Persistensi

Anggapan bahwa data berasal dari sampel acak harus diuji, yang umumnya merupakan persyaratan dalam analisis distribusi peluang. Persistensi (*Persistence*) adalah ketidak tergantungan dari setiap nilai dalam deret berkala. Untuk melaksanakan pengujian persistensi harus dihitung besarnya koefisien korelasi serial. Metode untuk menentukan koefisien korelasi serial adalah dengan metode Spearman.

Koefisien korelasi serial metode Spearman dapat dirumuskan sebagai berikut (Soewarno, 1995:99):

$$KS = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{m}(di)^2}{m^3-m} \quad \text{(2-10)}$$

$$t = KS\left[\frac{m-2}{1-KS^2}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{(2-11)}$$

dengan:

KS = koefisien korelasi serial

m = N – 1

n = jumlah data

di = perbedaan nilai antara peringkat data ke X_i dan ke $X_i + 1$

t = nilai dari distribusi-t pada derajat kebebasan m-2 dan derajat kepercayaan tertentu (umumnya 5% ditolak, atau 95% diterima)

2.3.4 Uji *Inlier-Outlier* Data

Uji ini digunakan untuk mrengetahui apakah data maksimum dan minimum dari rangkaian data yang ada layak digunakan atau tidak. Uji yang digunakan adalah uji *inlier-outlier*, di mana data yang menyimpang dari dua batas ambang, yaitu ambang bawah (X_L) dan ambang atas (X_H) akan dihilangkan. Rumus untuk mencari kedua ambang tersebut adalah sebagai berikut (U.S. Water Resources Council, 1981, p.17):

X_H = Exp . $\bar{X} + kn\ .\ S$ .... (2-12)

X_L = Exp . $\bar{X} + kn\ .\ S$ .... (2-13)

dengan:

X_H = nilai ambang atas

X_L = nilai ambang bawah

$\bar{X}$ = nilai rata-rata

S = simpangan baku dari terhadap sampel data

Kn = besaran yang tergantung pada jumlah sampel data

Tabel 2.1 Nilai K_n untuk Uji *Inlier-Outlier*

Jumlah Data	**K_n**	**Jumlah Data**	**K_n**	**Jumlah Data**	**K_n**	**Jumlah Data**	**K_n**
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.468	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.681	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.717	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.618	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Sumber: Van Te Chow, 1998:404

2.4 Curah Hujan Rerata Daerah

Bila dalam suatu areal terdapat beberapa alat penakar atau pencatat curah hujan, maka untuk mendapatkan harga curah hujan areal adalah dengan mengambil harga rata-ratanya.

Ada 3 (tiga) metode yang berbeda dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata di atas areal tertentu dari angka-angka curah hujan di beberapa titik pos penakar (Soemarto,1987, p.31):

2.4.1 Cara Tinggi Rata-rata

Cara ini merupakan cara yang paling sederhana, tetapi memberikan hasil yang tidak teliti. Karena setiap stasiun dianggap memiliki bobot yang sama. Hal ini hanya dapat digunakan jika hujan yang terjadi dalam DAS bersifat homogen dan variasi tahunannya tidak terlalu besar. Cara tinggi rata-rata curah hujan diperoleh dengan cara menjumlahkan hasil penakaran hujan pada pos penakar kemudian membaginya dengan jumlah pos penakar tersebut.

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \ldots\ldots\ldots + d_n}{n}$$

$$= \sum_1^n \frac{d_I}{n} \quad \ldots\ldots \quad (2\text{-}14)$$

dengan:

d = tinggi curah hujan rata-rata daerah

$d_1 + d_2 + d_3 + \ldots + d_n$ = tinggi curahh hujan pada pos 1,2,…,n

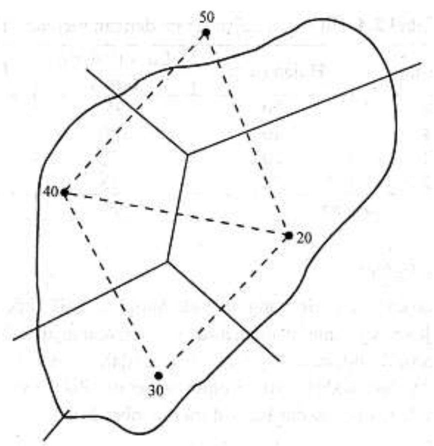
n = banyaknya pos penakar

Cara ini digunakan untuk pos-pos penakar yang terbagi merata di suatu daerah dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari harga rata-rata hujan di seluruh pos penakar.

2.4.2 Cara *Polygon Thiessen*

Cara ini didasarkan atas rata-rata timbang. Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar.

Misalnya A_1 adalah luas daerah pengaruh pos penakar 1, A_2 luas pos penakar 2 dan seterusnya. Jumlah $A_1 + A_2 + \ldots\ldots + A_n = A$ adalah jumlah luas seluruh areal yang dicari tinggi curah hujannya.



Gambar 2.2. Poligon *Thiessen*
Sumber: Triatmodjo, (2008:34)

Jika pos penakar 1 menakar hujan d_1, pos penakar 2 menakar hujan d_2 hingga pos penakar n menakar d_n, maka:

$$d = \frac{A_1.d_1 + A_2.d_2 + \cdots + A_n.d_n}{A}$$

$$= \sum_i^n \frac{A_1.d_1}{A} \quad \text{.......................} \quad (2\text{-}15)$$

Jika $\frac{A}{A} = p_i$ yang merupakan prosentase luas maka $d = \sum_i^n p_i.d_i$

dengan:

A	= luas areal
d	= tinggi curah hujan rata-rata areal
$d_1, d_2, \ldots, d_n$	= tinggi curah hujan di pos 1, 2, …,n
$A_1, A_2, \ldots, A_n$	= luas daerah pengaruh pos 1,2, …,n

Hasil perhitungan ini lebih teliti dibandingkan dengan perhitungan dengan cara rata-rata hitung. Dan cara tersebut di atas dipandang cukup baik karena memberikan koreksi terhadap kedalaman hujan sebagai fungsi daerah yang mewakili. Akan tetapi cara ini dipandang belum memuaskan karena pengaruh topografi tidak nampak.

