

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **II.1. Banjir Rencana**

Dalam perencanaan bangunan hidrolis, langkah awal perhitungan adalah menentukan debit yang digunakan sebagai dasar pertimbangan atau banjir yang diperhitungkan. Untuk itu dipertimbangkan tentang banjir dengan suatu jangka waktu ulang (*return period*) tertentu, yang diartikan sebagai besarnya banjir yang dalam jangka waktu ulang itu satu kali akan disamai atau dilampaui.

Penetapan banjir rencana untuk perencanaan bangunan-bangunan hidrolis dapat dilakukan dengan berbagai cara tergantung dari ketersediaan data. Makin baik data yang tersedia, dari segi kuantitas maupun kualitas maka memberikan kemungkinan penggunaan cara analisis yang diharapkan dapat memberikan hasil perkiraan yang lebih baik.

#### **II.2. Analisis Frekuensi**

Analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data yang didapat dari rekaman data curah hujan maupun data debit. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data yang tersedia untuk memperoleh data probabilitas besaran hujan/debit di masa yang akan datang. Dalam analisis ini diandaikan bahwa sifat statistik data yang akan datang masih sama dengan sifat statistik data yang dipakai dalam analisis saat ini. Secara fisik dapat diartikan bahwa sifat klimatologis dan sifat hidrologis DAS diharapkan masih sama. Hal ini merupakan sesuatu yang

tidak dapat diketahui sebelumnya, terlebih apabila dikaitkan dengan tingkat aktivitas manusia (*human activity*).

Dalam analisis frekuensi digunakan berbagai sebaran yaitu :

1. Sebaran Normal.

Sebaran normal ini mempunyai fungsi kerapatan kemungkinan

(*Probability Density Function*) :

$$P'(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

dengan  $\sigma$  = variansi (s)

$\mu$  = harga tengah/mean ( $\bar{x}$ )

Sifat khusus lain, bahwa besarnya asimetrik (*skewness*)  $\gamma = 0$ , dengan kurtosis  $3\sigma^2$

Disamping itu, kemungkinan (*probability*)

$$P(\bar{x} - \sigma) = 15,87\%$$

$$P(\bar{x}) = 50\%$$

$$P(\bar{x} + \sigma) = 84,14\%$$

2. Sebaran Log Normal (Log Normal 2 Parameter, dan Log Normal 3 Parameter).

Untuk sebaran Log Normal 2 Parameter fungsi kerapatan kemungkinannya adalah :

$$P'(x) = \frac{1}{x\sigma_n\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_n}{\sigma_n}\right)^2\right\} \text{ dengan :}$$

$$\mu_n = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{\mu^4}{\mu^2 + \sigma^2} \right)$$

$$\sigma_n^2 = \ln \left( \frac{\sigma^2 + \mu^2}{\mu^2} \right)$$

Persamaan garis kemungkinannya,

$$X_T = \bar{x} + K\sigma$$

dengan

$X_T$  = besarnya variabel dengan jangka waktu ulang T tahun

$\bar{x}$  = harga tengah (*mean*)

K = faktor frekuensi ..... (Lampiran III.1)

$\sigma$  = penyimpangan standar (*standar deviation*)

Untuk sebaran Log Normal 3 Parameter, parameter sebaran ini adalah  $\mu_n$ ,  $\sigma_n$  dan A, sedangkan nilai asimetrik :  $\gamma = \eta_{v^3(x-A)} + 3\eta_{v(x-A)}$  dan A =

$$\mu \left( 1 - \frac{\eta_v}{\eta_{v(x-A)}} \right)$$

Persamaan garis kemungkinannya  $X_T = \mu + K\sigma$ , dengan faktor frekuensi K disajikan dalam lampiran III.2.

### 3. Sebaran Log Pearson III.

Fungsi kerapatan kemungkinannya adalah :

$$P'(x) = PO'(x) \left( 1 + \frac{x}{z} \right)^C . e^{-\frac{Cx}{a}}, \text{ dengan parameter-parameter :}$$

$$C = \frac{4}{\beta_1} - 1$$

$$a = \frac{C \mu_{3c}}{2 \mu_{2c}}$$

$$P_{\beta}^{\cdot}(x) = \frac{n}{a_2} \frac{C^{c+1}}{e^c + c + 1}$$

Sedangkan  $\beta_1 = \frac{\mu_{3c}^2}{2\mu_{2c}}$  dan  $-a \leq x \leq \sim$

Besarnya logaritma hujan dengan jangka waktu ulang yang dipilih :

$\ln X_T = \overline{(\ln x)} + G.S_1$ , dengan harga G diperoleh dari Lampiran III.3 dan III.4.

