

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka yang dikemukakan dalam tesis ini adalah teori yang relevan dengan kajian yang akan dilakukan, antara lain : pengertian banjir, analisis curah hujan rencana, analisis debit banjir rencana, analisis hidraulik sungai serta teori pengendalian banjir dari aspek struktural maupun non struktural.

2.2 Banjir

Banjir merupakan fenomena alam karena tingginya curah hujan dan tidak cukupnya kapasitas badan air (sungai ataupun saluran drainase) untuk menampung dan mengalirkan air (Soekarno, I, 2008). Banjir dapat diakibatkan oleh kejadian alam dan akibat aktivitas manusia. Peristiwa banjir ada dua macam : pertama peristiwa banjir/genangan yang terjadi pada daerah yang biasanya tidak terjadi banjir dan kedua peristiwa banjir terjadi karena limpasan air banjir dari sungai karena debit banjir tidak mampu dialirkan oleh alur sungai atau debit banjir lebih besar dari kapasitas alur sungai yang ada.

Banjir belum menjadi masalah jika tidak mengganggu aktivitas dan menimbulkan kerugian bagi kehidupan manusia, tetapi apabila sudah jatuh korban baik harta maupun jiwa, maka harus segera diatasi. Sehingga diperlukan adanya pengaturan daerah dataran banjir (*flood plain management*) untuk mengurangi kerugian (Kodoatie, R. J. dan Sugiyanto, 2002).

Agar banjir yang terjadi tidak mengakibatkan kerugian yang besar terhadap kehidupan manusia, maka harus dikelola. Tantangan pengelolaan banjir saat ini menurut Indratmo Soekarno (2008), adalah sebagai berikut :

1. Kehidupan yang aman
 - Pertumbuhan penduduk dan peningkatan kegiatan ekonomi merupakan ancaman serius terhadap tata sumber daya alam

- Kegiatan ekonomi di daerah bantaran banjir, baik karena pertumbuhan penduduk maupun pembangunan infrastruktur telah meningkatkan resiko banjir
 - Di negara berkembang dimana sektor pertanian masih dominan, kestabilan dan ketersediaan pangan menjadi bagian utama dari keamanan kehidupan
 - Masyarakat yang lemah, dimana sebagian besar menempati dataran banjir tidak dibebani lagi dengan kebijakan yang mengurangi kesempatan untuk kehidupan mereka
2. Pendekatan model Daerah Aliran Sungai (DAS)
DAS adalah sistem yang dinamis dimana serangkaian interaksi antara tanah dan air terjadi. Interaksi ini melibatkan tidak hanya air dengan tanah, namun juga dengan nutrisi dan polutan yang ada di dalamnya
 3. Aman total terhadap banjir adalah mitos
 4. Pendekatan ekosistem dengan mengedepankan konsep konservasi dan pemanfaatan sumber daya secara berkelanjutan :
 - Penataan tata guna lahan
 - Pengelolaan ekosistem sungai
 5. Iklim dan perubahannya
Data menunjukkan adanya perubahan suhu dunia, salah satunya ditandai dengan melelehnya es di kutub dan puncak Jayawijaya. Hal ini dapat berarti akan terjadi peningkatan banjir musiman, sehingga akan mempengaruhi standar perencanaan. Peningkatan muka air laut akibat naiknya suhu global juga akan menimbulkan bertambahnya areal banjir di daerah pesisir dan secara perlahan akan berpengaruh ke daerah hulunya
 6. Perubahan dalam proses pengambilan keputusan
Keputusan yang semula hanya difokuskan pada efisiensi ekonomi, harus berubah menjadi multi dimensi untuk memecahkan beberapa hal, bahkan secara bersamaan dan mempunyai potensi konflik
 7. Pengelolaan resiko
Secara tradisional dapat dikatakan sangat kecil upaya untuk ini

Hampir seluruh negara di dunia ini mengalami masalah banjir, tidak terkecuali di negara yang telah maju sekalipun. Masalah banjir mulai muncul sejak manusia bermukim dan melakukan berbagai kegiatan di kawasan yang berupa bantaran banjir (*flood plain*) suatu sungai. Kota besar serta pusat perdagangan dan kegiatan penting lainnya seperti kawasan industri, pariwisata, prasarana perhubungan dan sebagainya sebagian besar tumbuh dan berkembang di kawasan ini, termasuk di Indonesia.

Selain menyimpan potensi yang bermanfaat bagi kehidupan manusia, dataran banjir juga mengandung potensi yang mengganggu kehidupan manusia sehubungan dengan terdapatnya ancaman berupa genangan banjir yang dapat menimbulkan kerusakan dan bencana. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan di dataran banjir maka potensi terjadinya kerusakan dan bencana tersebut mengalami peningkatan dari waktu ke waktu. Indikasi dapat diketahui dari peningkatan luas kawasan yang mengalami masalah banjir.

Sebagian besar kegiatan penanganan masalah banjir sampai saat ini dilakukan oleh Pemerintah, lewat berbagai proyek dengan lebih mengandalkan pada upaya - upaya fisik (*structural measures*). Upaya yang telah dilakukan tersebut pada umumnya masih kurang memadai bila dibandingkan dengan laju peningkatan masalah.

Masyarakat baik yang secara langsung menderita maupun yang secara tidak langsung menyebabkan terjadinya masalah masih kurang terlibat atau dilibatkan baik dalam proses perencanaan, pelaksanaan dan operasi serta pemeliharaan terhadap sarana dan prasarana fisik pengendalian banjir, maupun terhadap upaya - upaya non fisik. Masalah tersebut juga disebabkan oleh adanya berbagai kendala/ keterbatasan yang ada di masyarakat sendiri antara lain menyangkut kondisi sosial, budaya dan ekonominya.

Masalah banjir pada umumnya berdampak sangat luas terhadap berbagai aspek kehidupan masyarakat. Upaya untuk mengatasinya harus merupakan bagian yang tak terpisahkan dari kegiatan pembangunan yang menyeluruh dalam rangka meningkatkan kesejahteraan masyarakat sehubungan dengan paradigma baru dalam melaksanakan pembangunan yang dikaitkan dengan penyelenggaraan otonomi daerah, terjadinya krisis ekonomi serta berbagai permasalahan yang dihadapi. Oleh sebab itu diperlukan peninjauan dan penyempurnaan terhadap kebijakan dan strategi penanganan masalah banjir yang telah ada, baik yang menyangkut aspek - aspek teknis maupun non – teknis.

2.3 Analisis Curah Hujan Rencana

Hujan merupakan faktor penting dalam analisis hidrologi. Intensitas hujan yang tinggi pada suatu kawasan yang kecil dapat mengakibatkan genangan karena fasilitas drainase tidak didesain untuk mengalirkan air akibat intensitas hujan yang tinggi.

Kejadian hujan dapat dipisahkan menjadi 2 (dua) kelompok, yaitu hujan aktual dan hujan rencana. Hujan aktual adalah rangkaian data pengukuran di stasiun hujan selama periode tertentu. Hujan rencana adalah hyetografi hujan yang mempunyai karakteristik terpilih. Hujan rencana mempunyai karakteristik yang secara umum sama dengan karakteristik hujan yang terjadi pada masa lalu, sehingga menggambarkan karakteristik umum kejadian hujan yang dapat terjadi pada masa mendatang.

Karakteristik hujan yang perlu ditinjau dalam analisis dan perencanaan hidrologi meliputi :

- Intensitas (i), adalah laju hujan atau tinggi air per satuan waktu, misalnya mm/menit, mm/jam, atau mm/hari
- Lama waktu atau durasi (t), adalah panjang waktu hujan turun, dinyatakan dalam menit atau jam
- Tinggi hujan (P), adalah jumlah atau kedalaman hujan yang terjadi selama durasi hujan, dan dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar (mm)
- Frekuensi, adalah banyaknya kejadian dan biasanya dinyatakan dengan kala ulang (*return period*) T
- Luas (A), adalah luas geografis daerah sebaran hujan

Data yang dibutuhkan dalam analisis kajian pengendalian banjir adalah curah hujan harian maksimum, yaitu curah hujan harian tertinggi dalam tahun pengamatan pada suatu stasiun pengamatan hujan tertentu. Data tersebut biasanya dipergunakan untuk perencanaan bangunan hidraulik sungai, seperti bendung, bendungan, tanggul, pengamanan sungai dan saluran drainase.

2.3.1 Curah Hujan Wilayah

Data curah hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang hanya terjadi pada suatu tempat atau titik saja (*point rainfall*). Kejadian hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan yang luas 1 (satu) alat penakar hujan tidaklah cukup untuk menggambarkan curah hujan wilayah tersebut. Oleh karena itu, di berbagai tempat pada DAS tersebut perlu dipasang alat penakar hujan untuk mendapatkan gambaran mengenai sebaran curah hujannya.

Beberapa metode untuk mendapatkan curah hujan wilayah adalah dengan cara Rata - Rata Aljabar, Poligon Thiessen dan Isohyet. Pemilihan metode yang paling cocok untuk suatu DAS dapat ditentukan dengan mempertimbangkan 3 (tiga) faktor sebagai berikut :

1. Jaring - jaring stasiun pengamatan hujan dalam DAS

Jumlah pos penakar hujan cukup banyak	Metode Isohyet, Thiessen atau Rata - Rata Aljabar dapat dipakai
Jumlah pos penakar hujan terbatas	Metode Rata - Rata Aljabar atau Thiessen
Pos penakar hujan tunggal	Metode hujan titik

2. Luas DAS

DAS besar ($> 5.000 \text{ km}^2$)	Metode Isohyet
DAS sedang ($500 - 5.000 \text{ km}^2$)	Metode Thiessen
DAS kecil ($< 500 \text{ km}^2$)	Metode Rata - Rata Aljabar

3. Topografi DAS

Pegunungan	Metode Rata - Rata Aljabar
Dataran	Metode Thiessen
Berbukit dan tidak beraturan	Metode Isohyet

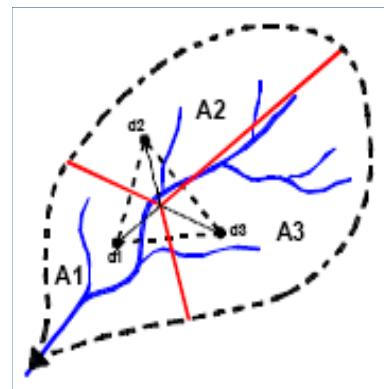
Sumber : Suripin, 2004

Metode Poligon Thiessen digunakan apabila terdapat minimum 3 (tiga) stasiun pengamatan hujan dan tidak memperhitungkan topografi. Metode ini memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun pengamatan hujan dengan pengertian bahwa setiap stasiun dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luas tertentu, dan luas tersebut merupakan faktor koreksi bagi hujan di stasiun yang bersangkutan. Metode ini juga dapat digunakan untuk daerah dimana distribusi dari stasiun pengamatan hujan tidak tersebar merata, sehingga hasilnya lebih teliti.

Dalam kajian ini, analisis curah hujan wilayah digunakan Metode Poligon Thiessen. Metode ini dilakukan dengan cara membuat poligon antara stasiun pengamatan hujan pada suatu wilayah DAS. Setiap stasiun pengamatan hujan mempunyai daerah yang dibentuk dengan menggambarkan garis - garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung diantara 2 (dua) buah stasiun (Soemarto C.D, 1999).

Perhitungan metode ini berdasarkan rata - rata timbang (*weighted average*), tinggi curah hujan wilayah DAS dihitung dari jumlah perkalian antara tiap - tiap luas poligon dan tinggi curah hujannya dibagi dengan luas seluruh DAS. Adapun tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut :

- Stasiun pengamatan hujan digambar pada peta dan ditarik garis hubung masing - masing stasiun
- Garis bagi tegak lurus dari garis hubung tersebut membentuk poligon - poligon mengelilingi tiap - tiap stasiun pengamatan hujan, dihindari bentuk poligon segi tiga tumpul
- Sisi - sisi tiap poligon merupakan batas - batas daerah stasiun pengamatan hujan yang bersangkutan
- Hitung luas tiap poligon yang terdapat di dalam DAS dan luas DAS seluruhnya, luas tiap poligon dinyatakan dengan prosentase dari luas DAS seluruhnya



Gambar 2.1 Hujan Rata - Rata Metode Polygon Thiessen

Sumber : Soemarto, C.D, 1999

Misalnya A_1 adalah luas daerah pengaruh stasiun pengamatan hujan 1, A_2 adalah luas daerah pengaruh stasiun pengamatan hujan 2 dan seterusnya. Jumlah $A_1 + A_2 + A_n = A$ adalah jumlah luas seluruh daerah yang dicari tinggi curah hujan rata - ratanya.

