



BAB III

KAJIAN PUSTAKA

Air merupakan unsur utama bagi hidup kita di planet ini. Kita mampu bertahan hidup tanpa makan dalam beberapa minggu, namun tanpa air kita akan mati dalam beberapa hari saja. Dalam bidang kehidupan ekonomi modern kita, air juga merupakan hal utama untuk budidaya pertanian, industri, pembangkit tenaga listrik, dan transportasi.

Air merupakan kebutuhan pokok yang diberikan oleh Tuhan Yang Maha Esa dan patut kita syukuri serta memanfaatkannya guna kemakmuran dan kesejahteraan masyarakat banyak. Pemanfaatan serta penggunaan secara teratur berdasarkan rencana yang serasi dan seimbang untuk dapat memenuhi kebutuhan berbagai macam keperluan dan kepentingan.

Sungai mempunyai peranan yang sangat besar bagi perkembangan peradaban manusia diseluruh dunia, yakni dengan menyediakan daerah-daerah subur yang umumnya terletak di lembah-lembah sungai dan sumber air sebagai sumber kehidupan yang paling utama bagi kemanusiaan.

Meskipun air dapat digunakan bagi kemakmuran dan kesejahteraan manusia, tetapi air juga dapat menjadi lawan yang dahsyat sehingga dapat merusak dan menghancurkan kehidupan manusia. Jika kita tidak dapat mengatur, memanfaatkan dan mengendalikannya sebaik mungkin. Salah satu permasalahan yang sering kita temukan berkaitan dengan air merupakan bencana banjir. Dan salah satu permasalahan yang paling sulit diatasi di berbagai daerah di Indonesia. Banjir ini menimbulkan kerusakan dan kerugian baik harta benda maupun korban jiwa.

Banjir adalah suatu keadaan aliran sungai, dimana permukaan airnya lebih tinggi daripada ketinggian tertentu (pada umumnya sama ditetapkan sama dengan titik tinggi bantaran sungai).

Masalah banjir timbul akibat interaksi dari peristiwa alam dan kegiatan manusia. Peristiwa alam yang dapat menimbulkan masalah banjir, antara lain

masalah curah hujan, kondisi topografi pada dataran banjir, kondisi geometrik alur sungai, agradasi dasar sungai, kondisi muara sungai dan sebagainya.

Kegiatan manusia yang menyebabkan terjadinya masalah banjir, antara lain : penyempitan alur sungai akibat pemukiman sepanjang sungai, pemanfaatan lahan dataran banjir yang tidak memperhitungkan kemungkinan terjadinya banjir, debit puncak banjir dan volume sediment yang meningkat akibat lahan di hulu sungai, kurangnya kesadaran masyarakat, dan sebagainya.

Sekiranya masalah banjir ini mendapat perhatian yang serius dalam penanggulangannya dari sedini mungkin oleh berbagai pihak terutama pemerintah dan umumnya seluruh masyarakat Indonesia.

3.1 Hidrologi

Analisa hidrologi digunakan sebagai metode untuk menentukan debit banjir rencana. Selain itu juga berfungsi untuk memeriksa debit banjir yang terjadi pada sungai.

Debit banjir adalah besarnya aliran sungai yang diukur dalam satuan (m^3/det) pada waktu banjir. *Debit banjir rencana* adalah debit banjir yang dipergunakan sebagai dasar untuk merencanakan kemampuan dan ketahanan suatu bangunan pengairan yang akan dibangun pada suatu alur sungai.

Dalam hal ini data hasil analisa hidrologi yang diambil sebagai acuan dalam perhitungan perencanaan tanggul berdasarkan curah hujan. Dengan demikian untuk memperkirakan besarnya curah hujan yang akan terjadi pada suatu daerah hanya dapat dilakukan berdasarkan pengukuran besarnya curah hujan pada waktu-waktu tertentu di masa yang lalu.