$X_T$  didapatkan dengan mencari antilogaritma dari  $\ln X_T$

#### 4. Sebaran Gumbel Tipe 1.

Sebaran ini mempunyai fungsi distribusi exponential ganda :

$$P(X) = e^{-e^{-A(x-B)}}$$
 dengan A dan B sebagai parameternya. Bila

disubstitusikan harga  $Y = A(x - B)$ , maka :  $P(Y) = e^{-e^{-Y}}$ .

Sesuai dengan persamaan umum yang dikemukakan Chow (1964)

untuk satu seri data hidrologi, bahwa :  $X = \mu + \sigma K$ , maka rumus tersebut dapat

didekati dengan  $X = \bar{X} + sK$  dimana  $\bar{X}$  = harga rata-rata sampel

$s$  = penyimpangan baku sampel

Faktor frekuensi K untuk harga –harga ekstrim Gumbel ditulis

dengan rumus berikut ini :  $K = \frac{Y_T - y_n}{s_n}$  dimana :

$Y_T = \text{reduced variate}$

$y_n = \text{reduced mean}$  yang tergantung dari besarnya sampel n

$s_n = \text{reduced standar deviation}$  yang tergantung dari besarnya sampel n

Hubungan antara  $y_n$  dan  $s_n$  dengan  $n$  ditunjukkan oleh tabel pada Lampiran III.6, sedangkan hubungan antara waktu balik dengan *reduced variate* ditunjukkan oleh tabel pada Lampiran III.7.

Variabel-variabel yang digunakan untuk menentukan jenis sebaran adalah :

$$C_s = \text{asimetri (skewness)} = \frac{n}{(n-1)(n-2)s^3} \sum (x - \bar{x})^3$$

$$C_k = \text{kurtosis} = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \sum (x - \bar{x})^4$$

$$C_v = \text{koefisien variasi} = \frac{s}{\bar{x}}$$

$$\bar{x} = \text{nilai tengah (mean)} = \frac{\sum x}{n}$$

$$s = \text{standar deviasi} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}}$$

$n$  = jumlah varian

**Tabel II .2.1. Pemilihan Jenis Sebaran**

No	Sebaran	Syarat
1	Normal	$C_s = 0$
2	Log Normal	$C_s \approx 3C_v$ atau $\frac{C_s}{C_v} \approx 3$
3	Gumbel Tipe I	$C_s = 1,1396$ $C_k = 5,4$
4	Log Pearson III	Tidak termasuk di atas $C_s < 0$

Setelah diperoleh hasil yang diinginkan, kemudian dilakukan pengujian. Pengujian ini sering disebut dengan pengujian kecocokan (*testing of goodness of fit*). Hal ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian Chi-kuadrat dan pengujian Smirnov-Kolmogorov.

Pengujian Chi-kuadrat dilakukan dengan persamaan :

$$X^2 = \sum \frac{(E_f - O_f)^2}{E_f}$$

$X^2$  = harga Chi-kuadrat

$E_f$  = Frekuensi (banyaknya pengamatan) yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

$O_f$  = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

Nilai  $X^2$  yang didapat harus lebih kecil daripada harga  $X^2_{cr}$  (Chi-kuadrat kritik) yang didapat dari tabel distribusi  $X^2$ . (Lampiran III)

Pengujian kecocokan yang lebih sederhana dilakukan dengan uji Smirnov-Kolmogorov. Uji dilakukan dengan membandingkan kemungkinan untuk tiap variat dari distribusi empiris dan teoritisnya akan terdapat perbedaan tertentu.

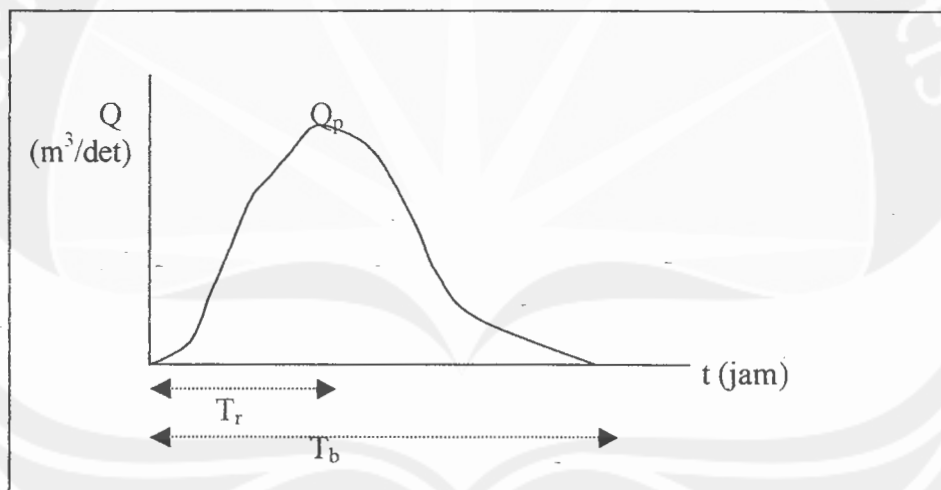
Persamaan yang mendasarinya adalah  $P_{\max} |P(x) - P(x_i)| \geq \Delta_{cr} = \alpha$

Apabila harga  $\Delta_{\max}$  yang terbaca pada kertas kemungkinan lebih kecil (<) daripada  $\Delta_{cr}$  yang didapat dari tabel kritik  $\Delta$  untuk tes Smirnov-Kolmogorov yang terdapat pada lampiran III untuk satu derajat nyata dan banyaknya variat yang tertentu, maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi hanya karena kesalahan-kesalahan yang terjadi secara kebetulan.