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Stasiun-stasiun hujan terdekat dihubungkan sehingga satu sama lain terbentuk beberapa segitiga.
2. Dari setiap segitiga ditarik sumbu yang tepat di tengah sisinya dan memotong tegak lurus.

3. Daerah pengaruh hujan masing-masing stasiun hujan dibatasi sumbu segitiga yang membentuk segi banyak. Segi banyak ini disebut *Polygon Thiessen*.
4. Tiap-tiap banyak thiessen tersebut dihitung luasnya sehingga terdapat luas daerah pengaruh tiap-tiap stasiun.
5. Prosentase luas pengaruh tiap stasiun total didapat dari luas daerah stasiun tersebut dibagi luas total DAS.
6. Curah hujan maksimum daerah tahunan tiap stasiun didapat dari hasil perkalian prosentase luas daerah dengan curah hujan.

Untuk mendapatkan curah hujan harian maksimum daerah pada suatu daerah aliran adalah sebagai berikut:

a. Menjumlahkan curah hujan yang didapat dari metode *Polygon Thiessen* pada hari yang sama untuk semua stasiun pengamatan.
b. Dari hasil penjumlahan curah hujan maksimum daerah tahunan tersebut pilih yang tertinggi untuk setiap tahunnya. Curah hujan ini merupakan curah hujan maksimum tahunan untuk 10 tahun.

2.4.3 Metode Isohyet

Dalam hal ini kita harus menggambar dulu kontur dengan tinggi hujan yang sama (isohyet). Kemudian luas bagian di antara isohyets-isohyet yang berdekatan diukur, dan harga rata-ratanya dihitung sebagai harga rata-rata timbang dari kontur, seperti berikut ini (Soemarto, 1987, p.33).

$$d = \frac{\frac{d_0+d_1}{2}A_1 + \frac{d_1+d_2}{2}A_2 + \cdots + \frac{d_{n-1}+d_n}{2}A_n}{A_1+A_2+\cdots+A_n}$$

$$= \frac{\sum_1^n \frac{d_{i-1}+d_i}{2}A_i}{\sum_i^n A_i}$$

$$= \frac{\sum_1^n \frac{d_{i-1}+d_i}{2}A_i}{A} \quad \text{.......... (2-16)}$$

dengan :

A = luass areal

d = tinggii curah hujan rata-rata areal

$d_0, d_1, d_2, \ldots, d$ = tinggi curahh hujan pada isohyets 0, 1, 2, … , n

$A_1, A_2, A_3, \ldots, A4$ = luas bagiann areal yang dibatasi oleh isohyet-isohyet yang bersangkutan

Ini adalah cara yang paling teliti tetapi membutuhkan jaringan pos penakar yang relatif lebih padat guna memungkinkan untuk membuat garis-garis isohyet. Pada waktu menggambar garis-garis isohyets sebaiknya juga meninjau pengaruh bukit atau gunung terhadap distribusi hujan (hujan orografik).

2.5 Jaringan Stasiun Penakar Hujan

Jaringan stasiun penakar 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, p.22). Setiap stasiun hujan memiliki luasan pengaruh (*sphere of influence*) yang merupakan daerah dimana kejadian-kejadian di dalamnya menunjukkan keterikatan atau koreksi dengan salah satu kejadian yang diamati stasiun lainnya di dalam 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 lama dan diamati secara teratur di tempat yang telah dipilih secara seksama. Sedangkan jaringan sekunder dimaksudkan untuk lebih mendapatkan variasi ruang hujan. 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:

1. Berapa jumlahh 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.

Pada umumnya dalam praktek pengembangan jaringan stasiun penakar hujan tidak dapat dilakukan sekali, akan tetapi dengan coba ulang untuk mendapatkan jumlah dan kerapatan yang sesuai dengan yang dikehendaki. Untuk merencanakan jaringan stasiun hujan dapat melalui beberapa tahap sebagai berikut (Made,1987 dalam Harto,1993, p.21):

1. *Isolated stasion phase*

   Stasiun-stasiun terisolasi dipasang untuk memenuhi kebutuhan setempat. Jumlah tersebut akan bertambah dengan meningkatnya perkembangan sosio-ekonomi daerah yang bersangkutan.
2. *Network phase I*

   Kerapatan stasiun sudah semakin tinggi sedemikian pengukuran yang dilakukan (meskipun tidak disengaja) telah menunjukkan keterikatan tertentu.
3. *Network phase 2 (consolidation phase)*

   Tingkat keterikatan sudah sangat tinggi dan sering terdapat salah informasi yang berlebihan.
4. *Network phase 3 (reduction phase)*

   Pada tahap ini mulai disadari bahwa informasi yang berlebihan hanya akan mempertinggi biaya. Untuk itu tingkat keterikatan perlu ditetapkan dengan mengurangi stasiun-stasiun yang kurang berfungsi.

Dalam proses pengembangan jaringan hendaknya tetap dipahami bahwa tingkat keterikatan antar stasiun merupakan dasar perencanaan jaringan, oleh karena itu harus memperhatikan faktor-faktor berikut ini (Harto,1993, p.22):

1. Nilai sosio ekonomi data termasuk kepentingannya untuk pembangunan.
2. Biaya pemasangan dan pengoperasian seluruh sistem.
3. Variabilitas data.
4. Keterikatan data sebagai fungsi ruang dan waktu

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, p.22):

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 di atas 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 di atas.

2.6 Kerapatan dan Pola Penyebaran Stasiun Hujan

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 di dalam 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 yang berbeda, yaitu (Harto,1986, p.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 di bagian daerah dengan variasi hujan tinggi mempunyai kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lain yang variasi hujannya rendah.

Penelitian yang berkaitan dengan penentuan jumlah dan pola penyebaran stasiun hujan yang memadai untuk analisis hidrologi pada suatu DAS telah banyak dilakukan dengan berbagai cara. Tetapi semuanya perlu mendapatkan pengujian lebih lanjut untuk digunakan dan diterapkan di Indonesia terutama di pulau Jawa. Karena masing-masing cara membutuhkan tuntutan kuantitas dan kualitas data yang berbeda dan harus disesuaikan dengan daerah dimana penelitian tersebut dilakukan.