Jika stasiun pengamatan hujan 1 menakar tinggi curah hujan d_1 dan stasiun pengamatan hujan 2 menakar tinggi curah hujan d_2 , serta stasiun pengamatan hujan n menakar tinggi curah hujan d_n , maka tinggi curah hujan rata - rata wilayah adalah :

$$d = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

Jika $P_i = \frac{A_i}{A}$ merupakan prosentase luas pada stasiun pengamatan hujan 1 yang jumlah untuk seluruh luas adalah 100%, maka ;

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n p_i d_i \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

Keterangan :

A = Luas Area (km^2 , ha)

\bar{d} = Tinggi curah hujan wilayah (mm)

$d_1, d_2 \dots d_n$ = Tinggi curah hujan pada stasiun pengamatan hujan 1, 2... n

$A_1, A_2 \dots A_n = \text{Luas daerah pengaruh stasiun pengamatan hujan } 1, 2 \dots n$

$$\sum_{i=1}^n P_i = \text{Jumlah prosentase luas} = 100\%$$

Analisis curah hujan maksimum wilayah dilakukan sesuai langkah – langkah perhitungan sebagai berikut (Loebis J, 2008) :

1. Menentukan curah hujan harian maksimum di salah satu stasiun pencatatan hujan dalam tahun tertentu
2. Mencari curah hujan harian maksimum di semua stasiun pencatatan hujan lainnya pada tanggal yang sama
3. Menghitung rata – rata curah hujan maksimum wilayah dengan Metode Thiessen
4. Menentukan curah hujan harian maksimum (seperti langkah no. 1) pada tahun yang sama di stasiun pencatatan hujan yang lain
5. Mengulangi langkah no. 2 dan 3 untuk setiap tahun
6. Hasil rata – rata curah hujan maksimum wilayah Metode Thiessen pilih salah satu yang tertinggi pada setiap tahun
7. Data curah hujan maksimum wilayah yang terpilih pada setiap tahunnya tersebut merupakan curah hujan maksimum wilayah

2.3.2 Analisis Distribusi Frekuensi

Dalam sistem hidrologi, frekuensi kejadian ekstrim seperti banjir berbanding terbalik dengan besarnya, peristiwa yang luar biasa ekstrim peluang terjadinya sangat langka. Untuk mendapatkan besarnya debit banjir rencana berdasarkan data curah hujan atau data debit diperlukan analisis frekuensi.

Analisis frekuensi dilakukan terhadap kejadian ekstrim berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Analisis ini digunakan untuk peramalan (*forecasting*), yaitu menentukan probabilitas terjadinya suatu kejadian

untuk tujuan perencanaan masa mendatang, namun waktu atau saat kejadian tersebut tidak ditentukan.

Analisis frekuensi didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran kejadian di masa yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian masa lalu.

Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak tergantung (*independent*) dan terdistribusi secara acak dan bersifat stokastik. Frekuensi kejadian adalah besarnya kemungkinan suatu besaran dapat disamai atau dilampaui, dan sebaliknya kala ulang (*return period*) adalah waktu hipotetik dimana kejadian dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui.

Ada 2 (dua) macam seri data yang digunakan dalam analisis frekuensi, yaitu :

- Data maksimum tahunan : setiap tahun diambil hanya satu besaran maksimum yang berpengaruh pada analisis selanjutnya.
Seri data ini dikenal dengan seri data maksimum (*maximum annual series*).
- Seri parsial : penetapan suatu besaran tertentu sebagai batas bawah, selanjutnya semua besaran data yang lebih besar dari batas bawah tersebut diambil dan dijadikan bagian seri data untuk kemudian dianalisis.

Menurut Soewarno (1995), model matematik distribusi frekuensi yang umum digunakan untuk menentukan nilai maksimum (debit banjir rencana) adalah :

- Distribusi Log Pearson Tipe III
- Distribusi Gumbel Tipe I

Penentuan tipe distribusi terbaik yang akan digunakan dilakukan dengan memperhatikan besaran statistik data dan sebagai perbandingan semua tipe distribusi diuji kecocokannya dengan metode Smirnov - Kolmogorov atau Chi - Kuadrat. Selain uji kecocokan juga dilakukan pengujian terhadap batas kepercayaan data dengan tingkat kepercayaan 95 %.

2.3.2.1 Metode Gumbel

Persamaan umum metode ini (Soewarno, 1995) adalah :

$$X_T = X_r + k \cdot S_x \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

$$k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \quad \dots \dots \dots \quad (2.4)$$

$$X_r = \frac{\sum X_i}{n} \quad \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_r)^2}{n-1}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.6)$$

$$Y_t = -\ln \left[-\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (2.7)$$

Keterangan :

X_T = Curah hujan dengan periode ulang 'T' Tahun

X_r = Curah hujan harian maksimum rata - rata selama periode pengamatan

k = Faktor frekuensi dari Gumbel

X_i = Curah hujan harian maksimum pada tahun ke - i

S_x = Standard deviasi

S_n = Standard deviasi dari *reduced variate* tergantung jumlah tahun pengamatan

Reduced variate sebagai fungsi dari periode ulang 'T'

Y_t = Rata - rata *reduced variate* tergantung dari jumlah tahun pengamatan

Y_n = Tahun periode ulang

Tabel 2.1 *Reduced Variate (Y_t) terhadap Periode Ulang*

Periode Ulang Tahun (T_r)	Reduced Variate Y_t
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2504
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

Sumber : Soewarno, 1995

Tabel 2.2 Pengurangan Simpangan Standar (*Reduced Standard Deviation*), S_n

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.9496	0.9676	0.9833	0.9971	1.0095	1.0206	1.0316	1.0411	1.0493	1.0565
20	1.0628	1.0696	1.0754	1.0811	1.0864	1.0915	1.0861	1.1004	1.1047	1.1086
30	1.1124	1.1159	1.1193	1.1226	1.1255	1.1285	1.1313	1.1339	1.1363	1.1388
40	1.1413	1.1436	1.1458	1.1480	1.1499	1.1519	1.1538	1.1557	1.1574	1.1590
50	1.1607	1.1623	1.1638	1.1658	1.1667	1.1681	1.1696	1.1708	1.1721	1.1734
60	1.1747	1.1759	1.1770	1.1782	1.1793	1.1803	1.1814	1.1824	1.1834	1.1844
70	1.1854	1.1863	1.1873	1.1881	1.1890	1.1898	1.1906	1.1915	1.1923	1.1930
80	1.1938	1.1945	1.1953	1.1959	1.1967	1.1973	1.1980	1.1987	1.1994	1.2001
90	1.2007	1.2013	1.2020	1.2026	1.2032	1.2038	1.2044	1.2049	1.2055	1.2060
100	1.2065									

Sumber : Soemarto, C.D, 1999

Tabel 2.3 Rata - Rata Tereduksi (*Reduced Mean*), Y_n

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.5070	0.5100	0.5128	0.5157	0.5181	0.5202	0.5220
20	0.5236	0.5252	0.5268	0.5283	0.5296	0.5309	0.5320	0.5332	0.5343	0.5353
30	0.5362	0.5371	0.5380	0.5388	0.5396	0.5402	0.5410	0.5418	0.5424	0.5430
40	0.5436	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5463	0.5468	0.5473	0.5477	0.5481
50	0.5485	0.5489	0.5493	0.5497	0.5501	0.5504	0.5508	0.5511	0.5515	0.5518
60	0.5521	0.5524	0.5527	0.5530	0.5533	0.5535	0.5538	0.5540	0.5543	0.5545
70	0.5548	0.5550	0.5552	0.5555	0.5557	0.5559	0.5561	0.5563	0.5565	0.5567
80	0.5569	0.5570	0.5572	0.5574	0.5576	0.5578	0.5580	0.5581	0.5583	0.5585
90	0.5586	0.5587	0.5589	0.5591	0.5592	0.5593	0.5595	0.5596	0.5598	0.5599
100	0.5600									

Sumber : Soemarto, C.D, 1999

2.3.2.2 Metode Log Pearson Type III

Parameter - parameter statistik yang diperlukan oleh distribusi Log Pearson Type III adalah :

- Nilai tengah
- Standar deviasi
- Koefisien kemencengan

Persamaan umum metode ini (Soewarno, 1995) adalah :

$$\text{Log } X_T = \text{Log } X_r + k \cdot S_x \quad \dots \dots \dots \quad (2.8)$$

$$\text{Log } X_r = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} \quad \dots \dots \dots \quad (2.9)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^2}{n-1}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.10)$$

$$C_s = \left[\frac{n \sum (\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^3}{((n-1)(n-2)S_x^2)} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (2.11)$$

Keterangan :

X_T = Curah hujan dengan periode ulang 'T' tahun

$\text{Log } X_r$ = Curah hujan harian maksimum rata - rata dalam logaritmik (mm)

k = Faktor frekuensi dari Log Person III, sebagai fungsi dari koefisien kemencengan

C_s = Skewness (koefisien kemencengan)

S_x = Standard deviasi dari rangkaian data dalam harga logaritmik

X_i = Curah hujan harian maksimum pada tahun pengamatan ke - i

n = Jumlah tahun pengamatan

Tabel 2.4 Faktor Frekuensi, Koefisien Skewness (Cs) Distribusi Log Pearson III

dk	DERAJAT KEPERCAYAAN (α)												
	0.995	0.990	0.975	0.950	0.900	0.750	0.500	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.00004	0.00016	0.00098	0.00393	0.01579	0.10153	0.45494	1.32330	2.70554	3.84146	5.02389	6.63490	7.87944
2	0.01003	0.02010	0.05064	0.10259	0.21072	0.57536	1.38629	2.77259	4.60517	5.99146	7.37776	9.21034	10.59663
3	0.07172	0.11483	0.21580	0.35185	0.58437	1.21253	2.36597	4.10834	6.25139	7.81473	9.34840	11.34487	12.83816
4	0.20699	0.29711	0.48442	0.71072	1.06362	1.92256	3.35669	5.38527	7.77944	9.48773	11.14329	13.27670	14.86026
5	0.41174	0.55430	0.83121	1.14548	1.61031	2.67460	4.35146	6.62568	9.23636	11.07050	12.83250	15.08627	16.74960
6	0.67573	0.87209	1.23734	1.63538	2.20413	3.45460	5.34812	7.84080	10.64464	12.59159	14.44938	16.81189	18.54758
7	0.98926	1.23904	1.68987	2.16735	2.83311	4.25485	6.34581	9.03715	12.01704	14.06714	16.01276	18.47531	20.27774
8	1.34441	1.64650	2.17973	2.73264	3.48954	5.07064	7.34412	10.21885	13.36157	15.50731	17.53455	20.09024	21.95495
9	1.73493	2.08790	2.70039	3.32511	4.16816	5.89883	8.34283	11.38875	14.68366	16.91898	19.02277	21.66599	23.58935
10	2.15586	2.55821	3.24697	3.94030	4.86518	6.73720	9.34182	12.54886	15.98718	18.30704	20.48318	23.20925	25.18818
11	2.60322	3.05348	3.81575	4.57481	5.57778	7.58414	10.34100	13.70069	17.27501	19.67514	21.92005	24.72497	26.75685
12	3.07382	3.57057	4.40379	5.22603	6.30380	8.43842	11.34032	14.84540	18.54935	21.02607	23.33666	26.21697	28.29952
13	3.56503	4.10692	5.00875	5.89186	7.04150	9.29907	12.33976	15.98391	19.81193	22.36203	24.73560	27.68825	29.81947
14	4.07467	4.66043	5.62873	6.57063	7.78953	10.16531	13.33927	17.11693	21.06414	23.68479	26.11895	29.14124	31.31935
15	4.60092	5.22935	6.26214	7.26094	8.54676	11.03654	14.33886	18.24509	22.30713	24.99579	27.48839	30.57791	32.80132
16	5.14221	5.81221	6.90766	7.96165	9.31224	11.91222	15.33850	19.36886	23.54183	26.29623	28.84535	31.99993	34.26719
17	5.69722	6.40776	7.56419	8.67176	10.08519	12.79193	16.33818	20.48868	24.76904	27.58711	30.19101	33.40866	35.71847
18	6.26480	7.01491	8.23075	9.39046	10.86494	13.67529	17.33790	21.60489	25.98942	28.86930	31.52638	34.80531	37.15645
19	6.84397	7.63273	8.90652	10.11701	11.65091	14.56200	18.33765	22.71781	27.20357	30.14353	32.85233	36.19087	38.58226
20	7.43384	8.26040	9.59078	10.85081	12.44261	15.45177	19.33743	23.82769	28.41198	31.41043	34.16961	37.56623	39.99685
21	8.03365	8.89720	10.28290	11.59131	13.23960	16.34438	20.33723	24.93478	29.61509	32.67057	35.47888	38.93217	41.40106
22	8.64272	9.54249	10.98232	12.33801	14.04149	17.23962	21.33704	26.03927	30.81328	33.92444	36.78071	40.28936	42.79565
23	9.26042	10.19572	11.68855	13.09051	14.84796	18.13730	22.33688	27.14134	32.00690	35.17246	38.07563	41.63840	44.18128
24	9.88623	10.85636	12.40115	13.84843	15.65868	19.03725	23.33673	28.24115	33.19624	36.41503	39.36408	42.97982	45.55851
25	10.51965	11.52398	13.11972	14.61141	16.47341	19.93934	24.33659	29.33885	34.38159	37.65248	40.64647	44.31410	46.92789
26	11.16024	12.19815	13.84390	15.37916	17.29188	20.84343	25.33646	30.43457	35.56317	38.88514	41.92317	45.64168	48.28988
27	11.80759	12.87850	14.57338	16.15140	18.11390	21.74940	26.33634	31.52841	36.74122	40.11327	43.19451	46.96294	49.64492
28	12.46134	13.56471	15.30786	16.92788	18.93924	22.65716	27.33623	32.62049	37.91592	41.33714	44.46079	48.27824	50.99338
29	13.12115	14.25645	16.04707	17.70837	19.76774	23.56659	28.33613	33.71091	39.08747	42.55697	45.72229	49.58788	52.33562
30	13.78672	14.95346	16.79077	18.49266	20.59923	24.47761	29.33603	34.79974	40.25602	43.77297	46.97924	50.89218	53.67196

Sumber : Soemarto, C.D, 1999

2.3.3 Uji Kesesuaian Distribusi

Untuk menentukan kecocokan distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan/ mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter. Uji kesesuaian (*the goodness of fit test*) dimaksudkan untuk mengetahui kebenaran analisis curah hujan terhadap simpangan data vertikal maupun simpangan data horisontal, sehingga diketahui apakah pemilihan metode distribusi frekuensi yang digunakan dalam perhitungan curah hujan diterima atau tidak.

Metode uji kesesuaian distribusi yang umum dipakai adalah Uji Smirnov - Kolmogorov dan Uji Chi - Square.