3.1.1 Metode-metode perhitungan curah hujan

Curah hujan adalah besarnya jumlah air hujan yang jatuh pada suatu daerah dalam satuan mm. Curah hujan yang jatuh pada daerah aliran sungai memerlukan data-data dari hasil pengamatan. *Hujan ekstrim* adalah curah hujan maksimum dalam waktu satu tahun (jumlah yang terbesar dalam waktu 24 jam) untuk periode pengamatan tertentu. Hujan ekstrim dimaksudkan untuk

mengetahui besarnya banjir rencana pada suatu daerah pengaliran dalam merencanakan bangunan tanggul. *Hujan rata-rata* adalah jumlah atau banyaknya curah hujan pada suatu daerah pengamatan tertentu dibagi oleh banyaknya pengamatan. *Interval hujan* adalah banyaknya jumlah curah hujan yang jatuh pada batas waktu tertentu pula. Satuan hujan yang banyak dipakai adalah mm / jam.

Untuk mencari harga satuan besarnya curah hujan dengan periode ulang tertentu suatu daerah, hasil-hasil pencatatan di pos penakar curah hujan dilakukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut :

- a. Pola curah hujan tiap jam dari data-data catatan curah hujan harian
- b. Pola curah hujan daerah (areal rainfall) yang biasanya dihitung dengan cara :
 - Curah hujan rata-rata arithmetic (arithmetic mean)
 - Polygon Thiessen
 - Isohyet
- c. Pola curah hujan pada suatu titik yang diubah menjadi pola hujan suatu daerah pengaliran disekeliling titik tersebut (point rainfall to catchment rainfall), yang dihitung dengan cara sebagai berikut :
 - Cara Melchior
 - Cara Weduwen
 - Cara Haspers
- d. Pola analisa frekuensi (frequency analysis) dengan perhitungan-perhitungan statistic sebagai berikut :
 - Distribui normal (normal distribution)
 - Distribusi normal logaritmis (log normal distribution)
 - Harga extreme Gumble (Gumble extreme value)
 - Logaritma Person type III
 - Pemeriksaan kecocokan (testing the goodness of fitness)
- e. Analisa regional
- f. Probable maximum precipitation

Dengan melakukan ke enam analisa curah hujan tersebut di atas, maka dapat diketahui karakteristik curah hujan suatu daerah pengaliran yang hasilnya akan sangat berguna untuk melakukan perhitungan hidrologi selanjutnya, termasuk

perhitungan untuk memperoleh debit banjir pada titik-titik tertentu sebuah sungai.

1. Menaksir pola curah hujan tiap jam dari data-data curah hujan harian

Untuk meramalkan besarnya debit banjir yang lebih mendekati kenyataan perlu didasarkan pada catatan curah hujan setiap jam, yang datanya hanya dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis.

Dalam mengatasi masalah ini, seorang hydrolog Jepang, Tanimoto mengadakan studi lanjutan yang didasarkan pada hasil-hasil studi Boerema dan diperoleh hujan lebat harian di pulau Jawa dengan distribusi berjam-jam.

2. Curah hujan daerah

Guna menghitung curah hujan daerah, dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu sebagai berikut :

a. Cara peritungan rata-rata

Hal ini merupakan cara paling sederhana, biasanya digunakan untuk daerah yang datar dengan jumlah pos penakar hujan yang cukup banyak dan dengan anggapan bahwa curah hujan di daerah tersebut bersifat uniform (uniform distribution), dengan rumus sebagai berikut :

$$R_{ave} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n}$$

Dimana : R_{ave} = Curah hujan rata-rata

R_1, R_2, \dots, R_n = Besar curah hujan pada masing-masing pos

n = banyaknya pos hujan

b. Cara Polygon Thiessen

Cara ini diperoleh dengan membuat poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis hubung dua pos penakar hujan. Dengan demikian setiap pos penakar hujan R_n akan terletak pada suatu wilayah poligon tertutup dengan luas A_n . Dengan menghitung % luas untuk setiap pos = A_n / A dimana A adalah luas daerah pengaliran (daerah penampungan) dan

memperbanyak dengan harga curah hujan R_n , maka $R_n \times (A_n / A)$ ini menyatakan curah hujan berimbang.

