

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Hidrologi

Hidrologi adalah suatu ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya, dan hubungannya dengan lingkungannya, terutama dengan makhluk hidup. Penerapan ilmu hidrologi dapat dijumpai dalam beberapa kegiatan seperti perencanaan dan operasi bangunan air, penyediaan air untuk berbagai tenaga air, pengendalian banjir, pengendalian erosi dan sedimentasi, transportasi air, drainasi, pengendalian polusi, air limbah, dsb (Triatmojo, 2010).

Faktor hidrologi yang berpengaruh pada wilayah hulu adalah curah hujan (presipitasi). Curah hujan pada suatu daerah merupakan salah satu faktor yang menentukan besarnya debit banjir yang terjadi pada daerah yang menerimanya (Soemarto, 1999). Analisis hidrologi dilakukan guna mendapatkan data hujan debit air yang akan digunakan sebagai dasar analisis selanjutnya.

1. Analisis Daerah Aliran Sungai

Perencanaan sistem pengendalian banjir pada suatu wilayah, perlu diketahui besarnya curah hujan yang mewakili DAS, dimana dapat diperoleh dari analisis data curah hujan harian maksimum tahunan dari beberapa stasiun penakar hujan yang ada di wilayah tangkapan hujan (*catchment area*).

DAS adalah semua bagian aliran air di sekitar sungai yang mengalir menuju alur sungai, aliran air tersebut tidak hanya berupa air permukaan yang mengalir di dalam alur sungai, tetapi termasuk juga aliran air di punggung bukit yang mengalir

menuju alur sungai, sehingga daerah tersebut dinamakan DAS (Soemarto, 1999). DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi garis-garis kontur. Pengukuran panjang sungai diukur melalui peta dengan beberapa kali pengukuran dan mengambil rata-ratanya.

Data hujan dapat diambil melalui rekaman data dari stasiun curah hujan yang ada di sekitar sungai atau DAS yang dikaji. Data yang diambil disarankan adalah data curah hujan jam-jaman. Namun jika data yang tersedia adalah data curah hujan harian, data tersebut dapat digunakan. Rata-rata aljabar, menghitung jumlah seluruh hujan yang ada pada satu waktu yang ada di masing-masing stasiun kemudian membaginya dengan jumlah stasiun yang ada.

- a. Metode Thiessen, menghitung besarnya curah hujan pada stasiun hujan tertentu dengan mengkorelasikan luas daerah yang dipengaruhi oleh stasiun hujan tersebut.
- b. Metode isohyet, menghitung besarnya curah hujan rata-rata dengan mengelompokkan nilai curah hujan yang sama dan membuat garis imajiner berdasarkan pengelompokan tersebut.
- c. Metode rata-rata aljabar, menjumlahkan curah hujan dari semua tempat pengukuran selama satu periode tertentu dan membaginya dengan banyaknya tempat pengukuran.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan mencari curah hujan maksimum, karena hanya memakai satu stasiun hujan.

2. Analisis Frekuensi

Hujan rencana merupakan kemungkinan tinggi hujan yang terjadi dalam kala ulang tertentu sebagai hasil dari suatu rangkaian analisis hidrologi yang biasa disebut frekuensi, analisis frekuensi merupakan prakiraan untuk terjadi suatu peristiwa hidrologi dalam bentuk hujan rencana yang berfungsi sebagai dasar perhitungan perencanaan hidrologi untukantisipasi setiap kemungkinan yang akan terjadi. Secara sistematis, metode analisis frekuensi perhitungan hujan rencana ini dilakukan secara berurutan, yaitu:

a. Parameter Statistik

Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi meliputi parameter nilai rata-rata (\bar{X}), simpangan baku (S), koefisien variasi (C_v), koefisien kemiringan (C_s), dan koefisien kurtosis (C_k). Perhitungan tersebut didasarkan pada data catatan tinggi hujan harian maksimum minimal 10 tahun terakhir dan untuk memudahkan perhitungan maka proses analisisnya dilakukan secara matriks dengan menggunakan tabel. Sementara untuk memperoleh harga parameter statistik dilakukan perhitungan dengan rumus dasar sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum y}{n},$$

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

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}}$$

$$C_s = \frac{n \sum (X - \bar{X})^3}{((n-1) \sum (X - \bar{X})^2)^{3/2}} \cdot \frac{n^2}{(n-1).(n-2)}$$

$$C_k = \frac{1/n \sum (X - \bar{X})^4}{(1/n \sum (X - \bar{X})^2)^2} \cdot \frac{n^2}{(n-1).(n-2).(n-2)}$$