### II.3. Analisis Hidrograf

Hidrograf satuan diperoleh dengan cara memisahkan aliran dasar dari hidrograf total, sehingga diperoleh hidrograf limpasan langsung yang mempunyai volume sama dengan volume lebih hujan. Hidrograf satuan yang khas diperoleh dengan cara merata-ratakan hidrograf satuan yang diturunkan dari beberapa kasus kejadian.

Bentuk hidrograf satuan dapat ditandai oleh tiga sifat dasarnya, yaitu waktu puncak (*time to peak*), debit puncak (*peak discharge*), dan waktu dasar (*base time*), seperti ditunjukkan oleh Gambar II.1.



Gambar II.1. Gambar bentuk hidrograf satuan

Waktu puncak ( $T_p$ ) adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai saat terjadinya debit puncak. Debit puncak ( $Q_p$ ) adalah debit maksimum yang terjadi. Waktu dasar ( $T_b$ ) adalah waktu yang diukur dari hidrograf mulai naik sampai saat kembali pada besaran tertentu yang ditetapkan.

Untuk membuat hidrograf banjir pada sungai-sungai yang tidak ada atau sedikit sekali dilakukan observasi hidrograf banjirnya, maka perlu dicari karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut lebih dahulu, misalnya lebar dasar, luas, kemiringan, panjang alur terpanjang (*length of the longest channel*), koefisien limpasan (*runoff coefficient*) dan sebagainya. Untuk itu digunakan rumus hidrograf satuan sintetik yang telah dikembangkan di negara lain yang kemudian parameternya disesuaikan dengan kondisi wilayah kita.

Ada dua macam hidrograf satuan sintetik yang sering dipergunakan, yaitu :

1. Hidrograf Satuan Sintetik SNYDER
2. Hidrograf Satuan Sintetik NAKAYASU

### II.3.1. Hidrograf Satuan Sintetik SNYDER

Unsur-unsur hidrograf satuan sintetik SNYDER adalah :

A = luas daerah pengaliran (km<sup>2</sup>)

L = panjang aliran utama (km)

L<sub>c</sub> = jarak antara titik berat daerah pengaliran dengan pelepasan (outlet) yang diukur sepanjang aliran utama.

Untuk pemakaian di Indonesia rumus-rumus SNYDER yang didasarkan pada unsur-unsur di atas telah banyak mengalami perubahan. Rumus-rumus yang telah dimodifikasi tersebut adalah sebagai berikut :

$$t_p = C_1(L.L_c)^n$$

$$t_e = \frac{t_p}{5,5}$$



bila  $t_e > t_r$  maka  $t'_p = t_p + 0,25 (t_r - t_e)$ , hingga  $T_p = t'_p + 0,25$

bila  $t_e < t_r$  maka  $T_p = t_p + 0,25$

$$q_p = 0,278 \frac{C_p}{T_p} \text{ dan } Q_p = q_p \cdot A \text{ untuk hujan 1mm/jam}$$

$t_r = 1$  jam

$t_e$  = durasi curah hujan efektif

$q_p$  = puncak hidrograf satuan ( $m^3/det/mm/km$ )

$Q_p$  = debit puncak ( $m^3/det/mm$ )

$t_p$  = waktu antara titik berat curah hujan hingga puncak (*time lag*) dalam jam

$T_p$  = waktu yang diperlukan antara permulaan hujan hingga mencapai puncak hidrograf

Dalam menggunakan rumus SNYDER diperlukan beberapa kalibrasi terhadap parameter-parameternya. Untuk mempercepat proses tersebut diberikan rumus ALEXEJEV sebagai berikut :

$$Q = f(t)$$

$$Y = \frac{Q}{Q_p} \text{ dan } X = \frac{t}{T_p}$$

$$Y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}} \text{ dengan } a \text{ diperoleh dari persamaan berikut ini}$$

$$\lambda = \frac{Q_p T_p}{hA} \text{ dengan } h = \text{tinggi hujan} = 1 \text{ mm}$$

$$a = 1,32\lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045$$

Untuk menghitung kehilangan dimasukkan rumus HORTON yaitu :

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \text{ dengan } f_p = \text{daya infiltrasi pada saat } t$$

$$f_0 = \text{daya infiltrasi mula}$$

$f_c$  = nilai akhir  $f$

$k$  = konstanta

$e$  = bilangan alam = 2,718218...

untuk mendapatkan  $f_p$ ,  $f_0$ , dan  $k$  diperlukan kalibrasi dimana  $f_p$  tergantung pada curah hujan sedangkan  $f_0$  mempunyai nilai yang berbeda untuk masing-masing keadaan banjir.