Tabel 2.2 Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan Seluruh Provinsi di Indonesia

No	Provinsi	Jumlah Stasiun Ideal (WMO)		Jumlah Stasiun Faktual		Kerapatan
		Manual	Otomatis	Manual	Otomatis	km^2/sta
1	Aceh	317	32	53	32	651.67
2	Sumatera Utara	405	41	99	39	478.36
3	Sumatera Barat	284	28	63	24	572.17
4	Riau	540	54	81	24	900.59
5	Bengkulu	121	12	24	18	504
6	Jambi	257	26	7	13	2246.2
7	Sumatera Selatan	593	60	92	28	864.07
8	Lampung	193	20	63	25	378.49
9	Jawa Barat	268	27	490	89	80.98
10	Jawa Tengah	213	21	811	109	40.62
11	Jawa Timur	274	27	802	61	55.6
12	Kalimantan Barat	839	94	41	17	2530.34
13	Kalimantan Tengah	872	87	25	21	3317.39
14	Kalimantan Selatan	22	2	26	16	896.67
15	Kalimantan Timur	1157	116	34	28	3268.16
16	Sulawesi Utara	109	11	16	23	488.02
17	Sulawesi Tengah	398	40	28	24	1340.88
18	Sulawesi Tenggara	158	16	28	12	692.15
19	Sulawesi Selatan	416	42	28	27	1323.29
20	Bali	32	3	64	17	68.65
21	NTB	115	12	63	22	237.38
22	NTT	274	27	51	23	646.97
23	Maluku	426	43	34	19	1379.7
24	Irian Jaya	2411	24	4	-	10549.5
25	Timor Timur	85	9	7	4	1352,18

Sumber: Harto, 1993:37

2.6.1 Cara WMO (*World Meteorogical Organization*)

Pada umumnya daerah hujan yang terjadi lebih luas dibandingkan dengan daerah hujan yang diwakili oleh stasiun penakar hujan atau sebaliknya, maka dengan memperhatikan pertimbangan ekonomi, topografi dan lain-lain harus ditempatkan stasiun hujan dengan kerapatan optimal yang bisa memberikan data yang baik untuk analisis selanjutnya.

Untuk tujuan ini, Badan Meteorologi Dunia atau WMO (*World Meteorogical Organization*) menyarankan kerapatan minimum jaringan stasiun hujan sebagai berikut (Linsley,1986,p.67):

1. Untuk daerah datar beriklim sedang, mediteran dan daerah tropis 600 – 900 km^2/stasiun.
2. Untuk daerah pegunungan beriklim sedang, mediteran dan daerah tropis 100 – 250 km^2/stasiun.
3. Untuk pulau-pulau dengan pegunungan kecil dengan hujan beraturan 25 km^2/stasiun.
4. Untuk daerah kering dan kutub 1500 – 10000 km^2/stasiun.

2.6.2 Cara Sugawara

Menurut Sugawara, pada daerah tropik untuk suatu DAS yang lebih kecil dari 100 km^2 maupun DAS yang lebih besar dari 100 km^2, pemakaian 10 buah stasiun hujan dipandang sudah memadai. Berkaitan dengan hal tersebut, disarankan pula untuk analisis hidrologi di daerah tropik penggunaan 15 stasiun hujan dalam suatu DAS sudah mencukupi, tanpa memperhatikan luasnya (Harto,1993, p.28).

2.6.3 Cara Bleasdale

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh *Bleasdale*, jumlah stasiun panakar hujan minimal yang digunakan dipengaruhi oleh luas DAS. Semakin luas DAS yang ditinjau, semakin rendah kerapatan jaringan stasiun penakar hujan yang ada. Hal ini dapat pada tabel yang menyajikan tentang hubungan jumlah stasiun hujan optimal yang dibutuhkan berdasarkan luas DAS yang ditinjau sebagai berikut (Wilson,1974, p.16):

Tabel 2.3 Jumlah stasiun hujan optimal berdasarkan luas DAS berdasarkancara Bleasdale

Luas DAS (km^2)	**Jumlah stasiun Optimal**	**Kerapatan (km^2/stasiun)**
26	2	13
260	6	43.33
1300	12	108.33
2600	15	173.33
5200	20	260
7800	24	325

Sumber : Wilson,1974:16

Penelitian yang dilakukan di atas sangat dipengaruhi oleh sifat hujan maupun DAS yang ditinjau. Sehingga tidak dapat digunakan sebagai pedoman untuk DAS yang lain dalam menentukan jumlah atau kerapatan stasiun hujan yang diperlukan untuk analisis hidrologi selanjutnya. Oleh karena pada setiap DAS mempunyai sifat dan hujan yang berbeda, maka penelitian tersebut hanya dapat dipergunakan sebagai pertimbangan saja.

2.6.4 Cara Pancang Narayanan dan Stephenson

Untuk menentukan jumlah stasiun hujan yang dipandang cukup mewakili, *Pancang Narayanan dan Stephenson* (1962) mengembangkan metode dengan pendekatan sifat statistik data hujan terutama untuk jaringan hujan bulanan (*monthly network*), apabila jumlah stasiun hujan yang ada terbagi merata pada DAS yang bersangkutan. Prinsip yang digunakan adalah bahwa koefisien perubahan hujan bulanan dalam suatu DAS dapat digunakan sebagai tolak ukur untuk mengetahui cukup tidaknya jumlah stasiun hujan yang ada (Harto,1993:28). Adapun langkah-langkah perhitungannya sebagai berikut:

1. Mula-mula ditetapkan koefisien variasi hujan bulanan C_{vm} (%) terhadap hujan tahunan rata-rata (dianjurkan untuk menggunakan data > 100 bulan).
2. Selanjutnya disusun "*Cumulative frequency curve*" untuk C_{vm} dan ditetapkan nilai 'C' yang dilampaui dalam 5 % kejadian.
3. Apabila nilai 'C' = 10 maka jaringan stasiun hujan yang ada dapat dianggap memadai. Namun apabila nilai 'C' < 10 maka jumlah stasiun hujan (N) ditetapkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N = \left(\frac{C'}{10}\right)^2 .n \quad \text{......} \quad (2\text{-}17)$$

dengan:

N = jumlah stasiun hujan yang dibutuhkan

n = jumlah stasiun hujan yang ada.