2.3.3.1 Uji Smirnov - Kolmogorov

Analisis statistik ini digunakan untuk menguji simpangan secara horisontal, dilakukan dengan menggambarkan probabilitas tiap data, yaitu dari perbedaan distribusi empiris dan distribusi teoritis yang dinotasikan dengan D.

Uji kecocokan Smirnov - Kolmogorov disebut juga uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujinya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu, tetapi dengan membandingkan selisih maksimum (D_{maks}) nilai peluang pengamatan [$P(X_m)$] dan peluang teoritis [$P'(X_m)$] dengan nilai kritis dari Smirnov - Kolmogorov (D_o) dari Tabel 2.5.

$$D = \text{maksimum} [P'(X_m) - P(X_m)] \dots \quad (2.12)$$

$$\text{dengan, } P(X) = \frac{m}{n+1} \dots \quad (2.13)$$

jika $P(X >) = a$, maka $P(X <) = 1-a$

$$\text{dan, } P'(X) = f(t) = \frac{X - \bar{X}}{S} \dots \quad (2.14)$$

jika $P'(X >) = a$, maka $P'(X <) = 1-a$

dimana :

m = Rangking data

n = Jumlah data pengamatan

X = Curah hujan (mm/hari) atau debit pengamatan (m^3/detik)

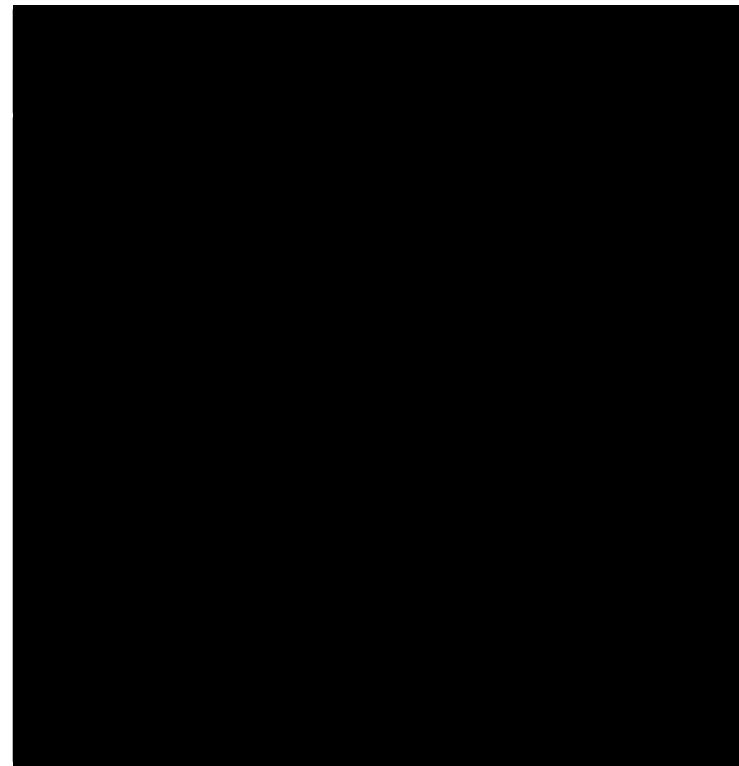
\bar{X} = Curah hujan rata - rata (mm/hari) atau debit rata - rata pengamatan (m^3/detik)

$F(t)$ = Fungsi variabel reduksi

$P'(X)$ = Peluang teoritis dari frekuensi

Apabila $D_{\text{maks}} < D_o$, maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima dan sebaliknya apabila $D_{\text{maks}} > D_o$, maka persamaan distribusi tidak dapat diterima.

Tabel 2.5 Nilai Kritis D₀ untuk Uji Smirnov – Kolmogorov



Sumber : Soemarto, C.D, 1999

2.3.3.2 Uji Chi - Square

Uji Chi – Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara vertikal dengan pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X_h², oleh karena itu disebut dengan Uji Chi – Square.

Parameter X² dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Soewarno, 1995) :

$$(\chi_h^2) = \sum_{i=1}^G \frac{[O_i - E_i]^2}{E_i} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.15)$$

$$E_i = \frac{n}{G} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.16)$$

Jumlah sub kelompok dihitung dengan rumus :

$$G = 1 + 1.333 \ln n \quad \dots \dots \dots \quad (2.17)$$

Menentukan derajat kebebasan :

$$d_k = G - R - 1 \quad \dots \dots \dots \quad (2.18)$$

Keterangan :

(χ_h^2) = Parameter Chi - Square terhitung

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke - i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke - i

G = Jumlah sub kelompok

n = Jumlah data

Agar distribusi frekuensi yang dipilih dapat diterima, maka harga $X_h^2 < X_{cr}^2$, harga X_{cr}^2 (nilai kritis parameter Chi - Square) dapat diperoleh dengan menentukan taraf signifikansi α dengan derajat kebebasannya.

Prosedur uji Chi – Square adalah sebagai berikut :

- Mengurutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya)
- Membuat kelompok data menjadi ‘G’ sub group
- Menjumlahkan data pengamatan sebesar ‘ O_i ’ tiap – tiap sub group
- Menjumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar ‘ E_i ’
- Menghitung tiap – tiap sub group nilai :

$$(O_i - E_i)^2 \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

- Jumlahkan seluruh ‘G’ sub group nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai Chi – Square hitung
- Tentukan derajat kebebasan $d_k = G - R - 1$ (nilai R = 2, untuk distribusi normal dan binominal, dan nilai R = 1, untuk distribusi Poisson)

Tabel 2.6 Nilai Kritis X_{cr}^2 untuk Uji Chi - Square

dk	DERAJAT KEPERCAYAAN (α)												
	0.995	0.990	0.975	0.950	0.900	0.750	0.500	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.00004	0.00016	0.00098	0.00393	0.01579	0.10153	0.45494	1.32330	2.70554	3.84146	5.02389	6.63490	7.87944
2	0.01003	0.02010	0.05064	0.10259	0.21072	0.57536	1.38629	2.77259	4.60517	5.99146	7.37776	9.21034	10.59663
3	0.07172	0.11483	0.21580	0.35185	0.58437	1.21253	2.36597	4.10834	6.25139	7.81473	9.34840	11.34487	12.83816
4	0.20699	0.29711	0.48442	0.71072	1.06362	1.92256	3.35669	5.38527	7.77944	9.48773	11.14329	13.27670	14.86026
5	0.41174	0.55430	0.83121	1.14548	1.61031	2.67460	4.35146	6.62568	9.23636	11.07050	12.83250	15.08627	16.74960
6	0.67573	0.87209	1.23734	1.63538	2.20413	3.45460	5.34812	7.84080	10.64464	12.59159	14.44938	16.81189	18.54758
7	0.98926	1.23904	1.68987	2.16735	2.83311	4.25485	6.34581	9.03715	12.01704	14.06714	16.01276	18.47531	20.27774
8	1.34441	1.64650	2.17973	2.73264	3.48954	5.07064	7.34412	10.21885	13.36157	15.50731	17.53455	20.09024	21.95495
9	1.73493	2.08790	2.70039	3.32511	4.16816	5.89883	8.34283	11.38875	14.68366	16.91898	19.02277	21.66599	23.58935
10	2.15586	2.55821	3.24697	3.94030	4.86518	6.73720	9.34182	12.54886	15.98718	18.30704	20.48318	23.20925	25.18818
11	2.60322	3.05348	3.81575	4.57481	5.57778	7.58414	10.34100	13.70069	17.27501	19.67514	21.92005	24.72497	26.75685
12	3.07382	3.57057	4.40379	5.22603	6.30380	8.43842	11.34032	14.84540	18.54935	21.02607	23.33666	26.21697	28.29952
13	3.56503	4.10692	5.00875	5.89186	7.04150	9.29907	12.33976	15.98391	19.81193	22.36203	24.73560	27.68825	29.81947
14	4.07467	4.66043	5.62873	6.57063	7.78953	10.16531	13.33927	17.11693	21.06414	23.68479	26.11895	29.14124	31.31935
15	4.60092	5.22935	6.26214	7.26094	8.54676	11.03654	14.33886	18.24509	22.30713	24.99579	27.48839	30.57791	32.80132
16	5.14221	5.81221	6.90766	7.96165	9.31224	11.91222	15.33850	19.36886	23.54183	26.29623	28.84535	31.99993	34.26719
17	5.69722	6.40776	7.56419	8.67176	10.08519	12.79193	16.33818	20.48868	24.76904	27.58711	30.19101	33.40866	35.71847
18	6.26480	7.01491	8.23075	9.39046	10.86494	13.67529	17.33790	21.60489	25.98942	28.86930	31.52638	34.80531	37.15645
19	6.84397	7.63273	8.90652	10.11701	11.65091	14.56200	18.33765	22.71781	27.20357	30.14353	32.85233	36.19087	38.58226
20	7.43384	8.26040	9.59078	10.85081	12.44261	15.45177	19.33743	23.82769	28.41198	31.41043	34.16961	37.56623	39.99685
21	8.03365	8.89720	10.28290	11.59131	13.23960	16.34438	20.33723	24.93478	29.61509	32.67057	35.47888	38.93217	41.40106
22	8.64272	9.54249	10.98232	12.33801	14.04149	17.23962	21.33704	26.03927	30.81328	33.92444	36.78071	40.28936	42.79565
23	9.26042	10.19572	11.68855	13.09051	14.84796	18.13730	22.33688	27.14134	32.00690	35.17246	38.07563	41.63840	44.18128
24	9.88623	10.85636	12.40115	13.84843	15.65868	19.03725	23.33673	28.24115	33.19624	36.41503	39.36408	42.97982	45.55851
25	10.51965	11.52398	13.11972	14.61141	16.47341	19.93934	24.33659	29.33885	34.38159	37.65248	40.64647	44.31410	46.92789
26	11.16024	12.19815	13.84390	15.37916	17.29188	20.84343	25.33646	30.43457	35.56317	38.88514	41.92317	45.64168	48.28988
27	11.80759	12.87850	14.57338	16.15140	18.11390	21.74940	26.33634	31.52841	36.74122	40.11327	43.19451	46.96294	49.64492
28	12.46134	13.56471	15.30786	16.92788	18.93924	22.65716	27.33623	32.62049	37.91592	41.33714	44.46079	48.27824	50.99338
29	13.12115	14.25645	16.04707	17.70837	19.76774	23.56659	28.33613	33.71091	39.08747	42.55697	45.72229	49.58788	52.33562
30	13.78672	14.95346	16.79077	18.49266	20.59923	24.47761	29.33603	34.79974	40.25602	43.77297	46.97924	50.89218	53.67196

Sumber : Soemarto, C.D, 1999

2.3.4 Intensitas Hujan Rencana

Intensitas hujan rencana merupakan curah hujan maksimum harian selama waktu tertentu dengan periode ulang (Tr) tertentu. Hubungan antara intensitas dan waktu (durasi) curah hujan dapat dinyatakan dengan grafik lengkung intensitas yang digambarkan untuk berbagai periode ulang yang diinginkan.

Terdapat beberapa metode yang dapat diterapkan untuk menghitung intensitas hujan, antara lain metode Sherman, Talbot, Ishiguro dan Mononobe.

Pada kajian ini, intensitas hujan rencana dianalisis berdasarkan hasil studi mengenai intensitas curah hujan di wilayah Jawa Barat oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air (Puslitbang SDA) Kementerian Pekerjaan Umum (Adidarma, W. dkk).

2.3.5 Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan/ pengaliran (C) adalah suatu variabel yang didasarkan pada kondisi dan karakteristik daerah pengaliran. Adapun kondisi dan karakteristik tersebut adalah :

- Luas dan bentuk DAS
- Kemiringan daerah aliran sungai dan kemiringan dasar sungai
- Daya infiltrasi dan perkolasii
- Kebasahan tanah
- Suhu udara dan angin serta evaporasi
- Tata guna lahan

Nilai koefisien limpasan sesuai tata guna lahan dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Nilai Koefisien Limpasan/ *Run Off*

NO.	TATA GUNA LAHAN	KOEFISIEN <i>RUN OFF</i> (C)		KETERANGAN
		Min.	Maks.	
1	<i>Area Terbangun</i>			
a.	Jalan aspal	0.73	0.95	
b.	Beton/ gedung/ atap	0.75	0.97	
c.	Area Rerumputan/ Taman dll :			
~	Kondisi jelek (luas tutupan lahan < 50%)	0.32	0.62	
~	Kondisi sedang (luas tutupan lahan 50 % - 75 %)	0.25	0.60	
~	Kondisi bagus (luas tutupan lahan > 75%)	0.21	0.58	
d.	Permukiman	0.40	0.75	
2	<i>Area Belum Terbangun</i>			
a.	Lahan Budidaya/ Pertanian	0.31	0.61	sawah, kebun, empang dll
b.	Ladang	0.37	0.60	
c.	Hutan	0.10	0.35	

Sumber : Chow dkk, 1988 dan Bedient P.B & Huber W.C, 1992

2.4 Analisis Debit Banjir Rencana

Kejadian banjir untuk masa yang akan datang dapat diperkirakan melalui analisis hidrologi dengan menerapkan metode statistik berdasarkan parameter hidrologi. Analisis perhitungan debit banjir rencana yang handal dapat dilakukan tergantung pada ketersediaan data dan ketepatannya.