\bar{X} = Tinggi hujan harian maksimum rata-rata selama n tahun

ΣX = Jumlah tinggi hujan harian maksimum selama n tahun

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

S = Simpangan baku

Cv = Koefisien variasi

Cs = Koefisien kemiringan

Ck = Koefisien kurtosis

Parameter statistik di atas akan menentukan jenis distribusi yang akan digunakan. Pemilihan distribusi sebaran ditentukan sesuai dengan syarat dan ketentuan yang berlaku. Berbagai macam distribusi teoritis yang kesemuanya dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Diskrit adalah binomial dan poisson. Sedangkan yang kontinyu adalah Normal, Log Normal, Pearson dan Gumbel (Soewarno, 1995). Syarat masing-masing jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Distribusi

| Jenis Distribusi | Syarat |
|----------------------------|--|
| Distribusi Normal | $Ck \leq 3$ |
| Distribusi Log Normal | $Cv \leq 0,06$ $Cs \leq 3Cv + Cv^2$ |
| Distribusi Gumbel | $Ck \leq 5,4002$ $Cs \leq 1,14$ |
| Distribusi log Pearson III | $Cs \sim 0$ $Cv \sim 0.05$ |

b. Uji Kecocokan sebaran data curah hujan

Uji sebaran dilakukan dengan uji keselarasan distribusi yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih, dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis (Soemarto, 1999).

Ada dua jenis uji keselarasan, yaitu uji keselarasan *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorof*. Pada tes ini biasanya yang diamati adalah perhitungan yang diharapkan.

1) Uji keselarasan *Chi Square*.

Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut, atau dengan membandingkan nilai *Chi Square* (X^2) dengan nilai *Chi Square* kritis (X^2_{cr}). Uji keselarasan *Chi Square* menggunakan rumus (Soewarno, 1995).

$$X^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Dimana:

X^2 = Harga *Chi Square* terhitung

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i

N = Jumlah data

Suatu distribusi dikatakan selaras jika nilai X^2 hitung $< X^2$ kritis. Nilai X^2 kritis dapat dilihat dilihat pada tabel *Chi Square*. Dari hasil pengamatan yang didapat dicari penyimpangannya dengan *Chi Square* kritis paling kecil. Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5 %. Derajat kepercayaan ini secara umum dihitung dengan rumus sebagai berikut (Soewarno, 1995):

$$Dk = n - 3$$

Dimana:

Dk = Derajat kepercayaan

N = Jumlah data

2) Uji keselarasan *Smirnov Kolmogorof*

Uji keselarasan *Smirnov Kolmogorof*, sering juga disebut uji keselarasan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal. Dari grafik plotting data curah hujan diperoleh perbedaan maksimum antara distribusi teoritis dan empiris Δ_{maks} . Dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta_{maks} = P_e - P_t$$

Dimana:

Δ_{maks} = Selisih data probabilitas teoritis dan empiris

P_t = Peluang teoritis

P_e = Peluang empiris

Kemudian dibandingkan antara Δ_{maks} dan Δ_{cr} dari tabel. Apabila $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$ maka pemilihan metode frekuensi tersebut dapat diterapkan untuk data yang ada.

c. Perhitungan Hujan Rencana

Berdasarkan pemilihan metode distribusi dan telah dilakukannya uji keselarasan, dilakukannya perhitungan curah hujan. Perhitungan curah hujan ditentukan berdasarkan metode distribusi yang telah diuji. Berikut adalah beberapa metode perhitungan curah hujan:

1. Distribusi normal

$$X_T = \bar{X} + K_T S$$

Dimana:

X_T = Hujan rencana dengan periode ulang T tahun

\bar{X} = Nilai rata-rata dari data hujan (x) mm

S = Standar deviasi dari data hujan (x) mm

K_T = Faktor frekuensi, nilainya tergantung nilai T

2. Distribusi log normal

$$\text{Log } X_T = (\text{Log } \bar{x}) + (K_T \cdot S \text{ Log } X)$$

Dimana:

$\text{Log } X_T$ = Nilai logaritma hujan rencana dengan periode ulang T

$(\text{Log } \bar{x})$ = Nilai rata-rata dari log X

$$\frac{\sum \text{Log } X_i}{n}$$

S Log X = Deviasi standar dari Log X

$$\frac{\sum (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n-1}$$

K_T = Faktor frekuensi, nilai tergantung dari nilai T

3. Distribusi log Person III

$$\text{Log } X_T = \text{log } \bar{x} + sK$$

Dimana:

\bar{x} = Harga rata-rata sampel

S = Standar deviasi

K = Variabel standar untuk X

4. Distribusi Gumbel

Gumbel menggunakan harga ekstrim untuk menunjukkan bahwa dalam deret harga-harga ekstrim $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ mempunyai fungsi distribusi eksponensial ganda.

$$P X = e^{-e^{-a(x-b)}}$$

Dimana:

$$e = \text{Bilangan alam} = 2.7182818$$

Kala ulang merupakan nilai banyaknya tahun rata-rata dimana suatu besaran disamai atau dilampaui oleh suatu harga, sebanyak satu kali. Hubungan antara periode ulang dan probabilitas dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$X_T = x + sK$$

Dimana:

$$X_T = \text{Hujan rencana (mm)}$$

$$X = \text{Nilai rata-rata dari hujan}$$

$$S = \text{Standar deviasi}$$

$$K = \text{Variabel standar untuk X}$$

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n}$$

$$Y_n = \text{Reduced mean yang tergantung jumlah sampel/data n}$$

$$S_n = \text{Reduced variate yang juga tergantung pada data jumlah sampel/data n}$$

$$a = \frac{S_n}{s}$$

$$b = \bar{x} \frac{Y_n S}{S_n}$$

3. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu (Lutjito, 2019). Besarnya intensitas hujan berbeda-beda, tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Intensitas hujan diperoleh dari cara melakukan analisis data hujan baik secara statistik maupun secara empiris. Berikut adalah perhitungan intensitas hujan:

- 1) Hujan dengan waktu < 2jam (Talbot, 1881 dalam Lutjito, 2019)

$$I = \frac{a}{t + b}$$

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Waktu hujan

a,b = Konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran

- 2) Hujan dengan waktu > 2 jam (Sherman, 1905 dalam Lutjito, 2019)

$$I = \frac{a}{t^n}$$

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Waktu hujan

a,b = Konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran

n = Banyaknya pasangan data I dan t

- 3) Pengembangan rumus “a” dan “b” (Ishiguro, 1953 dalam Lutjito,2019)

$$I = \frac{a}{\sqrt{t + b}}$$

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Waktu hujan

a,b = Konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran

4) Rumus intensitas hujan menurut metode Mononobe

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3}$$

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Waktu hujan

R₂₄ = Curah hujan maksimal

4. Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit maksimum di sungai atau saluran alamiah dengan periode yang sudah ditentukan yang dapat dialirkan tanpa membahayakan proyek irigasi dan stabilitas bangunan-bangunannya. Perhitungan debit banjir rencana dapat digunakan beberapa metode, diantaranya hubungan empiris antara curah hujan dengan limpasan. Metode ini paling banyak dikembangkan sehingga didapat beberapa rumus diantaranya sebagai berikut:

1) Metode Rasional

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \frac{24^{2/3}}{tc}$$

$$tc = \left(\frac{0.87 \times L^2}{1000 \times S}\right)^{0.385}$$

Dimana :

Q = Debit maksimum (m³/detik)

- C = Koefisien pengaliran (tabel)
- H = Beda tinggi (km)
- W = Kecepatan perambatan banjir (km/jam)
- A = Luas daerah aliran (DAS) km²
- L = Panjang sungai (km)
- tc = Waktu konsentrasi (jam)
- R₂₄ = Curah hujan maksimal (mm/jam)
- S = Kemiringan rata-rata
- I = Intensitas hujan

2) Metode Rasional Mononobe

$$Q = \frac{C \cdot R \cdot A}{3.6}$$

$$R = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3}$$

$$tc = \frac{L}{W}$$

$$W = 72 \left(\frac{H}{L}\right)^{0.6}$$

Dimana :

- Q = Debit maksimum (m³/detik)
- C = Koefisien pengaliran (tabel)
- H = Beda tinggi (km)
- W = Kecepatan Perambatan banjir (km/jam)
- A = Luas daerah aliran (DAS) km²
- L = Panjang sungai (km)
- tc = Waktu konsentrasi

R24 = Curah hujan maksimal (mm/jam)

R = Curah hujan (mm/jam)

3) Haspers

$$Q = \alpha\beta q_n A$$

$$t = 0.1 L^{0.8} \cdot I^{-0.3}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3.7 \times 10^{-0.4t}}{t^2 + 15}$$

$$\alpha = \frac{1 + (0.012 \times A^{0.70})}{1 + (0.075 \times A^{0.70})}$$

$$q_n = \frac{Rn}{3.6 \times t}$$

Dimana :

Q = Debit maksimum (m³/detik)