Kesulitan utama dalam pemakaian cara ini adalah karena perhitungan nilai 'C' dilakukan secara sebarang (*subjective*) dan hanya disarankan untuk DAS yang kecil.

2.6.5 Cara Varshney

Cara ini menggunakan pendekatan statistik dengan langkah-langkah perhitungan untuk menentukan jumlah stasiun hujan yang optimal sebagai berikut:

1. Hitung jumlah curah hujan total (P_t)

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots + P_1 \quad \text{......} \quad (2\text{-}18)$$

dengan:

P_n = hujan di stasiun n

P_t = jumlah hujan total

2. Hitung hujan rerata DAS (P_m)

$$P_m = \frac{Pt}{n} \qquad (2\text{-}19)$$

3. Hitung jumlah kuadrat curah hujan semua stasiun (Ss)

$$Ss = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + \ldots + P_n^2 \qquad (2\text{-}20)$$

4. Hitung varian (S^2)

$$S^2 = \left[\frac{Ss - \left(\frac{Pt^2}{n} \right)}{n-1} \right] \qquad (2\text{-}21)$$

5. Hitung koefisien variasi (Cv)

$$Cv = \left[\frac{100\sqrt{S^2}}{Pm} \right] \qquad (2\text{-}22)$$

Hitung jumlah stasiun penakar hujan optimal (N) dengan prosentase kesalahan yang dikehendaki sebesar P.

$$N = \left[\frac{Cv}{P} \right]^2 \qquad (2\text{-}23)$$

6. Stasiun penakar hujan yang harus dipasang lagi adalah sebesar N – n, dimana n merupakan stasiun penakar hujan yang telah ada.

Dari penelitian di atas baru disinggung penetapan kerapatan jaringan stasiun hujan yang dibutuhkan, masalah yang timbul adalah tentang pola penyebarannya.

2.6.6 Cara 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 di atas, belum dibahas tentang penyebaran stasiun hujan di dalam 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,p.29). Hal ini masih harus dikaitkan dengan keadaan sekitarnya yang menyangkut masalah ketersediaan tenaga pengamat dan pola penyebarannya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh 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,1986,p.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 cara 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,p.31):

$$r_{(d)} = r_{(0)} . e^{\left(\frac{-d}{d_0}\right)} \quad \text{(2-24)}$$

$$Z_1 = Cv . \sqrt{\frac{\left[1 - r_{(0)} + \left(\frac{0.23\sqrt{A}}{d(0)\sqrt{n}}\right)\right]}{n}} \quad \text{(2-25)}$$

$$Z_2 = Cv . \sqrt{\left[\frac{1}{3}\left(1 - r_{(0)}\right) + \frac{0.52 . r_{(0)}\sqrt{\frac{A}{n}}}{d_{(0)}}\right]} \quad \text{(2-26)}$$

$$L = 1.07 . \sqrt{\frac{A}{n}} \quad \text{(2-27)}$$

dengan:

$r_{(d)}$ = koefisienn korelasi untuk jarak stasiun sejauh d

$r_{(o)}$ = koefisienn korelasi untuk jarak stasiun yang sangat pendek

d = jarak antarr stasiun (km)

$d_{(o)}$ = radius korelasi

Cv = koefisien variasi

A = luas DAS (km)

n = jumlah stasiun

Z_1, Z_2 = kesalahan perataan (%) dan kesalahan interpolasi (%)

L = jarakk antar stasiun (km)

2.7 Analisis Jaringan Kagan – Rodda

2.7.1 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,p.53):

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

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \quad \text{.......} \quad (2\text{-}28)$$

2. Hitung standart deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2}{n-1}} \quad \text{.......} \quad (2\text{-}29)$$

3. Hitung koefisien variasi

$$Cv = \left(\frac{S}{X}\right) \quad \text{.......} \quad (2\text{-}30)$$

dengan:

Cv = koefisien variasi

S = standart deviasi

X = nilai rata-rata

Koefisien variasi yang dihitung berdasarkan hujan bulanan biasanya rendah (<0.6) tetapi untuk hujan harian pada umumnya sangat tinggi (>0.6), hal ini mudah dipahami karena sifat hujan di daerah tropik seperti Indonesia yang sangat bervariasi dan tidak merata (Harto,1993,p.34). Dasar analisis yang digunakan dalam jaringan Kagan – Rodda adalah sifat hujan yang merata dengan variasi yang rendah (0.3 – 0.6).

2.7.2 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 hujan dari masing-masing stasiun hujan. Dengan demikian apabila korelasi yang diperlukan dapat ditetapkan, maka jarak antar stasiun yang dibutuhkan dalam suatu jaringan dapat pula 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 :

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}{\sqrt{\left[\left(n\sum_{i=1}^{n} X^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2\right)\left(n\sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right)^2\right)\right]}} \quad \text{...} \quad (2\text{-}31)$$

dengan:

r = koefisien korelasi

n = jumlah data

X_I = data hujan pada stasiun X

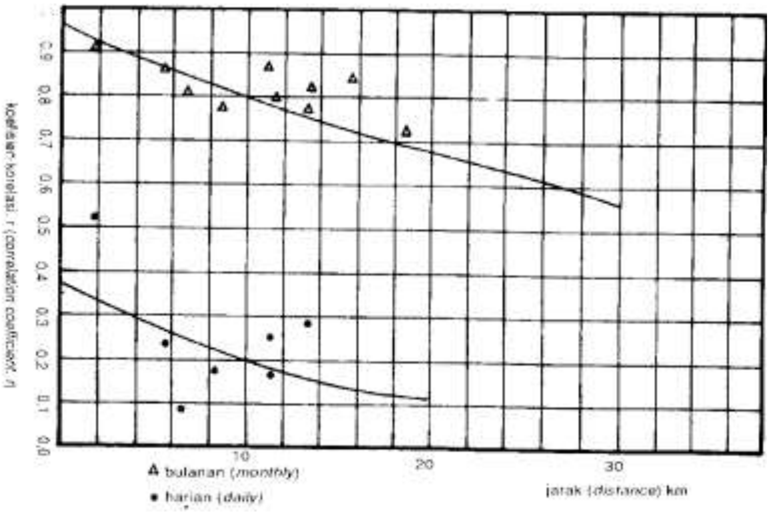
Y_I = data hujan pada stasiun Y

Pada umumnya nilai r bervariasi dari -1 melalui 0 hingga +1. Bila r = 0 atau mendekati 0, maka hubungan antara kedua variabel sangat lemah atau tidak ada hubungan sama sekali. Bila r = +1 atau mendekati +1, maka korelasi antara kedua variabel dikatakan 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 salah satu variabel (X) terjadi bersamaan dengan kenaikan/penurunan nilai variabel yang lain (Y). Bila r (-), maka kenaikan nilai salah satu variabel (X) terjadi dengan penurunan nilai variabel yang lain (Y) dan sebaliknya.

Koefisien korelasi untuk hujan harian pada umumnya sangat rendah 0.0 – 0.4, sedangkan koefisien korelasi untuk hujan bulanan berkisar antara 0.5 – 0.96 (Harto.1993:35). Untuk nilai koefisien korelasi yang rendah, berarti menunjukkan bahwa antara hujan di satu stasiun tidak ada hubungannya dengan hujan di stasiun yang 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 ataupun persamaan garis. Dalam analisis jaringan Kagan-Rodda dibutuhkan data hujan yang memiliki korelasi diantara satu stasiun yang lain (r > 0.6).

Dari hubungan antara jarak antar stasiun dan koefisien korelasi (r), dapat dapat digambarkan grafik lengkung eksponensial, seperti yang nampak pada gambar 2.3 sebagai berikut:

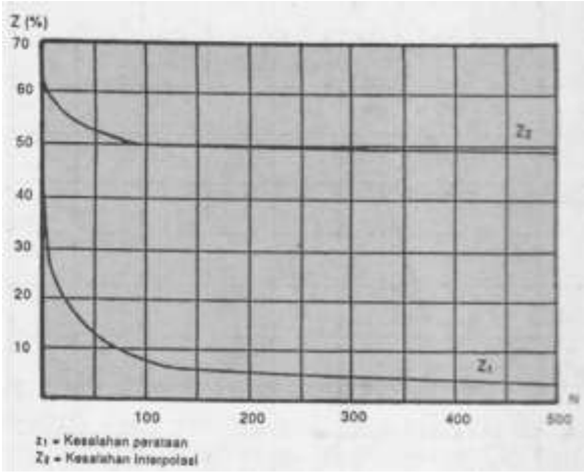


Gambar 2.3 Korelasi antar stasiun hujan pada Suatu DAS
Sumber: Sri Harto, 1993:33

2.7.3 Perencanaan Jaringan Kagan-Rodda

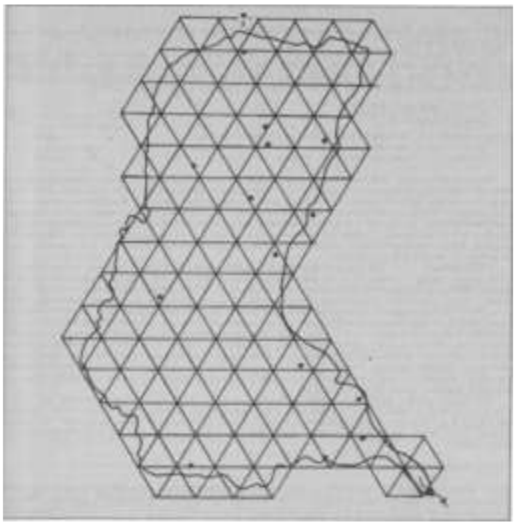
Secara garis besar langkah-langkah perhitungan yang akan dilakukan dalam perencanaan jaringan Kagan-Rodda adalah sebagai berikut (Harto,1993,p.32):

1. Dari jaringan stasiun hujan yang tersedia, dapat dihitung nilai koefisien variasi (C_v) berdasarkan persamaan (2-30) baik untuk hujan harian maupun hujan bulanan, sesuai dengan yang diperlukan.
2. Dari jaringan stasiun hujan yang telah tersedia pula dapat dicari hubungannya antara jarak antar stasiun dan koefisien korelasi, baik untuk hujan harian maupun bulanan, sesuai dengan keperluan. Dalam penetapan hubungan ini tidak perlu diperhatikan orientasi arahnya, karena tidak berpengaruh terhadap besarnya korelasi. Sedangkan korelasi dilakukan untuk hari-hari di kedua stasiun terjadi hujan, untuk menghindarkan terjadinya *Complete Dry Days* (Stohl,1981 dalam Harto:1993).
3. Hubungan yang diperoleh di atas digambarkan dalam sebuah grafik lengkung eksponensial, sehingga dari grafik ini diperoleh besaran $d_{(o)}$ dengan menggunakan nilai rerata d dan $r_{(d)}$ dan persamaan (2-24).
4. Dengan besaran tersebut, maka persamaan (2-25) dan (2-26) dapat dihitung setelah tingkat ketelitian ditetapkan. Ataupun sebaliknya, dapat dicari grafik hubungan antara jumlah stasiun hujan dengan ketelitian yang diperoleh, baik untuk hujan bulanan maupun hujan harian.



Gambar 2.4 Hubungan antara jumlah stasiun dan besar kesalahan rata-rata
Sumber: Sri Harto, 1993:34

5. Setelah jumlah stasiun hujan pada DAS yang ditinjau ditetapkan menggunakan persamaan (2-27), maka penempatan stasiun hujan dilakukan dengan menggambarkan jaring-jaring segitiga sama sisi dengan panjang sisi L.
6. Gambar jaringan Kagan-Rodda dibuat di atas kertas transparan, yang selanjutnya ditumpangkan di atas peta daerah aliran sungai yang ditinjau dan dilakukan penggeseran-penggeseran sedemikian rupa, sehingga jumlah simpul segitiga yang berada di dalam DAS sama dengan jumlah stasiun hujan yang dihitung. Simpul-simpul tersebut merupakan lokasi stasiun hujan.