Metode perhitungan debit banjir rencana dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- Metode analisis probabilitas frekuensi debit banjir
- Metode analisis regional
- Metode puncak banjir di atas ambang
- Metode matematik, digunakan apabila selang waktu pengamatan data curah hujan lebih panjang daripada pengamatan data debit
Untuk memperpanjang data aliran yang ada digunakan model matematik, kemudian besar debit banjir rencana dihitung dengan menggunakan analisis frekuensi, antara lain : metoda Gumbel, metoda Nilai Ekstrim tipe I dan metoda Log Pearson dan Normal.
- Analisis regresi, adalah persamaan yang dihasilkan *Institute of Hydrology*, dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, yaitu didapat dari data hujan dan karakteristik DAS
- Metode empiris, apabila prakiraan besarnya debit banjir berdasarkan parameter hujan dan karakteristik DAS, antara lain :
 - Metoda Rasional
 - Metoda Der Weduwen, Melchior dan Harpers
 - Metoda Hidrograf Satuan Sintetik (HSS)
 - Metoda US - Soil Conservation Service

2.4.1 Analisis Debit Banjir Metode Hidrograf Satuan Sintetik

Hidrograf merupakan visualisasi perubahan besaran parameter hidrologi terhadap waktu kejadiannya. Parameter yang dimaksud antara lain : tinggi hujan, tinggi muka air dan debit sungai.

2.4.1.1 Karakteristik Hidrograf Aliran

Hidrograf aliran dapat digunakan untuk mengetahui perubahan aliran di sungai/ saluran sebagai akibat terjadinya hujan selama waktu tertentu. Pada siklus hidrologi, terlihat dengan jelas bahwa aliran sungai tersebut terjadi akibat limpasan air hujan baik langsung maupun tak langsung.

Apabila pengaruh turunnya air hujan terhadap aliran sungai digambarkan terhadap waktu, maka akan diperoleh hidrograf aliran yang mempunyai komponen kurva sebagai berikut :

1. Aliran dasar (base flow)

Limpasan tak langsung bersumber dari air tanah yang mengalir keluar melalui mata air ataupun rembesan ke sungai dengan debit yang relatif konstan.

2. *Rising limb*

Hujan yang jatuh ke permukaan tanah akan mengalami proses kehilangan air akibat intersepsi, infiltrasi dan sisanya menjadi limpasan air permukaan (*surface runoff*). Limpasan air menuju ke sungai sehingga tinggi muka air mulai bergerak naik sampai debit puncak (Q_p), disebut ‘*rising limb*’ atau kurva yang menggambarkan naiknya debit aliran permukaan sejak awal pengaruh hujan sampai dengan terjadinya debit puncak.

3. *Recession limb*

Setelah debit puncak tercapai, selanjutnya grafik debit mulai menurun, disebut ‘*recession limb*’ atau kurva yang menggambarkan turunnya debit aliran permukaan sejak tercapainya puncak sampai dengan akhir pengaruh hujan.

4. *Inflection point*

Setelah debitnya menurun, mulailah penarikan tampungan dari tanah karena kontribusi ‘*surface runoff*’ ke kontribusi ‘*ground water runoff*’

5. *Time lag/basin lag*

Adalah waktu yang diukur dari pusat *hyetografi* (pertengahan terjadinya hujan) sampai dengan puncak hidrograf.

6. *Time of concentration*

Adalah waktu yang diukur dari *hyetografi* sampai dengan ‘*inflection point*’ atau waktu antara berakhirnya hujan sampai dengan terjadinya debit puncak.

7. *Recession time*

Adalah waktu antara terjadinya puncak aliran sampai dengan berakhirnya pengaruh hujan terhadap aliran.

8. *Time base*

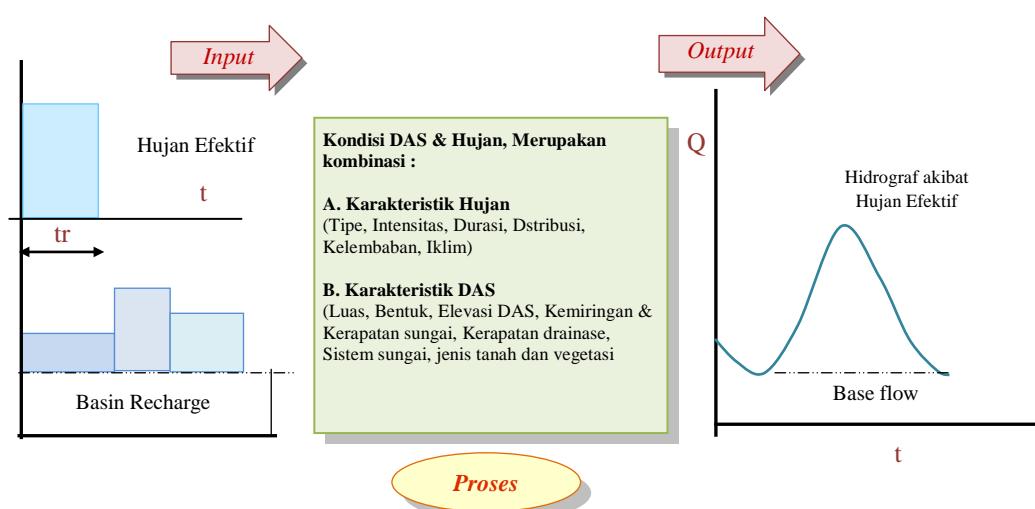
Adalah total waktu terjadinya pengaruh hujan terhadap aliran.

Besaran komponen dan bentuk dari kurva hidrograf menggambarkan proses terjadinya aliran di sungai sebagai akibat turunnya hujan di daerah tangkapan air (DTA) dari hidrograf yang bersangkutan. Karakteristik hujan biasanya dapat digambarkan melalui besaran, lama dan distribusi hujan dalam DTA, sedangkan karakteristik DTA dapat dideskripsikan melalui beberapa parameter yaitu : porositas tanah, kemiringan lahan, tata guna lahan dan morfologi sungai.

DTA dipandang sebagai suatu blok yang sistemnya ditandai oleh respon 'Q' *input* tertentu, sebagai berikut :

- *Input* : hujan efektif dan *basin recharge*
- Proses : merupakan kombinasi dari karakteristik hujan seperti : intensitas, durasi dan distribusi hujan; defisit kelembaban tanah; kondisi iklim serta karakteristik DAS seperti : luas DAS, bentuk DAS, elevasi DAS, rerata kemiringan sungai, kerapatan sungai, kerapatan drainase, susunan sistem sungai, jenis tanah serta jenis vegetasi penutup.
- *Response (out put)* : setiap DAS mempunyai karakteristik hujan dan kondisi fisik yang berbeda, sehingga hidrograf di setiap DAS mempunyai komponen hidrograf yang berbeda.

Hidrograf satuan secara skematis digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.2 Sistem Hidrograf Satuan

Sumber : Linsley Jr. R. K, 1996

2.4.1.2 Hidrograf Satuan

Hidrograf satuan adalah besarnya suatu limpasan langsung (*direct runoff*) dari suatu daerah tangkapan air akibat hujan efektif setinggi 1 mm (1 inch) yang turun selama 1 jam secara merata dan langgeng pada daerah tangkapan air tersebut. Hidrograf satuan menggambarkan respon dari daerah tangkapan air dalam menghasilkan *direct runoff* akibat eksistensi hujan setinggi 1 mm selama 1 jam.

Dalam konsep hidrograf satuan diasumsikan daerah tangkapan air berperilaku *linier* terhadap hujan yang turun. Dengan asumsi ini, aliran yang terjadi hanya dipengaruhi oleh karakteristik DAS, sehingga pengaruh distribusi hujan terhadap besaran dan distribusi aliran dapat ditentukan melalui konsep superposisi dari aliran tersebut akibat satuan hujan dalam mm/jam (inch/jam).

Dengan demikian DAS yang mempunyai karakteristik yang sama akan memiliki hidrograf satuan yang sama. Berdasarkan konsep ini, hidrograf aliran yang ditimbulkan oleh setiap hujan yang turun di suatu DAS dapat ditentukan dengan menggunakan hidrograf satuan.

Berdasarkan konsep hidrograf satuan, besarnya total volume dari aliran permukaan adalah sama dengan luas areal di bawah kurva dari hidrograf satuan, artinya sama dengan volume air setebal 1 mm (inch) yang berada di permukaan DAS.

Tujuan penggunaan hidrograf satuan adalah :

- Peramalan banjir akibat hujan maksimum
Peramalan banjir ini digunakan untuk mendesain bangunan banjir
- Memperpanjang data banjir berdasarkan pengamatan hujan
- Peramalan banjir dan ‘*warning system*’, yang berdasarkan data curah hujan

Batasan – batasan hidrograf satuan, antara lain :

- Distribusi hujan merata seluruh DAS
- Intensitas hujan mempunyai durasi yang konstan untuk hujan berlebih (*excessive rainfall*)
- Luas DAS maksimum 5.000 km²
- Untuk DAS yang luas, dapat dibagi menjadi beberapa Sub DAS dan dibuat hidrograf satuan. Hidrograf limpasaan langsung (DRH) dilakukan dengan penelusuran (*routing*) melalui kondisi sungai tertentu untuk mendapatkan DRH komposit pada titik yang ditinjau

- Untuk DAS yang kecil paling luasnya 200 ha
 - DAS tidak mempunyai tampungan yang besar (*storage*, kolam, tampungan tebing sungai), dimana tampungan ini akan mempengaruhi hubungan hujan dan debit

2.4.1.3 Konvolusi Hidrograf Satuan

Hidrograf satuan adalah grafik debit dengan waktu yang merupakan respon dari hujan yang besar dan durasi waktunya satu satuan. Misalnya besar hujan diambil 1 mm dan durasi 1 jam, ini akan menghasilkan suatu hidrograf :

- Ordinat debit tertentu
 - Besarnya debit maksimum tertentu
 - Lamanya waktu banjir tertentu

Untuk menghitung debit banjir yang sesungguhnya akan dipengaruhi oleh besarnya hujan dan lamanya durasi hujan yang terjadi. Besar debit banjir yang dimaksud adalah merupakan konvolusi dari hidrograf satuan yang telah dikalikan dengan besarnya hujan dan lamanya waktu jatuhnya hujan.

Prinsip hidrograf satuan dan konvolusi adalah sebagai berikut :

- Durasi hujan yang sama pada DAS yang sama akan menghasilkan waktu banjir yang sama/ tetap
 - Tinggi hujan 'P', akan menghasilkan tinggi koordinat hidrograf yang proporsional
 - Hujan dengan besar dan durasi tidak sama dengan satu satuan akan menghasilkan hidrograf yang proporsional. Dalam hal ini hasil hidrografnya adalah merupakan penggabungan/ konvolusi dari hidrograf satuannya

Persamaan konvolusi sebagai berikut :

dimana :

Q_n = Ordinat storm hydrograph

P_i = Kelebihan curah hujan

$U_i (j = n-i+1) = \text{Ordinat unit hydrograph}$

2.4.1.4 Hidrograf Satuan Sintetik

Hidrograf satuan sintetik (HSS) merupakan formula yang dikembangkan untuk memprediksi unit hidrograf dari suatu DAS berdasarkan korelasi antara karakteristik fisik DAS (terkait sifat pengaliran atau *direct runoff*) dengan karakteristik unit hidrograf DAS tersebut (debit puncak dan waktu puncak).

Hal ini dilakukan karena tidak semua DAS mempunyai stasiun pengamatan tinggi muka air automatik, umumnya hanya memiliki data pengukuran curah hujan harian, sehingga tidak dapat ditentukan hidrograf aliran sungainya.

Sebagai pendekatan hidrograf satuan yang sebenarnya, metoda empiris hidrograf satuan sintetik merupakan alternatifnya. Dengan hidrograf satuan sintetik dapat diketahui debit banjir rencana dari data hujan melalui transformasi *hyetograph* menjadi hidrograf aliran sungai.

Beberapa metode untuk perhitungan hidrograf satuan sintetis yang telah dikembangkan, antara lain : *Nakayasu Unit Hydrograph* dan *Snyder Unit Hydrogrph*.

A. *Nakayasu Unit Hydrograph*

Nakayasu telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang. Hasil penelitian dirumuskan dengan persamaan dan tahapan perhitungan sebagai berikut :

1. Data yang ada untuk diproses, meliputi : curah hujan R_{24} dalam mm, panjang sungai (L) dalam km, *catcment area* (A) dalam km^2
2. Curah hujan efektif tiap jam (*hourly of distribution of effective rainfall*)
 - a. Rata - rata hujan dari awal hingga jam ke - T

$$R_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T} \right)^{2/3} \dots \dots \dots \quad (2.20)$$

Keterangan :

R_t = Rerata hujan dari awal sampai jam ke t (mm/jam)

T = Waktu hujan sampai jam ke t

R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam

b. Distribusi hujan pada jam ke - T

$$R_T = t.R_i - (t-1).R_{(t-1)} \quad \dots \quad (2.21)$$

Keterangan :

R_T = Intensitas curah hujan pada jam t (mm/jam)

t = Waktu (jam)

R_i = Rerata hujan dari awal sampai jam ke t (mm/jam)

$R_{(t-1)}$ = Rerata curah hujan dari awal sampai jam ke (t - 1)

c. Hujan Efektif

$$R_e = C \cdot R_T \quad \dots \quad (2.22)$$

Keterangan :

R_e = Hujan efektif

C = Koefisien pengaliran sungai

R_T = Intensitas curah hujan (mm/jam)

Nilai koefisien pengaliran dicantumkan pada Tabel 2.7. Harga 'C' yang berbeda - beda umumnya disebabkan oleh topografi DAS dan perbedaan tata guna lahan.