Curah hujan rata-rata diperoleh dengan cara menjumlahkan curah hujan berimbang ini untuk semua luas yang terletak di dalam batas daerah penampungan. Apabila ada n buah pos penakar hujan di dalam daerah penampungan dan sekiranya mempengaruhi daerah penampungan, maka curah hujan rata-rata (R_{ave}) adalah :

$$R_{ave} = \sum_1^n \frac{A_n}{A} R_n$$

c. Cara Isohit

Isohit adalah garis lengkung yang menunjukkan harga curah hujan yang sama. Umumnya sebuah garis lengkung menunjukkan angka yang bulat. Isohit ini diperoleh dengan cara interpolasi harga-harga curah hujan yang tercatat pada pos penakar hujan local (R_{nt}). Dengan demikian dapat kiranya dijelaskan bahwa pada polygon Thiesen, garis-garis batas poligonnya tidak berubah, sedang pola Isohit berubah-ubah dengan terjadinya perubahan-perubahan harga R_{nt} .

Urutan perhitungan sebagai berikut :

- Luas area diantara dua buah Isohit diukur dengan planimeter

$$A_{n, n-1}$$

- Curah hujan rata-rata antara dua buah Isohit

$$\bar{R}_{n, n-1, t}$$

- Volume hujan pada Isohit n

$$\bar{R}_{n, n-1, t} \times A_{n, n-1}$$

- Volume seluruhnya

$$\sum_0^n (\bar{R}_{n, n-1, t} \times A_{n, n-1})$$

- Curah hujan rata-rata

$$\bar{R}_{ave} = \frac{\sum_0^n (\bar{R}_{n, n-1, t} \times A_{n, n-1})}{A}$$

Untuk kondisi Indonesia, cara kedua merupakan cara yang cukup memadai, walaupun demikian keempat cara lainnya dapat pula digunakan.

3. Hubungan antara tinggi curah hujan pada suatu titik dengan curah hujan daerah

a. Cara Melchior

Transfer hujan pada suatu titik di dalam daerah pengaliran ke curah hujan daerah pengaliran yang bersangkutan (point rainfall to catchment rainfall) dinyatakan dengan koefisien reduksi (reduction coefficient) dalam rumus sebagai berikut :

$$F = \frac{1970}{\beta - 0,12} - 3960 + 1720\beta$$

$$\bar{R} = \beta.F$$

Dimana : F = Luas daerah pengaliran

β = Koefisien reduksi

b. Cara Weduwen

Koefisien reduksi β dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$q = f(F \cdot i)$$

$$t = \frac{67,65 - 1,45q}{q}$$

$$\beta = \frac{20 + \frac{t+1}{t+9} F}{120 + F}$$

Dimana :

q = Run off per satuan luas ($m^3 / det / Km^2$), hubungannya dengan F dan i dinyatakan dengan table.

F = Luas daerah pengaliran (Km^2)

i = Gradien sungai

t = Durasi yang dominan dari hujan yang mengakibatkan banjir (jam).

c. Cara Haspers

Koefisien reduksi diperoleh dari rumus-rumus sebagai berikut :

$$t = 0,1 L^{0,8} \cdot i^{-0,3}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7 \cdot 10^{-0,4}}{t^2 + 15} \times \frac{F^{0,75}}{12}$$

Dimana :

t = Durasi yang dominan dari hujan yang mengakibatkan banjir (jam)

L = Panjang sungai (Km)

i = Gradien sungai

F = Luas daerah pengaliran (Km²)

3.1.2 Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana pada setiap profil sungai merupakan data yang paling penting untuk perencanaan dan perbaikan sungai.

Debit banjir rencana pada setiap profil sungai ditetapkan, setelah diadakan perhitungan statistik dari data yang tercatat disesuaikan dengan tingkat pengamanan banjir yang diinginkan.