### II.3.2. Hidrograf Satuan Sintetik NAKAYASU

Rumus yang dihasilkan oleh NAKAYASU berdasarkan penyelidikannya terhadap sungai-sungai di Jepang adalah :

$$C_p = \frac{CAR_0}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \text{ dengan}$$

$Q_p$  = debit puncak banjir ( $m^3/det$ )

$R_0$  = hujan satuan (mm)

$T_p$  = tenggang waktu (*time lag*) dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$  = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak

$$Q_a = Q_p \left( \frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \text{ dengan}$$

$Q_a$  = limpasan sebelum mencapai debit puncak

$t$  = waktu (jam)

Lengkung S adalah hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan menerus (*continous rainfall*). Lengkung S didapat dari hidrograf satuan

daerah pengaliran sungai dengan periode tertentu. Efek dari hujan menerus terhadap daerah pengaliran didapat dengan menjumlahkan ordinat-ordinat deretan hidrograf. Setiap ordinat masing-masing hidrograf digeser satu periode.

Ordinat maksimum lengkung S dinamakan debit keseimbangan dan

jika  $d = 1$  cm besarnya sama dengan  $Q_{maks} = \frac{2,78A}{t_1}$  dimana

A = luas daerah pengaliran ( $km^2$ )

$t_1$  = durasi hujan hidrograf satuan (jam)

$Q_{maks}$  dalam  $m^3/det.$

Dari hidrograf yang juga memuat aliran dasar kuantitas debit dapat dicari dengan rumus  $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$

$Q_t$  = debit pada akhir periode

$Q_0$  = debit pada awal periode

$\alpha$  = koefisien akuifer

e = bilangan dasar.

Untuk membuat hidrograf satuan bagi sungai-sungai di pulau Jawa, Dr.Ir.Sri Harto Br,Dip.H mengembangkan Hidrograf Satuan Sintetik GAMA I. Rumusan HSS GAMA I dikembangkan berdasarkan hubungan antara tiga sifat pokok hidrograf satuan yaitu waktu puncak ( $T_p$ ), debit puncak ( $Q_p$ ), dan waktu dasar ( $T_b$ ) dengan sifat fisik DAS.

Persamaan yang digunakan dalam pembuatan hidrograf satuan menurut HSS GAMA I adalah :

a. Waktu naik, TR

$$TR = 0,43 \left( \frac{L}{100.SF} \right)^3 + 1,0665.SIM + 1,2775$$

b. Debit puncak, QP

$$QP = 0,1836A^{0,5886} JN^{0,2381} TR^{-0,4008}$$

c. Waktu dasar, TB

$$TB = 27,4132 TR^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574}$$

d. Koefisien Tampungan, K

$$K = 0,5617 A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452}$$

e. Aliran dasar, QB

$$QB = 0,4751 A^{0,6444} D^{0,9430}$$

f. Sisi naik hidrograf satuan dianggap sebagai garis lurus.

g. Sisi resesi, Qt

$$Qt = QP.e^{-t/K}$$

Dimana :

TR = waktu puncak, dalam jam

QP = debit puncak, dalam m<sup>3</sup>/det

TB = waktu dasar, dalam jam

L = panjang sungai utama, dalam km

A = luas DAS, dalam km<sup>2</sup>

S = kemiringan sungai utama

SR = faktor sumber

SN = frekuensi sumber

WF = faktor lebar, yaitu perbandingan antara lebar DAS yang diukur dari titik di sungai yang berjarak 0,75L dengan lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0,25L dari stasiun pengukur debit, dalam km/km.

RUA = luas DAS di sebelah hulu, yaitu perbandingan luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun pengukur debit dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS (dalam  $\text{km}^2/\text{km}^2$ ).

SIM = faktor simetri, yaitu hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA), tanpa dimensi.

JN = jumlah pertemuan sungai, yaitu jumlah semua pertemuan sungai di dalam DAS, yang nilainya sama dengan jumlah sungai-sungai tingkat satu dikurangi satu.

K = koefisien tampungan, dalam jam.

D = kerapatan drainasi, dalam  $\text{km}/\text{km}^2$ .

Qt = debit yang diukur pada jam ke-t sesudah debit puncak, dalam  $\text{m}^3/\text{det}$ .

t = waktu yang diukur dari saat terjadinya debit puncak, dalam jam.