3. Menentukan T_p , $T_{0,3}$ dan Q_p

$$T_p = T_g + 0,8 \cdot T_r \quad \dots \quad (2.23)$$

$$T_r = 0,5 T_g \text{ s/d } T_g \quad \dots \quad (2.24)$$

$$T_g = 0,4 + 0,058.L, \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \quad \dots \quad (2.25)$$

$$T_g = 0,21.L^{0,7}, \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \quad \dots \quad (2.26)$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g, \quad \alpha = 1,5 - 3 \quad \dots \quad (2.27)$$

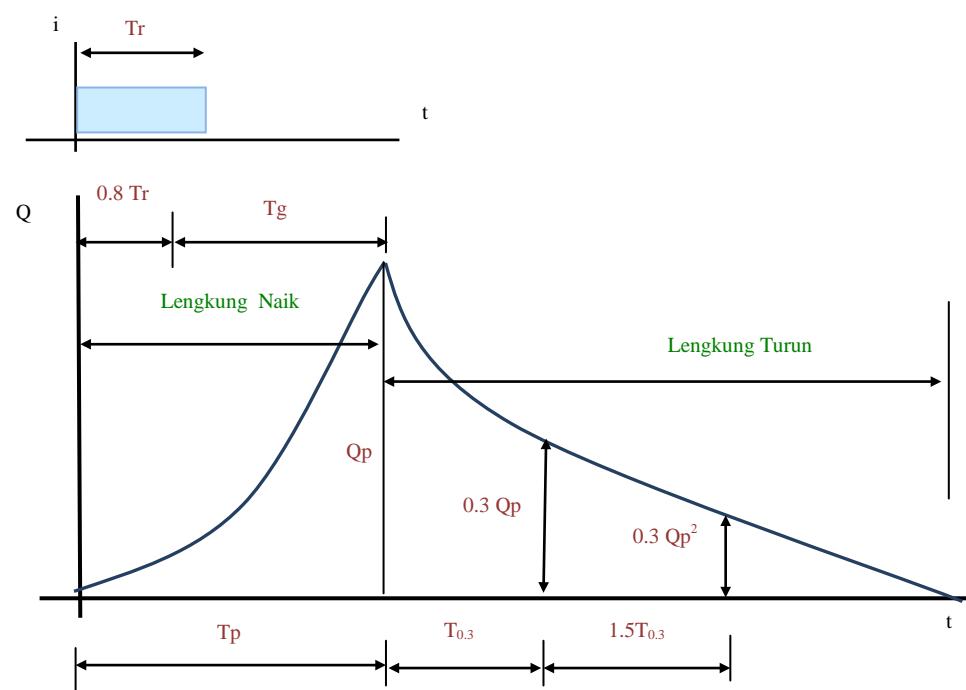
$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad \dots \quad (2.28)$$

$$T_b = T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3} + 2 T_{0,3} \quad \dots \quad (2.29)$$

Keterangan :

- Q_p = Debit puncak banjir (m^3/dt)
- C = Koefisien pengaliran
- A = Luas daerah aliran sungai (km^2)
- R_o = Hujan satuan = 1 mm
- T_p = Waktu puncak (jam)
- $T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan untuk penurunan debit, dari debit puncak menjadi 30 % dari debit puncak (jam)
- T_r = Satuan waktu hujan
- T_g = Waktu konsentrasi (jam), ditentukan berdasarkan L
- T_b = *Time base*

4. Menentukan keadaan kurva sebagai berikut :



Gambar 2.3 Hidrograf Satuan Sintetis Metode Nakayasu

Sumber : Soemarto, C. D, 1999

a) Keadaan kurva naik, dengan $0 < Q < Q_p$

$$Q = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2.4} \dots \dots \dots \quad (2.30)$$

a) Keadaan kurva turun dengan $Q > 0.3 Q_p$

$$Q = Q_p \cdot 0.3^{\left(\frac{t-T_p}{T_{0.3}} \right)} \dots \dots \dots \quad (2.31)$$

b) Keadaan Kurva Turun $0.3^2 \cdot Q_p < Q < 0.3 Q_p$

$$Q = Q_p \cdot 0.3^{\left(\frac{t-T_p+0.5T_{0.3}}{1.5T_{0.3}} \right)} \dots \dots \dots \quad (2.32)$$

c) Keadaan Kurva Turun $Q < 0.3^2 Q_p$

$$Q = Q_p \cdot 0.3^{\left(\frac{t-T_p+1.5T_{0.3}}{2T_{0.3}} \right)} \dots \dots \dots \quad (2.33)$$

Selanjutnya hubungan antara 't' dan Q/R_o untuk setiap kondisi kurva dapat digambarkan melalui grafik.

B. *Snyder Unit Hydrograph*

Snyder mengembangkan rumus dengan koefisien - koefisien empirik yang menghubungkan unsur - unsur hidrograf satuan dengan karakteristik daerah pengaliran dan menganalisa sejumlah hidrograf DAS di *Appalachian Mountain Region* (USA) dengan Luas DAS ($25 \text{ km}^2 - 25.000 \text{ km}^2$).

Hidrograf satuan tersebut ditentukan dengan cukup baik pada tinggi hujan ($d = 1 \text{ cm}$, dan dengan ketiga unsur yang lain, yaitu $Q_p (\text{m}^3/\text{detik})$, T_b serta $T_r (\text{jam})$.

Unsur - unsur hidrograf tersebut dihubungkan dengan :

$A = \text{Luas daerah pengaliran} (\text{km}^2)$

$L = \text{Panjang aliran utama} (\text{km})$

L_c = Jarak antara titik berat daerah pengaliran dengan pelepasan (*outlet*) yang diukur sepanjang aliran utama

Dengan unsur - unsur tersebut di atas Snyder membuat rumus- rumusnya seperti berikut :

$$t_p = C_t (L_c \times L)^{0.3} \quad \dots \dots \dots \quad (2.34)$$

$$t_r = \frac{t_p}{5.5} \quad \dots \dots \dots \quad (2.35)$$

$$Q_p = 2.78 \frac{C_p \times A}{\tau_p} \quad \dots \dots \dots \quad (2.36)$$

$$T_b = \frac{72 + 3T_p}{24} \quad \dots \dots \dots \quad (2.37)$$

Koefisien - koefisien C_t dan C_p harus ditentukan secara empirik, karena besarnya berubah - ubah antara daerah yang satu dengan yang lain.

C_t = Koefisien yang tergantung dari *slope basin* - nya, (0,75 – 3,00)

C_t , dapat menggunakan rumus pendekatan dari Taylor & Schawarz,

$$C_t = \frac{0.6}{\sqrt{s}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.38)$$

C_p = Koefisien yang tergantung dari karakteristik DAS (0,40 – 0,80)

Belakangan banyak digunakan rumus Snyder yang telah diubah. Perubahan tersebut terletak pada :

- Pangkat 0.30 pada rumus (2.34) diganti dengan 'n' sehingga menjadi :

$$t_p = C_t (L_c \times L)^n \quad \dots \dots \dots \quad (2.39)$$

- t_r pada rumus (2.35) diganti dengan t_e yang merupakan durasi curah hujan efektif, sedangkan $t_r = 1$ jam. Lamanya curah hujan efektif (t_e), dipengaruhi langsung oleh *time lag*, hubungan ini diperlihatkan dalam suatu bentuk persamaan :

$$t_e = \frac{t_p}{5.5} \quad \dots \dots \dots \quad (2.40)$$

- Hubungan t_e , t_p , t_r dan T_p adalah sebagai berikut :

Bila : $t_e > t_r$:

$$t_p' = t_p + 0.25 (t_r - t_e) \quad \dots \dots \dots \quad (2.41)$$

Sehingga didapat waktu yang diperlukan untuk mencapai debit maksimum.

$$T_p = t_p' + 0.50 t_r \quad \dots \dots \dots \quad (2.42)$$

Bila $t_e < t_r$:

$$T_p = t_p + 0.50 t_r \quad \dots \dots \dots \quad (2.43)$$

$$q_p = 0,278 \frac{C_p}{T_p} \quad \dots \dots \dots \quad (2.44)$$

$$Q_p = q_p \times A \quad (\text{untuk hujan } 1 \text{ mm/jam}) \quad \dots \dots \dots \quad (2.45)$$

dimana :

t_e = Lamanya curah hujan efektif

t_r = Lama curah hujan efektif

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

n = Koefisien proporsional (0.10 – 0.38)

Q_p = Debit puncak ($\text{m}^3/\text{det/mm}$)

q_p = Puncak hidrograf satuan ($\text{m}^3/\text{det/mm/km}^2$)

S = Kemiringan rata - rata daerah pengaliran

h = Tinggi hujan = 1 mm

Fungsi - fungsi lain yang digunakan adalah :

$$T_p = C_t \left\{ \frac{L \times L_c}{S} \right\}^n \quad \dots \dots \dots \quad (2.46)$$

$$T_b = 5 + (T_p + t_r/2) \quad \dots \dots \dots \quad (2.47)$$

Snyder hanya membuat rumus empiris untuk menghitung debit puncak Q_p dan waktu yang diperlukan untuk mencapai puncak T_p dari suatu hidrograf, untuk mendapatkan lengkung hidrografnya memerlukan waktu untuk mengkalibrasi parameter - parameternya. Untuk mempercepat proses tersebut digunakan rumus Alexeyev, yang memberikan bentuk hidrograf satuannya.

Bentuk dari unit hidrograf ditentukan oleh persamaan Alexeyev :

$$Q = f(t) \quad \dots \dots \dots \quad (2.48)$$

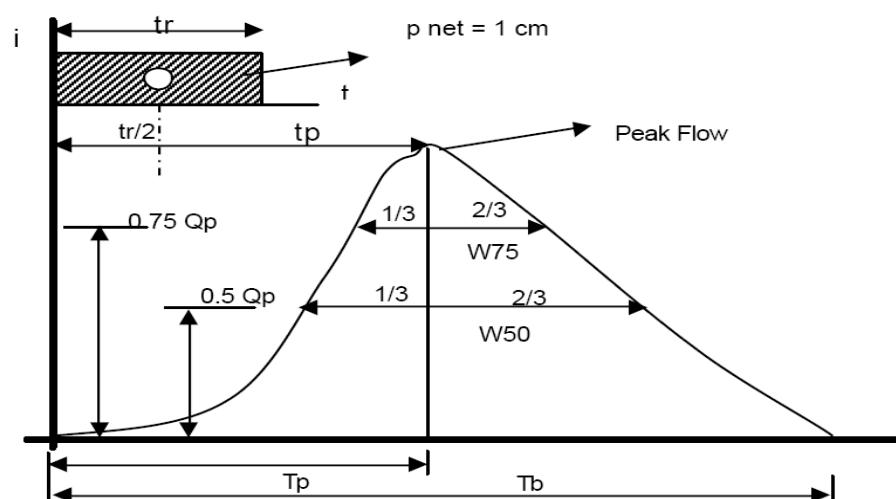
$$Y = \frac{Q}{Q_p} \quad \dots \dots \dots \quad (2.49)$$

$$x = \frac{t}{t_p} \quad \dots \dots \dots \quad (2.50)$$

$$Y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.51)$$

$$a = 1.32 \lambda^2 + 0.15 \lambda + 0.045 \quad \dots \dots \dots \quad (2.52)$$

$$\lambda = \frac{Q_p \times T_p}{h \times A} \quad \dots \dots \dots \quad (2.53)$$



Gambar 2.4 Hidrograf Satuan Metode Snyder dengan Persamaan Alexeyev

Sumber : Soemarto, C. D, 1999

2.4.2 Analisis Debit Banjir dengan HEC - HMS

Menurut Sri Harto (2000) pengalihragaman hujan - aliran adalah suatu proses transformasi air hujan menjadi aliran yang sebenarnya, air hujan mengalir dari hulu ke hilir sampai titik kontrol sebagai aliran permukaan yang akhirnya menjadi limpasan. Dalam proses transformasi untuk mengetahui perubahan air hujan menjadi aliran dibutuhkan suatu aturan (ketetapan/ model) yang mencerminkan karakteristik DAS dalam memproses pengalihragaman hujan - aliran.

Salah satu model dalam pengalihragaman hujan menjadi aliran adalah model HEC - HMS. Dalam ‘*Hydrologic Modeling System (HEC - HMS) Technical Reference Manual*, 2000’, model HEC - HMS merupakan program komputer untuk menghitung pengalihragaman hujan dan proses *routing* pada suatu sistem DAS. Software ini dikembangkan oleh Hydrologic Engineering Centre (HEC) dari US Army Corps Of Engineers.

Dalam model ini, pengalihragaman hujan menjadi aliran terdiri dari beberapa metode, dimana setiap model yang dipilih mempunyai *input* yang berbeda. Model yang terdapat dalam HEC - HMS dapat digunakan untuk menghitung volume *runoff*, *direct runoff*, *base flow* dan *channel flow*. Perhitungan dan penyelesaian masing - masing model mempunyai komponen berupa variabel tetap, parameter, kondisi batas dan kondisi awal.

Simulasi hujan – *runoff* – *routing* dalam program HEC – HMS ini mempunyai komponen model sebagai berikut :

1. Model hujan (*precipitation*)
2. Model *losses* untuk menghitung volume *runoff*
3. Model *direct runoff* (*overland flow* dan *interflow*)
4. Model *baseflow*
5. Model *hydrologic routing* (*channel flow*)
6. Model *water control measures*, meliputi : *diversion* dan *storage*

2.5 Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

Penelusuran banjir adalah proses analisis untuk menentukan bentuk dari hidrograf banjir suatu daerah yang diterapkan pada saluran sungai atau waduk (*reservoir*), sebagai hasil dari pengukuran atau hipotesis banjir pada lokasi lain.

Dasar dari prosedur penelusuran banjir dapat dilakukan dengan cara persamaan tampungan (*storage equation*), tampungan merupakan fungsi dari aliran keluar (*outflow*).