Rn = Curah hujan maksimum (mm/hari)

α = Koefisien pengaliran

β = Koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

q_n = Debit persatuan luas (m³/detik.km²)

t = Waktu konsentrasi (jam)

I = Kemiringan

4) Metode der Weduwen

$$Q = \alpha\beta q_n A$$

$$t = 0.25 L Q^{-0.125} \cdot I^{-0.25} \frac{0.476 \cdot f^{0.375}}{(\alpha\beta q)^{0.125} \cdot i^{0.25}}$$

$$\beta = \frac{120 + ((t+1)(t+9))A}{120 + A}$$

$$\alpha = 1 - \frac{4.1}{\beta q_n + 7}$$

$$q_n = \frac{67.65}{t + 1.45}$$

Dimana :

Q = Debit maksimum (m³/detik)

R_n = Koefisien pengaliran (tabel)

α = Koefisien pengaliran

β = Koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

q_n = Debit persatuan luas (m³/detik.km²)

L = Panjang sungai (km)

t = Waktu konsentrasi (jam)

I = Gradien sungai/medan

B. Pemodelan HEC-RAS

HEC-RAS merupakan perangkat lunak untuk memodelkan aliran di sungai. Sistem HEC-RAS memuat tiga komponen analisis hidrolika satu dimensi untuk (Istiarto, 2014):

1. Perhitungan profil muka air aliran seragam (*steady flow*), maupun aliran tidak seragam (*unsteady flow*).
2. Simulasi aliran seragam.

Kedua komponen tersebut akan menggunakan representasi data geometri serta perhitungan hidrolika dan geometri seperti pada umumnya. Langkah-langkah yang diperlukan dalam memodelkan penelusuran banjir adalah sebagai berikut:

1. Data sungai secara detail, lengkap dengan pengukuran memanjang dan melintang sungai, semakin detail data yang dimiliki, semakin baik hasil keluaran program HEC-RAS.
2. Data debit yang diperoleh dari hasil hitungan debit banjir metode Rasional, Rasional Mononobe, Haspers, Weduwen, dan Gama 1.
3. Proses penelusuran banjir terdiri dari pemodelan DAS dan karakteristiknya serta *me-running* program HEC-RAS dengan urutan sebagai berikut:
 - a. Memodelkan karakteristik sungai tersebut pada program HEC-RAS.
 - b. Memasukkan data hidrologi pada model berdasarkan data debit banjir yang telah dihitung.
 - c. Memasukkan data pasang surut air laut dibagian muara pada model.
 - d. Menentukan jenis aliran tetap pada program HEC-RAS.
4. Mengelola *out-put* data, hasil proses *running* berupa data keluaran penelusuran banjir yang antara lain terdiri dari:
 - a. Tinggi profil muka air pada masing-masing titik kontrol yang dilengkapi dengan besarnya debit pada setiap titik di grafik tersebut.
 - b. Data gambar pada masing-masing titik kontrol maupun keseluruhan sungai.

C. Bendung Kamijoro

Bendung Kamijoro terletak di Sungai Progo di Kabupaten Bantul, DIY. Berdasarkan administrasi bangunan ini terletak di Desa Sendangsari Kecamatan Pajangan Kabupaten Bantul, bangunan ini berfungsi sebagai pengambilan air irigasi dari Sungai Progo ke Daerah Irigasi Pijenan. Dimensi Bendung Kamijoro memiliki lebar bendung efektif sepanjang 153 m dengan debit rencana menggunakan metode

Gama 1 pada kala ulang 100 tahun sebesar 1994.40 m³/det, pada kala ulang 200 tahun sebesar 2123.50 m³/det, dan kala ulang 1000 tahun sebesar 2439 m³/det.

D. Kajian Penelitian yang Relevan.

Salah satu penelitian yang relevan dengan proyek akhir ini adalah skripsi yang ditulis oleh Harry Dicknasia Pratama dengan judul “Simulasi Profil Muka Air pada Bendung Mrican Menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0”. Hasil penelitian menunjukkan hasil perhitungan debit banjir rencana pada Bendung Mrican dengan kala ulang 100 tahun adalah sebesar 125.907 m³/det dengan selisih tinggi muka air banjir 0.48 m.

Persamaan penelitian terdahulu dengan yang penulis teliti adalah terletak pada metode perhitungan muka air banjir dengan menggunakan program HEC-RAS 5.0.5. Sedangkan perbedaannya yaitu penelitian yang dilakukan sebelumnya terletak pada lokasi dan metode perhitungan debit banjir rencana.