Gambar 2.5 Contoh Jaringan Kagan-Rodda
Sumber: Sri Harto, 1993,p.35
Cara Kagan-Rodda ini dapat dipergunakan untuk dua keadaan yaitu:

1. Apabila di dalam DAS sama sekali belum ada stasiun hujan, maka cara yang dapat ditempuh adalah dengan mencoba memanfaatkan data hujan di daerah sekitarnya untuk dapat mengetahui tingkat variabilitasnya (nilai koefisien variasi) dan setelah

beberapa tahun pengoperasian, maka jaringan tersebut perlu diuji kembali untuk meningkatkan kualitasnya.

2. Apabila di dalam DAS telah tersedia jaringan stasiun hujan, maka cara ini dapat dipergunakan untuk mengevaluasi apakah jaringan yang telah ada telah mencakupi (untuk tingkat ketelitian yang dikehendaki), atau dapat pula digunakan untuk memilih stasiun-stasiun yang akan digunakan untuk analisis selanjutnya. Dalam kaitan ini jaringan yang ada dibandingkan dengan jaringan yang telah diperoleh dengan cara Kagan-Rodda. Apabila jumlah stasiun yang telah ada masih lebih kecil dibandingkan dengan jumlah stasiun yang dituntut dengan cara Kagan-Rodda dapat dipergunakan dengan menambahkan stasiun-stasiun yang lain. Akan tetapi apabila jumlah stasiun yang telah ada lebih besar dibandingkan dengan jumlah stasiun yang dituntut berdasarkan cara Kagan-Rodda, maka stasiun-stasiun tertentu dapat tidak dipergunakan untuk analisis selanjutnya.

2.8 Kesalahan Relatif

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

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

$$Kr = ((Xa - Xb) / Xa) * 100\% \qquad (2–32)$$

dengan:

Kr = kesalahan relatif curah hujan rancangan (%)

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

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

2.9 Analisa Regresi

Langkah awal dari analisis regresi dan korelasi adalah menentukan data penomena hidrologi {(Xi, Yi); i = 1,2,3,4,5,...n} yang dipilih sebagai variabel bebas (VB) dan variabel tidak bebas (VTB), selanjutnya:

- Menentukan bentuk kurva dan persamaan yang cocok dengan sebaran data (Xi, Yi)

- Melakukan interpolasi nilai VTB berdasarkan nilai VB yang telah diketahui
- Bila diperlukan melakukan ekstrapolasi nilai VTB berdasarkan nilai VB yang telah diketahui

Berbagai model regresi untuk membuat hubungan pasangan data pengamatan {(Xi, Yi); i = 1,2,...n} antara lain (Soewarno, 1995,pp.135-200):

2.9.1 Linier Sederhana

Regresi linear sederhana adalah persamaan regresi yang menggambarkan hubungan antara satu peubah bebas (Xi) dan satu peubah tak bebas (Yi), dimana hubungan keduanya dapat digambarkan sebagai suatu garis lurus. Penomena hidrologi yang terdiri dari dua variabel berpasangan {(Xi, Yi); i = 1,2,...n}, bila dibuat hubungan maka akan dapat merupakan garis kurva linier sederhana dengan dua model persamaan regresi garis lurus sebagai berikut:

$$\hat{Y} = a_1 \,.\, \hat{X} + b_1 \quad (2\text{-}33)$$

dengan:

$\hat{Y}$ = persamaan garis lurus Y atas X

$\hat{X}$ = persamaan garis lurus X atas Y

a_1, a_2 = koefisien regresi merupakan koefisien arah dari garis regresi

b_1, b_2 = koefisien yang merupakan titik potong dari garis regresi

Besarnya a1, b1 dan a2 b2 dengan metode kuadrat terkecil dapat dicari dengan rumus berikut:

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})\,(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2} \quad (2\text{-}34)$$

$$b_1 = \bar{Y} - a_1(\bar{X}) \quad (2\text{-}35)$$

$$a_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})\,(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2\text{-}36)$$

$$b_2 = \bar{X} - a_2(\bar{Y}) \quad (2\text{-}37)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \quad (2\text{-}38)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i \quad (2\text{-}39)$$

2.9.1.1 Analisa Koefisien Korelasi

Besarnya koefisien korelasi yang menunjukkan derajat hubungan antara variabel Xi dan Yi, dapat dihitung berdasarkan persamaan (2-42) dan (2-43) sebagai persamaan berikut ini (Soewarno,1995,p.141):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})\,(Y_i - \bar{Y})}{\left[\{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2\}\,\{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2\}\right]^{\frac{1}{2}}} \quad \text{.......... (2-40)}$$

Untuk melakukan interpretasi kekuatan hubungan antara dua variabel dilakukan dengan melihat angka koefesien korelasi hasil perhitungan dengan menggunakan kriteria sebagai berikut (Soewarno, 1995,p.135):

- Jika angka koefesien korelasi menunjukkan 0, maka kedua variabel tidak mempunyai hubungan.
- Jika angka koefesien korelasi mendekati 1, maka kedua variabel mempunyai hubungan semakin kuat.
- Jika angka koefesien korelasi mendekati 0, maka kedua variabel mempunyai hubungan semakin lemah.
- Jika angka koefesien korelasi sama dengan 1, maka kedua variabel mempunyai hubungan linier sempurna positif.
- Jika angka koefesien korelasi sama dengan -1, maka kedua variabel mempunyai hubungan linier sempurna negatif.