Persamaan kontinuitas dapat dinyatakan sebagai :

atau

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{t_1}^{t_2} I.dt - \int_{t_1}^{t_2} O.dt \quad \dots \quad (2.55)$$

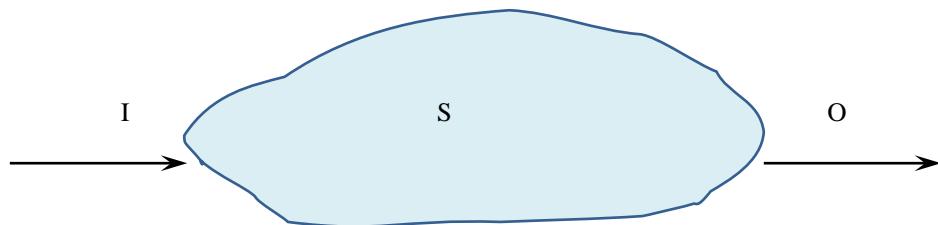
dimana :

I = Laju aliran masuk (*inflow rate*)

O = Laju aliran keluar (*outflow rate*)

S = Simpanan (*storage*)

t = Waktu



Gambar 2.5 Konsep Penelusuran Banjir

Sumber : Soemarto, C. D, 1999

Agar bentuk persamaannya lebih mudah digunakan dalam penelusuran banjir secara hidrologis, maka umumnya dianggap bahwa aliran rata-rata pada waktu t_1 dan t_2 , yaitu pada awal dan akhir periode penelusuran (*routing periods*), adalah sama dengan aliran rata - ratanya selama periode tersebut, selanjutnya diberi notasi t , maka persamaanya menjadi :

$$S_2 - S_1 = \frac{I_1 + I_2}{2} \cdot t - \frac{O_1 + O_2}{2} \cdot t \quad \dots \quad (2.56)$$

dimana :

- I_1 = *Inflow* pada waktu permulaan periode penelusuran
- I_2 = *Inflow* pada akhir penelusuran
- O_1 = *Outflow* pada waktu permulaan periode penelusuran
- O_2 = *Outflow* pada akhir penelusuran
- S_1 = Tampungan pada awal penelusuran
- S_2 = Tampungan pada akhir penelusuran
- t = Waktu penelusuran

2.6 Model Hidraulik Sungai

Analisis hidraulik sungai dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas tampung alur sungai serta profil muka air banjir rencana dengan berbagai kala ulang. Analisis hidraulik akan menghitung seberapa jauh pengaruh pengendalian banjir secara struktural terhadap tinggi muka air banjir dan luapan banjir yang terjadi.

Perhitungan analisis hidraulik sungai dalam kajian ini menggunakan software *Hydrologic Engineering Centre - River Analysis System (HEC - RAS)* yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center* milik *U.S Army Corps of Engineer*.

HEC - RAS adalah sistem perangkat lunak terpadu dirancang untuk penggunaan interaktif dalam lingkungan multi - tugas. Sistem terdiri dari *Graphic User Interface (GUI)*, komponen terpisah analisis hidraulik, penyimpanan data dan kapabilitas manajemen, penyimpanan data dan fasilitas pelaporan serta grafis.

Sistem HEC - RAS mempunyai 3 (tiga) komponen analisis hidraulik satu dimensi untuk keperluan :

- Perhitungan/ simulasi profil muka air kondisi *steady flow*
- Perhitungan/ simulasi profil muka air kondisi *unsteady flow*
- Perhitungan *sedimen transport* batas yang *movable*

Ketiga komponen ini akan menggunakan representasi data geometrik dan perhitungan umum hidraulik.

Secara umum tahapan kegiatan yang dilakukan untuk analisis hidraulik adalah :

- Skematisasi sungai
- *Input* data geometrik dan karakteristik sungai, data debit banjir, data pasang surut, data material sungai, data laju sedimentasi sungai dan data terkait lainnya sesuai kebutuhan analisis
- Proses perhitungan profil muka air banjir dan angkutan sedimen
- Analisis *output* model yaitu profil muka air banjir untuk periode ulang tertentu dan pola angkutan sedimen yang terjadi

A. Kebutuhan data

Kebutuhan data pada analisis hidraulik secara umum, antara lain : data kondisi dan karakteristik sungai berupa data geometri sungai, data kekasaran sungai dan data aliran sungai (data debit banjir rencana), data pasang surut, data material sungai dan data laju sedimentasi di sungai serta data terkait lain yang sesuai kebutuhan analisis.

a. Geometri Sungai

Geometri sungai adalah : alur, palung, lembah sungai secara vertikal dan horizontal, dimana parameter yang diperlukan adalah : panjang, lebar, kemiringan, elevasi dan kekasaran.

Data geometri sungai didapat melalui pengukuran morfologi di sepanjang sungai yang bersangkutan, data - data tersebut adalah sebagai berikut :

- Data koordinat as sungai atau tebing sungai yang ditinjau untuk menyusun skematisasi sungai
- Posisi titik percabangan sungai dan lokasi bangunan sungai yang ada
- Data potongan memanjang sungai yang meliputi : jarak memanjang pada as, tebing kiri dan tebing kanan serta elevasi dasar sungai, tebing kiri dan tebing kanan
- Data *cross section* sungai dari muara ke arah hulu yang didapat dari hasil pengukuran topografi sungai
- Posisi batas palung sungai (tebing kiri dan tebing kanan) pada data *cross section*
- Angka kekasaran *Manning* (n) pada palung sungai dan bantaran sungai

b. Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit suatu sungai yang besarnya didasarkan kala ulang atau periode tertentu. Pada perhitungan hidraulik sungai, penelusuran aliran puncak dilakukan dengan kriteria bahwa hidrograf aliran masuk untuk setiap anak sungai (*lateral inflow*) menggunakan hidrograf banjir dengan beberapa kala ulang.

Data debit banjir rencana yang dibutuhkan adalah data yang telah dihitung pada analisis hidrologi dengan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun untuk setiap titik tinjauan.

c. Pasang Surut

Pasang surut air laut adalah proses suatu gerakan naik turunnya muka air laut dimana amplitudo dan fasenya berhubungan terhadap geofisika yang periodik, yaitu gaya yang ditimbulkan oleh adanya gerakan reguler benda - benda angkasa. Dari semua benda angkasa yang mempengaruhi, proses pembentukan pasang surut air laut, hanya bumi, matahari dan bulan yang sangat berkaitan, melalui 3 (tiga) gerakan utama yang menentukan denyut paras laut di bumi. Ketiga gerakan tersebut adalah : rotasi bumi, revolusi bulan terhadap bumi dan revolusi bumi terhadap matahari.

2.6.1 Komponen Aliran dan Persamaan dalam HEC - RAS

a. Aliran langgeng (*steady flow*)

Komponen pada model ini digunakan untuk menghitung profil muka air pada kondisi aliran langgeng (*steady*). Sistem ini dapat digunakan pada sebuah saluran, jaringan, atau sebuah jaringan besar termasuk saluran dan saluran kecil lainnya. Komponen pada *steady flow* dapat dimodelkan pada kondisi aliran sub kritis, super kritis dan sistem gabungan profil muka air.

Dasar perhitungan didasarkan pada solusi satu dimensi energi. Energi yang hilang disebabkan oleh gesekan (persamaan *Manning*) dan penyempitan serta pelebaran (koefisien tambahan dari perubahan dalam tinggi kecepatan).

Persamaan momentum digunakan dalam situasi dimana profil muka air mengalami perubahan tiba - tiba.

Situasi ini termasuk dengan sistem perhitungan aliran gabungan (contoh : lompatan air) atau aliran pada jembatan dan perubahan muka air pada pertemuan saluran (arus di persimpangan).

b. Aliran tidak langgeng (*unsteady flow*)

Komponen untuk aliran tidak langgeng dikembangkan untuk perhitungan aliran sub kritis. Perhitungan hidraulik untuk *cross section*, jembatan, gorong - gorong dan struktur hidraulik lainnya yang dikembangkan untuk komponen aliran langgeng digabung dengan perhitungan aliran tidak langgeng. Komponen untuk aliran tidak langgeng digunakan untuk model tampungan dan hubungan hidraulik dengan tampungan.

c. Profil muka air pada aliran langgeng

HEC – RAS dapat melakukan perhitungan profil muka air satu dimensi untuk aliran langgeng berubah lambat laun pada saluran alami dan buatan. Sub kritis, super kritis dan sistem gabungan aliran profil muka air dapat dianalisis.

d. Persamaan dasar

Profil muka air yang dihitung dari satu *cross section* ke *cross section* berikutnya diselesaikan dengan persamaan energi yang dinamakan *Metode Standar – Step*.

Persamaan energi dapat dilihat sebagai berikut :

$$Y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2g} = Y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} + h_e \quad \dots\dots\dots \quad (2.57)$$

Keterangan :

Y_1, Y_2 = Tinggi kedalaman pada *cross section* 1 dan 2 (m)

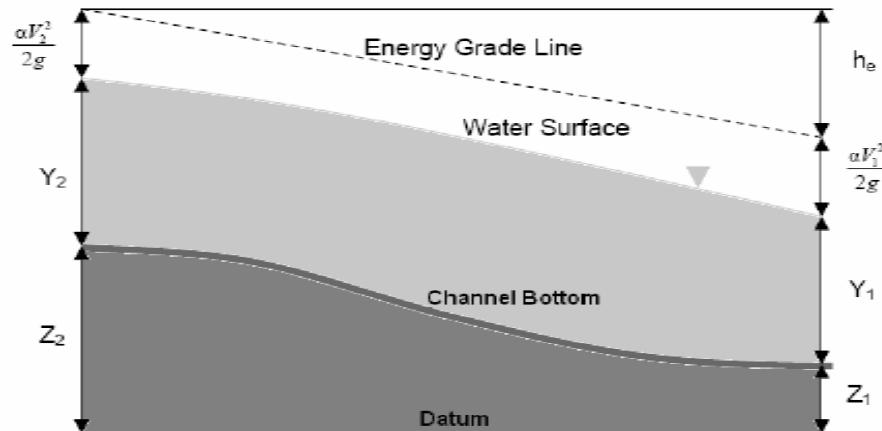
z_1, z_2 = Elevasi dasar saluran pada *cross section* 1 dan 2 (m)

α_1, α_2 = Koefisien kecepatan

v_1, v_2 = Kecepatan (m/dt)

- g = Gravitasi (m/dt)
 h_e = Kehilangan energi (m)

Diagram batas persamaan energi ditunjukkan pada Gambar 2.6 seperti dibawah ini.



Gambar 2.6 Parameter Penyusun Persamaan Energi

Sumber : US Army Corps of Engineers, 2010

Tinggi energi yang hilang (h_e) diantara 2 (dua) *cross section* disebabkan oleh kehilangan akibat gesekan dan kehilangan akibat penyempitan atau pelebaran.

Persamaan tinggi energi yang hilang tersebut adalah sebagai berikut :

$$h_e = L \cdot \overline{S_f} + c \left[\frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (2.58)$$

Keterangan :

- h_e = Tinggi energi yang hilang (m)
 L = Panjang bidang gesekan dari 2 (dua) titik pengamatan (m)
 $\overline{S_f}$ = Kemiringan rata - rata dasar saluran antara 2 (dua) *cross section*
 c = Koefisien kehilangan akibat penyempitan dan pelebaran
 α_1, α_2 = Koefisien kecepatan

v_1, v_2 = Kecepatan (m/dt)

g = Gravitasi (m/dt^2)

L dihitung dengan menggunakan rumus :

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.59)$$

Keterangan :

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} = Panjang bidang gesekan antara 2 (dua) *cross section* untuk aliran di sebelah kiri tanggul, tengah saluran dan kanan tanggul

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$ = Debit aliran di bagian kiri tanggul, tengah saluran dan kanan tanggul

e. Perhitungan debit pada *cross section* di setiap bagian aliran sungai

Penentuan untuk debit total dan koefisien kecepatan untuk sebuah *cross section* membutuhkan pembagian aliran menjadi unit – unit, karena kecepatan aliran tidak terdistribusi merata.

Pada HEC - RAS pendekatan yang digunakan adalah pembagian area pada bagian wilayah tanggul dengan menggunakan batasan nilai - nilai ‘n’ yang ada pada *cross section* tersebut (lokasi dimana nilai ‘n’ berubah) sebagai dasar pembagian (Gambar 2.10).

Debit yang dihitung di dalam masing - masing sub area di wilayah tanggul dipakai rumus *Manning*, adalah sebagai berikut :

$$Q = k \cdot S_f^{1/2} \quad \dots \dots \dots \quad (2.60)$$

$$k = \frac{1,486}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \quad \dots \dots \dots \quad (2.61)$$

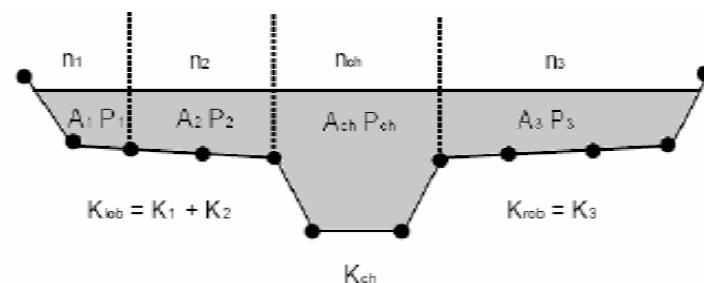
Keterangan :

Q = Debit (m^3/dt)

k = Koefisien pengaliran untuk sub area

- S_f = Kemiringan dasar sungai
 n = Koefisien kekasaran *Manning* untuk sub area
 A = Luas penampang basah (*cross section*) sub area (m^2)
 R = Radius hidraulik untuk sub area (m)

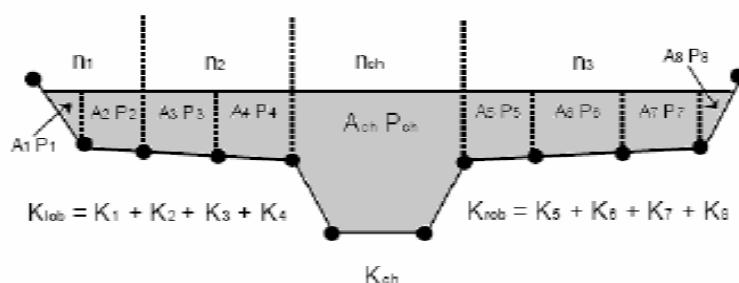
Program HEC – RAS menjumlahkan semua aliran sub area di tanggul untuk memperoleh aliran kiri dan kanan tanggul. Pada bagian tengah, aliran dihitung secara normal sebagai sebuah elemen. Total aliran untuk *cross section* tersebut diperoleh dengan menjumlahkan 3 (tiga) bagian aliran pada kiri, tengah dan kanan.