Biasanya data debit dari sungai yang akan ditangani jarang yang mencukupi, sehingga debit banjir harus dihitung dari data curah hujan. Untuk perhitungan ini, formula rasional hanya digunakan apabila dibutuhkan debit maksimumnya saja. Untuk pengendalian banjir atau untuk mengetahui debit suatu anak sungai, selain dari debit maksimum, perlu pula ditetapkan hidrograf banjir rencana menggunakan cara hidrograf satuan atau cara fungsi penampungan. Angka debit banjir rencana yang sesuai untuk suatu sungai harus ditentukan sebelum dilakukan tahapan perencanaan selanjutnya. Akan tetapi, untuk menentukan besarnya debit banjir rencana tersebut bukanlah pekerjaan yang mudah, lebih-lebih jika dikaitkan dengan tingkat pengembangan daerah-daerah yang diamankan.

Dalam penetapan curah hujan rencana, terdapat beberapa masalah teknis yang perlu diperhatikan, yakni untuk sungai dengan daerah pengalirannya yang luas, terjadinya hujan rencana untuk seluruh daerah pengaliran tidak dapat

dihitung. Dalam keadaan demikian curah hujan rencana dihitung dengan menggunakan beberapa pola hujan dari hasil analisa data yang pernah tercatat. Sesuai dengan prosedur diatas, debit banjir rencana yang mengalir dari tiap anak sungai ditetapkan terlebih dahulu dan debit banjir rencana dihitung dengan penjumlahan kurva debit anak sungai dan sungai utamanya serta kemungkinan adanya pemotongan debit oleh waduk pengendali banjir.

Apabila peta alokasi debit banjir rencana sudah diperoleh, maka untuk setiap ruas sungai akan ditentukan tinggi muka air.

Cara menghitung debit banjir rencana tergantung pada data yang tersedia :

- a. Apabila data debit yang tersedia cukup panjang, maka debit banjir rencana dapat dihitung langsung dengan menggunakan cara-cara statistik.
- b. Apabila data debit banjir tidak terlalu panjang, tetapi data hujan tersedia cukup panjang, maka debit banjir rencana tidak dapat dihitung dengan cara langsung. Berdasarkan data hujan yang ada terlebih dahulu dihitung hujan rencana dengan menggunakan cara statistik. Kemudian debit rencana dihitung dengan menggunakan metode-metode tertentu.
- c. Apabila data debit dan data hujan dari daerah penampungan tidak cukup panjang, debit banjir rencana dapat dikira-kira dengan cara perhitungan angka wilayah atau biasa disebut "Regional Analysis".

Perubahan kondisi permukaan air sungai dalam jangka waktu yang panjang akan dapat diketahui dengan mengadakan pengamatan permukaan air sungai itu dalam jangka waktu yang panjang. Debit sungai juga dapat diperoleh dari permukaan air sungai tersebut. Dalam persoalan pengendalian sungai, permukaan air sungai yang sudah dikorelasikan dengan curah hujan dapat membantu mengadakan penyelidikan data untuk pengendalian banjir.

Hasil perhitungan debit banjir berbeda-beda tergantung dari metode yang digunakan. Perhitungan dengan menggunakan metode-metode Melchior, Weduwen, Haspers dan Rational (dari Jepang) hanya akan menghasilkan suatu angka debit yaitu puncak banjirnya saja. Metode unit Hydrograph menghasilkan suatu Hydrograph. Perhitungan dengan menggunakan Cossar Model dapat menghasilkan suatu deretan Hydrograph.

1. Cara Perhitungan Melchior

Dasar dari metode ini adalah Rational. Bentuk persamaan diambil berdasarkan persamaan Pascher :

$$Q_{\max} = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot f$$

Dimana : α = Run off coefficient

$$\beta = \text{Reduction coefficient} \approx \frac{\text{hujan rata-rata}}{\text{hujan maksimum}}$$

(pada daerah dan waktu yang sama)

q = Intensitas hujan ($\text{m}^3 / \text{Km}^2 / \text{sec}$)

f = Luas daerah pengaliran (Km^2)

Q_{\max} = Debit maksimum

Dengan prosedur perhitungan :

$$q = f(F, T)$$

$$T = \frac{1000L}{v}$$

$v = f(\alpha, \beta, q, f, i)$ dinyatakan secara grafis.