2.9.1.2 Batas Kepercayaan Garis Regresi

Apabila nilai koefisien korelasi tidak sama dengan +1 atau -1, maka perkiraan/ramalan tentang nilai Y jika X diketahui akan dapat berbeda dengan nilai terukur. Dari Gambar 2.4, untuk X = X_i, maka nilai garis regresi adalah Ŷ, sedangkan yang terukur adalah Y_i, dengan nilai $Y_i = \hat{Y} + \Delta Y^2$. Nilai ΔY adalah deviasi yang menyatakan kesalahan dalam memperkirakan Ŷ jika Xi diketahui dan ΔY harus minimum, karena garis regresi diperoleh dengan metode kuadrat terkecil, oleh karena itu (Soewarno,1995,p.149):

$$\Delta Y^2 = \sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \hat{Y}\right)^2 \quad \text{.......... (2-41)}$$

Besarnya kesalahan tersebut, dinyatakan sebagai nilai kesalahan standar dari perkiraan (*standard error of estimate*). Nilai yang dimaksud dapat digunakan untuk memperkirakan atau meramal Y jika nilai X diketahui yaitu dengan:

$$SEY = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y})^2}{n-1}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{.......... (2-42)}$$

Apabila nilai SEY semakin besar berarti titik koordinat (X_i,Y_i) semakin jauh dari garis kurvanya. Apabila nilai SEY semakin kecil, berarti titik koordinat (X_i,Y_i) semakin dekat dengan garis kurvanya dan itu berarti nilai Y perkiraan atau ramalannya akan semakin teliti.

2.9.1.3 Pengujian Parsial (Uji t)

Uji ini digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas (X) secara parsial terhadap variabel tak bebas (Y), apakah pengaruhnya signifikan atau tidak. Berikut tahap pengujiannya (Supranto, 1998,p.230):

a. Menentukan hipotesis nol dan hipotesis alternatif
   - H_0 : artinya variabel independen tidak berpengaruh terhadap variabel dependen
   - Ha : artinya variabel independen berpengaruh terhadap variabel dependen

b. Menentukan taraf signifikansi yaitu 0,05

c. Menentukan *t* hitung dan *t* kritis
   - *t* hitung dapat dihitung dengan rumus:

$$t = \frac{b}{S_b} \quad \text{(2-43)}$$

$$S_b = \frac{SEY}{\left\{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2\right\}^{\frac{1}{2}}} \quad \text{(2-44)}$$

     dengan:

     t = nilai uji-t, dengan derajat kebebasan n-2

     b = koefisien regresi

     Sb = deviasi koefisien regresi

     SEY = kesalahan standar dari perkiraan nilai Y

   - *t* kritis dapat dicari pada tabel distribusi t-student (Lampiran 3) pada signifikansi 0,05/2 (uji dua sisi)

d. Pengambilan keputusan
   - *t* hitung > *t* kritis maka H_0 ditolak
   - *t* hitung ≤ *t* kritis maka H_0 diterima

2.9.1.4 Pengujian Serentak (Uji F)

Uji ini digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas (X) secara serentak terhadap variabel tak bebas (Y), apakah pengaruhnya signifikan atau tidak. Berikut tahap pengujiannya (Gujarati, 1995,p.189):

a. Menentukan hipotesis nol dan hipotesis alternatif

- H_0 : artinya variabel independen secara serentak tidak berpengaruh terhadap variabel dependen
- H_a : artinya variabel independen secara serentak berpengaruh terhadap variabel dependen

b. Menentukan taraf signifikansi yaitu 0,05

c. Menentukan *F* hitung dengan cara:

$$F = \frac{MSR}{MSE} \qquad (2\text{-}45)$$

F hitung juga dapat dilihat pada Tabel 2.5 ANOVA berikut ini:

Tabel 2.4 ANOVA

Sumber Varians	Derajat bebas	*Sum Square*	*Mean Square*	F
Regresi	k-1	$\sum_{i=1}^{n}(\bar{Y}-\hat{Y})^2$	SSR	MSR/MSE
Error	n-k-1	SST-SSR	SSE/(n-k-1)	
Total	n-1	$\sum_{i=1}^{n}(Y-\bar{Y})^2$		

Sumber: Draper (1998,p.39)

Keterangan:

k = banyaknya parameter

SSR = *Sum Square Regression* (Jumlah Kuadrat Regresi)

SSE = *Sum Square Error* (Jumlah Kuadrat Error)

SST = *Sum Squre Total* (Jumlah Kuadrat Total)

MSR = *Mean Square Regression* (Kuadrat Tengah Regresi)

MSE = *Mean Square Error* (Kuadrat Tengah Error)

n = banyak sampel

- *F* kritis dapat dicari pada tabel F (lihat Lampiran) pada signifikansi 0,05

d. Pengambilan keputusan

- *F* hitung > *F* kritis maka H_0 ditolak
- *F* hitung ≤ *F* kritis maka H_0 diterima

2.9.1.5 Analisa Koefisien Determinasi

Analisis koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengetahui seberapa besar prosentase sumbangan pengaruh variabel bebas secara serentak terhadap variabel tak bebas

(Gujarati, 1995,p.76). Persamaan regresi Y terhadap X, nilai R^2 dihitung dengan mengkuadratkan nilai koefisien korelasi.

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui pengaruh faktor topografi (elevasi stasiun hujan) terhadap sebaran stasiun hujan akan digunakan model Regresi Linear Sederhana. Dikatakan sederhana karena hanya ada satu pengubah bebas dan tidak ada parameter yang muncul sebagai suatu eksponen atau dikalikan atau dibagi oleh parameter lain serta menghasilkan model regresi yang baik.

2.9.2 Eksponensial

Dari pasangan data variabel hidrologi {(Xi, Yi); i = 1,2,...n} apabila dihitung dengan persamaan regresi eksponensial, maka modelnya adalah:

$$\hat{Y} = b \cdot e^{aX} \qquad (2\text{-}46)$$

dengan:

$\hat{Y}$ = regresi eksponensial Y terhadap X, merupakan variabel tak bebas

X = variabel bebas

a,b = parameter

e = bilangan pokok logaritma asli, atau logaritma Napir = 2,7183

Dimana $Y_i > 0$

2.9.3 Berpangkat

Dari pasangan data variabel hidrologi {(Xi, Yi); i = 1,2,...n} apabila dihitung dengan persamaan regresi berpangkat, maka modelnya adalah:

$$\hat{Y} = b \cdot e^{aX} \qquad (2\text{-}47)$$

Apabila persamaan diatas ditransformasikan kedalam persamaan linier fungsi (log) akan menjadi:

$$\widetilde{\log Y} = \log b\, X^a \qquad (2\text{-}48)$$

$$\widetilde{\log Y} = \log b + a \log X \qquad (2\text{-}49)$$

Dimana: $Y_i > 0$ dan $X_i > 0$

2.9.4 Logaritmik

Dari pasangan data variabel hidrologi {(Xi, Yi); i = 1,2,...n} apabila dihitung dengan persamaan regresi logaritmik, maka modelnya adalah:

$$\hat{Y} = b \cdot a \log X \qquad (2\text{-}50)$$

Dengan:

$\hat{Y}$ = regresi Y terhadap X

X = variabel bebas, harus lebih besar dari nol

a,b = parameter

Persamaan diatas merupakan persamaan fungsi semi logaritmik antara Y dan log X, merupakan persamaan garis lurus dengan kemiringan (a) dan memotong sumbu Y di b.