Gambar 2.7 Metode Pembagian Aliran pada HEC - RAS

Sumber : US Army Corps of Engineers, 2010

Sebuah metode alternatif pada HEC – RAS adalah menghitung aliran diantara setiap titik koordinat di dalam sisi tanggul (Gambar 2.11). Aliran kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan nilai total aliran di sisi kiri dan kanan tanggul.



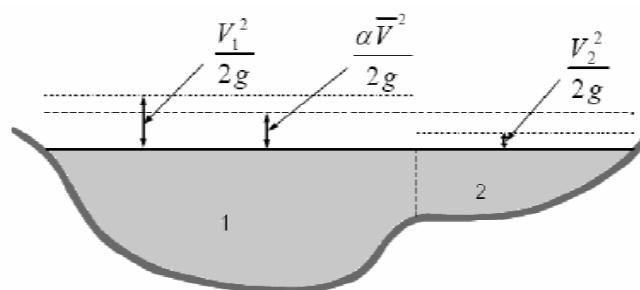
Gambar 2.8 Alternatif Metode Pembagian Aliran

Sumber : US Army Corps of Engineers, 2010

f. Evaluasi tinggi rata - rata energi kinetik

HEC – RAS adalah program satu dimensi untuk menentukan profil muka air, maka hanya satu muka air dan untuk sebuah energi rata - rata yang dihitung pada masing - masing *cross section*. Untuk elevasi muka air yang diberikan, rata - rata energi diperoleh melalui perhitungan bagian energi aliran dari 3 (tiga) sub bagian sebuah *cross section* (kiri tanggul, tengah dan kanan tanggul).

Gambar 2.12 di bawah ini menunjukkan bagaimana energi rata - rata akan diperoleh untuk sebuah *cross section*, dengan komposisi aliran utama dan area kanan tanggul (tidak ada area kiri tanggul).



V_1 = Kecepatan rata - rata untuk sub area 1

V_2 = Kecepatan rata - rata untuk sub area 2

Gambar 2.9 Contoh Cara Memperoleh Energi Rata - Rata

Sumber : US Army Corps of Engineers, 2010

Untuk menghitung energi kinetik rata - rata ini diperlukan nilai koefisien α yang dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$\alpha \frac{v^2}{2g} = \frac{Q_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + Q_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \dots \quad (2.62)$$

$$\alpha = \frac{2g \left(Q_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + Q_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} \right)}{(Q_1 + Q_2)^{-2}} \dots \quad (2.63)$$

$$\alpha = \frac{(Q_1 \cdot v_1^2 + Q_2 \cdot v_2^2)}{(Q_1 + Q_2) \cdot v} \quad \dots \quad (2.64)$$

$$\alpha = \frac{Q_1 \cdot v_1^2 + Q_2 \cdot v_2^2 + \dots + Q_n \cdot v_n^2}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot v_i^{-2}} \quad \dots \quad (2.65)$$

Keterangan :

α = Koefisien kecepatan

v_1, v_2, v_n = Kecepatan rata - rata untuk sub area 1, 2 ... n (m/dt)

g = Gravitasi (m/dt²)

Q_1, Q_2, Q_n = Debit untuk sub area 1, 2 ... n (m/dt)

\bar{V} = Kecepatan rata - rata pada *cross section* (m/dt)

Secara umum α dihitung berdasarkan aliran di dalam 3 (tiga) elemen, yaitu : kiri tanggul, kanan tanggul dan aliran tengah. Dapat juga ditulis persamaannya sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{\left(A_t\right)^2 \cdot \left(\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right)}{K_t^3} \quad \dots \quad (2.66)$$

Keterangan :

A_t = Luas total penampang pada *cross section* (m^2)

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} = Luas aliran untuk kiri tanggul, tengah saluran dan kanan tanggul berturut-turut (m^2)

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} = Aliran (*conveyances*) untuk kiri tanggul, tengah saluran dan kanan tanggul berturut-turut

K_t = Aliran (*conveyances*) total pada cross section

2.6.2 Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Untuk simulasi model HEC – RAS diperlukan kondisi batas yang berguna untuk mengontrol perhitungan, sehingga diperoleh hasil yang baik untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi. Kondisi batas yang ada di sungai terbagi atas 2 (dua) yaitu kondisi batas hulu (*upstream boundary condition*) dan kondisi batas hilir (*downstream boundary condition*). Kondisi batas hulu berupa hidrograf banjir periode ulang tertentu, sedangkan kondisi batas untuk hilir berupa data *normal depth*, *critical depth* atau data pasang surut.

2.6.3 Angkutan Sedimen (*Sediment Transport*)

Sungai adalah jalur aliran air di atas permukaan bumi yang disamping mengalirkan air juga mengangkut sedimen yang terkandung di dalamnya. Sedimen yang terangkut tersebut terdiri dari : sedimen dasar (*bed load*) dan sedimen melayang (*suspended load*). Gerak sedimen yang senantiasa terjadi menyebabkan perubahan dasar sungai, ada bagian yang mengalami degradasi dan bagian lainnya mengalami agradasi. Bilamana suatu sungai mencapai keseimbangan, kapasitas angkutan untuk air dan sedimen dalam kondisi seimbang dengan laju ketersediaan (Kodoatie R.J dan Sjarief R, 2005).

Kodoatie R.J dan Sjarief R (2005) menyatakan juga bahwa tidaklah mungkin untuk menentukan beban sedimen dengan pasti dari suatu sungai berdasarkan persamaan – persamaan yang ada. Artinya, walaupun banyak persamaan telah dikembangkan, tidak ada satupun persamaan angkutan sedimen dalam aliran pada saluran terbuka yang betul dan akurat serta dapat diaplikasikan di semua kondisi.

Dalam prakteknya, beberapa persamaan angkutan sedimen dapat digunakan dan hasilnya dapat dibandingkan dengan data observasi lapangan guna memperoleh persamaan yang sesuai/ mendekati.

Secara umum, persamaan angkutan sedimen untuk berbagai ukuran partikel dapat direpresentasikan sebagai berikut :

Tabel 2.8 Parameter *Input* untuk Beberapa Formula Angkutan Sedimen

NO.	NAMA FORMULA	DIAMETER PARTIKEL d (mm)	DIAMETER MEDIAN PARTIKEL dm (mm)	BERAT JENIS SEDIMEN s	KECEPATAN RERATA V (ft/s)	KEDALAMAN SALURAN D (ft)	SLOPE S	LEBAR SALURAN W (ft)	SUHU AIR T (°F)
1	Ackers - White (flume)	0.040 - 7.000	NA	1.000 - 2.700	0.070- 7.100	0.010 - 1.400	0.00006 - 0.037	0.230 - 4.000	46 - 89
2	Englund - Hansen (flume)	NA	0.190 - 0.930	NA	0.650 - 6.340	0.190 - 1.330	0.000055 - 0.019	NA	45 - 93
3	Laursen (field)	NA	0.080 - 0.700	NA	0.068 - 7.800	0.670 - 54.000	0.000021 - 0.0018	63.000 - 3640.000	32 - 93
4	Laursen (flume)	NA	0.011 - 29.000	NA	0.700 - 9.400	0.030 - 3.600	0.00025 - 0.025	0.250 - 6.600	46 - 83
5	Meyer - Peter Muller (flume)	0.400 - 29.000	NA	1.250 - 4.000	1.200 - 9.400	0.030 - 3.900	0.0004 - 0.02	0.500 - 6.600	NA
6	Tofaletti (field)	0.062 - 4.000	0.095 - 0.760	NA	0.700 - 7.800	0.070 - 56.700 (R)	0.000002 - 0.0011	63.000 - 3640.000	32 - 93
7	Tofaletti (flume)	0.062 - 4.000	0.450 - 0.910	NA	0.700 - 6.300	0.070 - 1.100 (R)	0.00014 - 0.019	0.800 - 8.000	40 - 93
8	Yang (field - sand)	0.150 - 1.700	NA	NA	0.800 - 6.400	0.040 - 50.000	0.000043 - 0.028	0.440 - 1750.000	32 - 94
9	Yang (field - gravel)	2.500 - 7.000	NA	NA	1.400 - 5.100	0.080 - 0.720	0.0012 - 0.029	0.440 - 1750.000	32 - 94

Sumber : *US Army Corps of Engineers*, 2008

Beberapa persamaan angkutan sedimen yang ada sampai saat ini, adalah sebagai berikut (*US Army Corps of Engineers*, 2008) :

1. Meyer - Peter Muller (1948)

Metode Meyer - Peter dan Muller (MPM) merupakan salah satu formula yang paling awal dikembangkan dan masih menjadi salah satu metode yang paling banyak digunakan. Persamaan angkutan *bed load* dikembangkan dari percobaan di saluran dengan kondisi dasar pasir dan kerikil. Sebagian besar data dikembangkan dari sedimen ukuran kerikil yang relative seragam. MPM sangat bagus diterapkan pada kondisi dasar dalam rentang kerikil, dan cenderung memberikan hasil yang lebih kecil untuk material halus.

Wong (2003) dan Wong & Parker (2007) memperbaiki formula ini dengan memodifikasi persamaan *excess shear*.

2. Acker dan White (1973)

Metode untuk menghitung angkutan sedimen total ini dikembangkan berdasarkan data percobaan di saluran untuk gradasi yang relatif seragam mulai dari pasir sampai kerikil halus. Hidrodinamika yang dipilih untuk mewakili berbagai konfigurasi dasar terdiri dari : *ripple*, *dune* dan *plane bed*.

Dalam metode ini, *suspended load* merupakan fungsi dari kecepatan geser sementara *bed load* adalah fungsi dari tegangan geser.

3. Engelund Hansen (1967)

Metode untuk menghitung angkutan sedimen total ini dikembangkan berdasarkan data eksperimen di saluran untuk gradasi pasir yang relatif seragam antara 0,19 mm dan 0,93 mm. Kelebihan dari metode ini adalah formula yang tidak rumit dan relatif sederhana. Angkutan sedimen dinyatakan dalam fungsi kecepatan saluran, kecepatan geser dasar dan d_{50} material sedimen.

Metode ini sebaiknya diterapkan untuk sedimen dengan gradasi pasir.

4. Laursen - Copeland (1968)

Metode Laursen merupakan formula untuk menghitung angkutan sedimen total. Awalnya dibuat berdasarkan penelitian di saluran dan kemudian dikembangkan oleh Madden dengan memasukkan data Sungai Arkansas.

Metode ini merupakan formula dasar dari *excess shear* dan rasio dari kecepatan geser terhadap kecepatan jatuh.

Kemudian, Copeland (1989) mengembangkan formula tersebut untuk angkutan sedimen kerikil, sehingga metode ini dapat digunakan menghitung *bed load*. Laursen juga memperluas pengembangan metode ini untuk penggunaan angkutan sedimen ukuran partikel lumpur.

Saat ini, tidak ada formula lain yang dikembangkan untuk ukuran partikel lumpur. Penelitian terbaru di Universitas Colorado USA telah menunjukkan bahwa formula Laursen mempunyai performa yang melebihi metode lainnya dalam perhitungan angkutan sedimen ukuran partikel lumpur.

5. Toffaleti (1968)

Seperti Engelund - Hansen, Toffaleti adalah formula untuk menghitung angkutan sedimen total, dikembangkan terutama pada kondisi ukuran partikel lebih besar dari pasir. Metode ini dirumuskan dari analisis regresi yang menggambarkan hubungan antara sedimen dan karakteristik hidraulik, sehingga tidak terkait dengan kecepatan geser atau *bed shear*.

Formula ini telah digunakan dengan hasil yang bagus pada sistem yang besar seperti Sungai Mississippi, Sungai Arkansas, dan Sungai Atchafalaya, sehingga dikenal dengan ‘formula sungai besar’. Selain itu, persamaan Toffaleti menggunakan 2 (dua) ukuran butir yang berbeda, d_{50} dan d_{65} .

6. Yang (1973, 1984)

Metode Yang merupakan formula untuk angkutan sedimen total yang berbasis pada *stream power* (kecepatan dan tegangan geser). Fungsi ini dikembangkan dan diuji melalui berbagai percobaan di saluran dan data lapangan.

Persamaan ini terdiri dari 2 (dua) hubungan terpisah untuk angkutan pasir dan kerikil dan sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran, dan kecepatan jatuh.

Selain yang tersebut di atas, masih ada beberapa metode lainnya, antara lain : Einsten (1950), Colby (195,1961,1964), Shinohara & Tsubaki (1959), Garde & Albertson (1961), Bagnold (1966), Engelund – Hansen (1967), Shen & Hun (1972) dan Brownlie (1981).

2.7 Kajian Pengendalian Banjir

Perkembangan jumlah penduduk dan meningkatnya kegiatan manusia mengakibatkan perubahan fungsi lingkungan yang berdampak negatif terhadap kelestarian sumber daya air dan meningkatnya daya rusak air. Hal ini mendorong pemerintah untuk melakukan pengaturan terhadap sumber daya air, yaitu dengan diundangkannya Undang – Undang (UU) No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air. Salah satu hal yang ditekankan dan diatur dalam undang - undang tersebut adalah pengendalian daya rusak air yang merupakan satu dari 3 (tiga) komponen pokok dalam pengelolaan sumber daya air, selain konservasi sumber daya air dan pendayagunaan sumber daya air.

Pengaturan mengenai pengendalian daya rusak air diperinci dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 42 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air. Dalam BAB VII PP tersebut dijelaskan bahwa pengendalian daya rusak air meliputi upaya : pencegahan sebelum bencana, penanggulangan pada saat terjadi bencana dan pemulihan akibat bencana.