Perhitungan dilakukan dengan cara "Trail and error". Pertama-tama ditaksir nilai q dengan table 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1

Nilai intensitas hujan (q) metode Melchior

nF	q	nF	q	nF	q
0,14	29,6	144	4,79	720	2,3
0,72	22,45	216	4,6	1080	1,85
1,4	19,90	288	3,6	1440	1,93
7,2	14,15	360	3,3	2160	1,2
14,0	11,85	432	3,05	2880	1,0
29,0	9,00	504	2,85	4320	0,7
72,0	6,25	576	2,63	5760	0,54
108,0	5,25	653	3,45	7200	0,48

Grafik hanya untuk $\alpha = 0,52$

Untuk $\alpha \neq 0,52$ harga v harus dikalikan dengan $\left(\frac{\alpha}{0,52}\right)^{1/5}$

Harga q ini kemudian dikoreksi, dengan table 3.2 koreksi seperti di bawah ini :

Tabel 3.2

Tabel koreksi harga q

T menit	Peninggian (%)	T menit	Peninggian (%)
0 - 40	2	1330 - 1420	18
40 - 115	3	1420 - 1510	19
115 - 190	4	1510 - 1595	20
190 - 270	5	1595 - 1680	21
270 - 360	6	1680 - 1770	22
360 - 450	7	1770 - 1860	23
450 - 540	8	1860 - 1950	24
540 - 630	9	1950 - 2035	25
630 - 720	10	2035 - 2120	26
720 - 810	11	2120 - 2210	27
810 - 895	12	2210 - 2295	28
895 - 980	13	2295 - 2380	29
980 - 1070	14	2380 - 2465	30
1070 - 1150	15	2465 - 2550	31
1150 - 1240	16	2550 - 2640	32
1240 - 1330	17	2640 - 2725	33

2. Cara Perhitungan Haspers

dasar metode ini sama dengan dua metode sebelumnya yaitu metode rational.

$$Q_T = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot f$$

α = Run off coefisien

β = Reduction coefisien

q = Intensitas hujan yang diperhitungkan ($m^3/Km^2/det$)

f = Luas daerah pengaliran

Q_T = Debit dengan kemungkinan ulang T tahun

Prosedur perhitungan :

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot f$$

$$\alpha = \frac{1 + 0,012 f^{0,7}}{1 + 0,075 f^{0,7}}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7 \cdot 10^{-0,4t}}{t^2 + 15} \times \frac{f^{0,75}}{12}$$

$$t = 0,1 L^{0,8} i^{-0,3}$$

$$q = \frac{\rho}{3,6 \cdot t} \quad (\text{t dalam jam})$$

$$q = \frac{\rho}{86,4 \cdot t} \quad (\text{t dalam hari})$$

$$rt = \frac{tR}{t+1 - 0,0008(260-R)(2-t)^2} \quad (\text{untuk } t < 2 \text{ jam})$$

$$rt = \frac{tR}{t+1} \quad (\text{untuk } 2 \text{ jam} < t < 19 \text{ jam})$$

$$rt = 0,707 R \sqrt{t+1} \quad (\text{untuk } 19 \text{ jam} < t < 30 \text{ hari})$$

4. Cara Perhitungan Rational dari Jepang

Rumus dasarnya adalah sebagai berikut :

$$Q = \alpha \cdot r \cdot f \quad (\text{English Unit), atau}$$

$$Q = \alpha \cdot r \cdot f \cdot 13,6 \quad (\text{Metric Unit})$$

Dimana :

α = Run off coefisien (empiris)

r = Intensitas hujan selama time of concentration (mm/jam)

f = Luas daerah pengaliran (Km²)

Q = Debit maksimum (m³/sec)

a. Run Off Coefisien (α)

Besarnya run off coefisien tergantung dari faktor-faktor daerah pengalirannya, seperti jenis tanah, kemiringan, keadaan hutan penutupnya dan sebagainya, juga tergantung dari besar kecilnya banjir yang terjadi.