2.9.5 Polinomial

Persamaan regresi polinomial orde ke m yang menyatakan hubungan dua variabel data hidrologi {(Xi, Yi); i = 1,2,...n} dapat disajikan sebagai berikut:

$$Y = b0 + b1X + b_2X^2 + b_3X^3 + ... b_mX^m \quad \text{...}(2\text{-}51)$$

Nilai: b_0, b_1, b_2, ... b_m dicari dengan:

$$\begin{bmatrix} n & \sum X_i & \sum X_i^2 & \cdots & \sum X_i^m \\ \sum X_i & \sum X_i^2 & \sum X_i^3 & \cdots & \sum X_i^{m+1} \\ \sum X_i^2 & \sum X_i^3 & \sum X_i^4 & \cdots & \sum X_i^{m+2} \\ . & . & . & \cdots & . \\ . & . & . & \cdots & . \\ . & . & . & \cdots & . \\ \sum X_i^m & \sum X_i^{m+1} & \sum X_i^{m+2} & \cdots & \sum X_i^{m+m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \\ \\ \\ b_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum Y_i \\ \sum X_i Y_i \\ \sum X_i^2 Y_i \\ \\ \\ \\ \sum X_i^m Y_i \end{bmatrix} \quad \text{.........} (2\text{-}52)$$

2.10 Uji Asumsi Klasik

2.10.1 Uji Normalitas

Syarat dalam analisa parametrik yaitu distribusi data harus normal. Pengujian menggunakan uji Kolmogorov – Smirnov (Analisis Explore) untuk mengetahui apakah distribusi data pada tiap – tiap variabel normal atau tidak.

Kriteria pengambilan keputusan yaitu jika signifikansi > 0,05 maka data berdistribusi normal, dan jika signifikanso < 0,05 maka data tidak berdistribusi normal. Kriteria pengambilan keputusan yaitu sebagai berikut:

1. Jika data menyebar sekitar garis diagonal dan mengikuti arah diagonal, maka model regresi memenuhi asumsi normalitas.
2. Jika data menyebar jauh dari garis diagonal atau tidak mengikuti arah diagonal, maka model regresi tidak memenuhi asumsi normalitas.

2.10.2 Uji Multikolinearitas

Multikolinearitas adalah keadaan dimana antara dua variabel independen atau lebih pada model regresi terjadi hubungan linier yang sempurna atau mendekati sempurna. Model regresi yang baik mensyaratkan tidak adanya masalah multikolinearitas. Dampak yang diakibatkan dengan adanya multikolinearitas antara lain yaitu:

1. Nilai *standard error* utnuk masing-masing koefisien menjadi tinggi, sehingga t hitung menjadi rendah
2. Standard error of estimate akan semakin tinggi dengan bertambahnya variabel independen
3. Pengaruh masing-masing variabel independen sulit dideteksi

Untuk mendeteksi ada tidaknya multikolinearitas dengan meligat nilai *Tolerance* dan VIF. Semakin kecil nilai *Tolerance* dan semakin besar nilai VIF maka semakin mendekati terjadinya masalah multikolinearitas. Dalam kebanyakan penelitian menyebutkan bahwa jika Tolerance lebih dari 0,1 dan VIF kurang dari 10 maka tidak terjadi multikolinearitas.

2.10.3 Uji Heteroskedastisitas

Heteroskedastisitas adalah keadaan dimana terjadinya ketidaksamaan varian dari residual pada model regresi. Model regresi yang baik mensyaratkan tidak adanya masalah heteroskedastisitas. Heteroskedastisitas menyebabkan penaksir atau estimator menjadi tidak efisien dan nilai koefisien determinasi akan menjadi sangat tinggi.

Untuk mendeteksi ada tidaknya heteroskedastisitas dengan melihat pola titik-titik pada scatterplots regresi. Jika titik-titik menyebar dengan pola yang tidak jelas di atas dan di bawah angka 0 pada sumbu Y maka tidak terjadi masalah heteroskedastisitas.

2.10.4 Uji Autokorelasi

Autokorelasi adalah keadaan dimana terjadinya korelasi dari residual untuk pengamatan satu dengan pengamatan yang lain yang disusun menurut runtun waktu. Model regresi yang baik mensyaratkan tidak adanya masalah autokorelasi. Dampak yang diakibatkan dengan adanya autokorelasi yaitu varian sampel tidak dapat menggambarkan varian populasinya.

Untuk mendeteksi ada tidaknya autokorelasi dengan dilakukan uji Durbin – Watson dengan prosedur sebagai berikut:

1. Menentukan hipotesis nol dan hipotesis alternatif

   H0 : tidak terjadi autokorelasi

Ha : terjadi autokorelasi

2. Menentukan taraf signifikansi. Taraf signifikansi menggunakan 0,05
3. Menentukann nilai d (Durbin – Watson)
4. Menentukan nilai dL dan dU

   Dapat dilihat pada tabel Durbin – Watson pada signifikansi 0,05 dengan n adalah jumlah data dan k adalah jumlah variabel independen
5. Pengambilan keputusan
   - dU < d < 4-dU maka H0 diterima (tidak terjadi autokorelasi
   - d < dL atau d > 4-dL maka H0 ditolak (terjadi autokorelasi)
   - dL < d < dL atau 4-dU < d < 4-dL maka tidak ada kesimpulan
6. Kesimpulan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)