Di bawah ini adalah data-data run off coefisien (α) yang terdapat di Jepang.

Tabel 3.3
Data Run off Coefisien

Keadaan daerah pengaliran	Run Off Coefisien
Bergunung dan curam	0,75 – 0,90
Pegunungan tertier	0,70 – 0,80
Sungai dengai tanah dan hutan di bagian atas dan bawahnya	0,50 – 0,75
Tanah dasar yang ditanami	0,45 – 0,60
Sawah waktu diairi	0,70 – 0,80
Sungai bergunung	0,75 – 0,85
Sungai dataran	0,45 – 0,75

b. Intensitas hujan

Untuk mendapatkan intensitas hujan (r) selama time of concentration (t), yang biasanya 24 jam, dipergunakan hujan sehari (R). Maka dipergunakan rumus Dr. Mononobe sebagai berikut :

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

Dimana :

r = Intensitas hujan selama time of concentration (mm/jam)

R = Hujan sehari (mm)

t = Time of concentration (jam)

c. Time of Concentration (t)

Dianggap bahwa hujan yang akan menyebabkan debit banjir adalah sama dengan *time of concentration* (t). Dan untuk menghitung t, dipakai rumus :

$$t = \frac{L}{V}$$

Dimana : L = Panjang sungai (Km)

V = Kecepatan perambatan air (km/jam)

t = Time of concentration / waktu perambatan banjir (jam)

dan untuk menghitung V dipakai rumus Dr. Rziha sebagai berikut :

$$V = 72 \left(\frac{H}{L} \right)^{0,6}$$

Dimana :

H = Beda tinggi antara titik terjauh dan mulut daerah pengaliran (Km)

L = Panjang sungai (Km)

V = Kecepatan perambatan banjir (Km/jam)

Prosedur perhitungan :

Dengan rumus-rumus di bawah ini perhitungan debit maksimum dilakukan :

- α ditentukan dari daftar Run of Coefisien di atas

- R_T dihitung dengan rumus : $\text{Log} (R_T + b) = Y + \frac{1}{\alpha} \cdot Z$

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

- $t = \frac{L}{V}$

- $V = 72 \left(\frac{H}{L} \right)^{0,6}$

- $Q = \frac{R \cdot f}{3,6}$

3.2 Kapasitas Saluran

Kapasitas saluran ditentukan dengan melihat nilai debit banjir rencana (Q_{desain}) dan penampang sungai, sehingga didapat elevasi muka air maksimum. Untuk keperluan tersebut akan digunakan rumus Manning sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$A = (b + m \cdot h) \cdot h$$

$$P = b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}$$

$$Q = V \cdot A$$

Dimana :

- V = Kecepatan aliran rata-rata (m/det)
- n = Koefisien kekasaran manning (lihat table)
- b = Lebar sungai (m)
- m = Kemiringan talud
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- A = Luas penampang basah (m)
- O = Keliling basah sungai (m)
- I = Kemiringan rata-rata sungai
- Q = Debit pengaliran (m³/det)

3.3 Analisa Hidrolika

Dalam mendapatkan dimensi dan konstruksi bangunan pengendalian genangan, maka perhitungan perencanaan bangunannya dihitung berdasarkan analisa yang berlaku dalam bidang hidrolika.

Analisa hidrolika dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas alur sungai pada kondisi sekarang terhadap banjir rencana dan hasil data pengamatan yang diperoleh.

Analisa dilakukan pada seluruh saluran untuk mendapatkan dimensi saluran yang diperlukan yaitu dengan melakukan analisa profil muka air banjir

sepanjang alur yang ditinjau. Metode yang digunakan untuk menghitung back water adalah standard "Step Method" yang didasarkan pada persamaan kontinuitas. Perhitungan dilakukan secara bertahap dari suatu profil ke profil berikutnya yang sifat-sifat hidrolisnya telah ditetapkan.