Upaya pencegahan dilakukan, baik melalui kegiatan fisik/ dan non fisik maupun penyeimbangan daerah hulu dan hilir. Kegiatan fisik dilakukan melalui pembangunan sarana dan prasarana yang ditujukan untuk mencegah kerusakan dan/ atau bencana yang diakibatkan oleh daya rusak air. Penyeimbangan daerah hulu dan hilir dilakukan dengan mekanisme penataan ruang dan pengoperasian prasarana sungai sesuai dengan kesepakatan para pemilik kepentingan.

Banjir sebagai salah satu bentuk daya rusak air, pengendaliannya dilakukan sesuai dengan analisis daerah rawan banjir yang didasarkan pada data dan peta kejadian banjir, serta input hidrograf banjir rencana sesuai dengan periode ulang tertentu. Selanjutnya dilakukan analisis hidraulik pada ruas sungai tersebut untuk mengetahui/mengidentifikasi profil muka air banjir dan daerah yang terjadi genangan, sehingga dapat disusun alternatif upaya pengendalian banjir.

Upaya pengendalian banjir dimaksudkan untuk memperkecil dampak negatif dari bencana banjir, antara lain korban jiwa, kerusakan harta benda, kerusakan lingkungan dan terganggunya kegiatan sosial ekonomi.

Prinsip pengendalian banjir adalah sebagai berikut :

1. Menahan air sebesar mungkin di hulu dengan membuat waduk serta konservasi tanah dan air
2. Meresapkan ke dalam tanah air hujan sebanyak mungkin dengan sumur - sumur resapan dan menyediakan daerah terbuka hijau
3. Mengendalikan air di bagian tengah dengan menyimpan sementara di daerah *retensi*
4. Mengalirkan air secepatnya ke muara atau ke laut dengan menjaga kapasitas wadah air
5. Mengamankan penduduk, prasarana vital dan harta benda

2.7.1 Konsep Dasar Pengendalian Banjir

Dalam rangka pelaksanaan Kajian Pengendalian Banjir DAS Cipunagara Kabupaten Subang, diperlukan suatu konsep dan pendekatan analisis yang tepat untuk menggambarkan permasalahan dan rencana pemecahan masalah tersebut. Pengendalian banjir merupakan bagian dari pengelolaan sumberdaya air secara luas, dengan cakupan yang meliputi konservasi, pengendalian dan pendayagunaan air.

Konsep dasar pengendalian banjir adalah menahan debit puncak aliran dan angkutan sedimen di bagian hulu. Memperlambat waktu rayapan banjir dan menahan debit puncak dengan melandaikan hidrograf aliran, sehingga debit puncak banjir yang terjadi di bagian hilir menjadi lebih kecil. Menahan sedimen di bagian hulu akan berpengaruh pada kestabilan alur sungai, sehingga kapasitas alur tetap cukup menampung debit banjir yang telah tereduksi.

Usaha - usaha yang secara teknis dapat dilaksanakan di bagian hulu sungai adalah sebagai berikut :

1. Rehabilitasi lahan dan konservasi tanah dengan melakukan *reforestation*
2. Pembuatan bendung penahan sedimen dan *groundsill* di alur sungai untuk menahan sedimen dan melandaikan lereng sungai sehingga dapat menurunkan debit banjir
3. Daerah rendah/ rawa dapat dimanfaatkan sebagai penampungan debit banjir sementara (*retarding basin*), sebelum debit tersebut dialirkan kembali ke sungai setelah banjir di sungai mulai surut
4. Studi potensi waduk untuk pengendalian debit banjir

Konsep dalam mengatasi permasalahan banjir secara umum dikenal sebagai pengendalian banjir (*flood control*) atau pengurangan kerugian akibat banjir (*flood mitigation/flood damage mitigation*).

Ada 2 (dua) bentuk upaya yang dilakukan dalam pengendalian banjir, yaitu upaya struktural (*structural measures*) yang bersifat aktif, dengan upaya yang cenderung pada rekayasa teknis, bertujuan untuk memodifikasi besaran banjir dan memodifikasi tingkat kerawanan banjir. Debit banjir (Q , m^3/dt) adalah fungsi dari kecepatan aliran (V , m/dt) dan luas penampang sungai (A , m^2). Upaya pengendalian banjir dapat dilakukan dengan pendekatan terhadap ketiga komponen banjir tersebut.

Adapun tindakan yang dapat dilakukan dalam hal ini diantaranya adalah :

1. Mengatur debit puncak banjir (Q), misalnya dengan waduk/ reservoir
2. Melokalisir aliran banjir dalam suatu alur yang sudah diperbesar penampangnya dengan pembuatan tanggul (*dyke*), tembok banjir (*flood walls*) dan sejenisnya. Dalam hal ini yang diperbesar adalah penampang sungainya (A)
3. Memperbesar kecepatan aliran (V) melalui perbaikan alur sungai, misalnya dengan normalisasi, mengatur *bed slope*, memperpendek panjang alur (*short cut*) atau dengan *lining system* pada bagian - bagian tertentu
4. Memperkecil debit (Q) yang masuk dengan jalan membuat sudetan/ *bypass* atau *flood ways* ke sungai atau DAS lainnya
5. Memperkecil debit (Q) melalui upaya perbaikan lahan di daerah aliran sungai (*watershed management*)

Selain *structural measures* ada upaya pengendalian banjir yang disebut dan dikenal sebagai *non structural measures*, dimana lebih menekankan pada aspek pengaturan dan rekayasa sosial dalam rangka memperkecil kerugian akibat banjir, antara lain :

1. Sosialisasi dan penyamaan persepsi yang berkaitan dengan upaya pengendalian banjir
2. Pengelolaan DAS (*watershed management*) yang *non structural measures*
3. Perlindungan banjir (*flood proofing*)
4. *Flood Warning System*
5. Pengelolaan dataran banjir (*flood plain management*)
6. Penyesuaian tipikal rumah dengan level banjir
7. Penegakkan hukum (*law enforcement*)
8. Evakuasi penduduk dan relokasi bangunan
9. Pemberdayaan kelembagaan dan masyarakat

Sedangkan menurut Kodoatie, R.J dan Sjarief R. (2005) metode pengendalian banjir dijelaskan sebagai berikut :

1. Metode Struktur

A. Bangunan Pengendali Banjir :

- Bendungan (dam)
- Kolam retensi
- Pembuatan *check dam* (penangkap sedimen)
- Bangunan pengurangan kemiringan sungai
- *Groundsill*
- *Retarding basin*
- Pembuatan polder

B. Perbaikan dan Pengaturan Sistem Sungai :

- Sistem jaringan sungai
- Pelebaran atau pengerukan sungai (normalisasi sungai)
- Perlindungan tanggul
- Tanggul banjir
- Sudetan
- *Floodway*

Beberapa alternatif upaya struktural pengendalian banjir yang sering digunakan diantaranya adalah : normalisasi, tanggul, *retarding basin* dan waduk.

2. Metode Non Struktur

- Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS)
- Pengaturan tata guna lahan
- *Law Enforcement*
- Pengendalian erosi di DAS
- Pengaturan dan pengembangan daerah banjir

2.7.2 Strategi Pengendalian Banjir

Dalam melakukan pengendalian banjir perlu disusun strategi agar dapat dicapai hasil yang diharapkan. Strategi pengendalian banjir meliputi :

1. Pengendalian tata ruang

Pengendalian tata ruang dilakukan dengan perencanaan penggunaan ruang sesuai kemampuannya dengan mempertimbangkan permasalahan banjir, pemanfaatan lahan sesuai dengan peruntukannya, penegakan hukum terhadap pelanggaran rencana tata ruang yang telah memperhitungkan Rencana Induk Pengembangan Wilayah Sungai

2. Pengaturan debit banjir

Pengaturan debit banjir dilakukan melalui kegiatan pembangunan dan pengaturan, antara lain : bendungan dan waduk banjir, tanggul banjir, palung sungai, pembagi atau pelimpah banjir, daerah retensi banjir dan sistem polder

3. Pengaturan daerah rawan banjir

Pengaturan daerah rawan banjir dilakukan dengan cara :

- Pengaturan tata guna lahan dataran banjir (*flood plain management*)
- Penataan daerah lingkungan sungai, seperti : penetapan garis sempadan sungai, peruntukan lahan di kiri kanan sungai, penertiban bangunan di sepanjang aliran sungai

4. Peningkatan peran masyarakat

Peningkatan peran masyarakat dalam pengendalian banjir yang diwujudkan dalam :

- Pembentukan forum peduli banjir sebagai wadah bagi masyarakat untuk berperan dalam pengendalian banjir
- Bersama dengan pemerintah dan pemerintah daerah dalam menyusun dan mensosialisasikan program pengendalian banjir
- Mentaati peraturan tentang pelestarian sumber daya air, antara lain dengan tidak melakukan kegiatan kecuali dengan ijin dari pejabat yang berwenang untuk :
 - mengubah aliran sungai
 - mendirikan, mengubah atau membongkar bangunan - bangunan di dalam atau melintas sungai
 - membuang benda - benda/ bahan - bahan padat dan atau cair ataupun yang berupa limbah ke dalam maupun di sekitar sungai yang diperkirakan atau patut diduga akan mengganggu aliran
 - penggerukan atau penggalian bahan galian C dan atau bahan lainnya

5. Pengaturan untuk mengurangi dampak banjir terhadap masyarakat, melalui :

- Penyediaan informasi dan pendidikan
- Rehabilitasi, rekonstruksi dan atau pembangunan fasilitas umum
- Melakukan penyelamatan, pengungsian dan tindakan darurat lainnya
- Penyesuaian pajak
- Asuransi banjir

6. Pengelolaan Daerah Tangkapan Air

Pengelolaan daerah tangkapan air dalam pengendalian banjir antara lain dapat dilakukan melalui kegiatan :

- Pengaturan dan pengawasan pemanfaatan lahan (tata guna hutan, kawasan budidaya dan kawasan lindung)

- Rehabilitasi hutan dan lahan yang fungsinya rusak
- Konservasi tanah dan air baik melalui metoda vegetatif, kimia, maupun mekanis
- Perlindungan/ konservasi kawasan - kawasan lindung

7. Penyediaan dana

Penyediaan dana dapat dilakukan dengan cara :

- Pengumpulan dana banjir oleh masyarakat secara rutin dan dikelola sendiri oleh masyarakat pada daerah rawan banjir
- Penggalangan dana oleh masyarakat umum di luar daerah yang rawan banjir
- Penyediaan dana pengendalian banjir oleh pemerintah dan pemerintah daerah

Penentuan alternatif pengendalian banjir didasarkan pada pola pengelolaan DAS terpadu, dimana komponennya adalah sebagai berikut :

- Satu rencana untuk keseluruhan DAS
- Rencana terpadu untuk perlindungan terhadap banjir
- Kebutuhan akan pengendalian banjir menjadi bagian dari keseluruhan rencana
- Partisipasi multi sektor
- Masukan dari berbagai disiplin
- Pemahaman terhadap kontrol geomorfologis

2.7.3 Tanggul Sebagai Alternatif Pengendalian Banjir

Sosrodarsono dan Masateru (1985) menyatakan bahwa tanggul adalah salah satu bangunan utama dan penting dalam usaha melindungi kehidupan dan harta benda masyarakat terhadap genangan - genangan yang disebabkan oleh banjir dan badai.

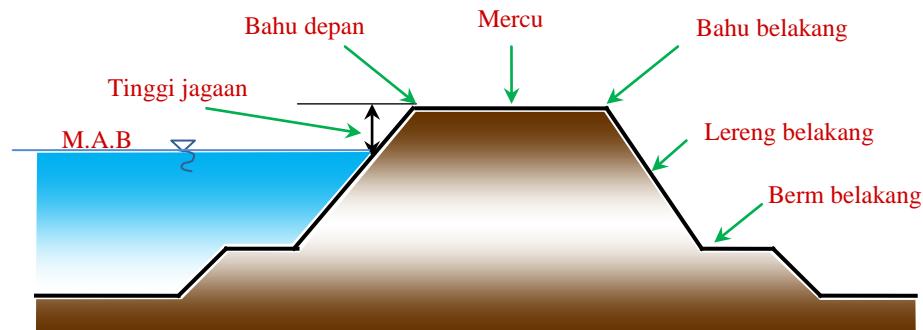
Tanggul dibangun terutama dengan konstruksi urugan tanah, karena tanggul merupakan bangunan menerus yang sangat panjang serta membutuhkan bahan urugan dengan volume besar.

Berdasarkan fungsi, dimensi tempat dan bahan yang dipakai, serta kondisi topografi setempat, tanggul dibedakan sebagai berikut :

- Tanggul utama, bangunan tanggul sepanjang kiri dan kanan sungai guna menampung debit banjir rencana
- Tanggul sekunder, tanggul yang dibangun sejajar tanggul utama yang berfungsi untuk pertahanan kedua, apabila terjadi kebobolan pada tanggul utama
- Tanggul terbuka, tanggul yang dibangun tidak secara menerus atau terputus - putus untuk mengalirkan sebagian banjir melalui celah - celah tanggul
- Tanggul pemisah, tanggul yang dibangun diantara dua buah sungai yang berdekatan, agar arus sungai pada muara kedua sungai tidak saling mengganggu
- Tanggul melingkar, tanggul yang dibangun untuk melindungi areal - areal yang luas dan penting
- Tanggul sirip, tanggul yang dibangun secara melintang sungai untuk melindungi areal pertanian akibat debit banjir
- Tanggul pengarah, tanggul yang dibangun sebagai pengarah arus di muara sungai untuk menjaga agar muara sungai tidak mudah berpindah – pindah
- Tanggul keliling, tanggul yang dibangun di sebelah luar *retarding basin*
- Penyadap banjir, yaitu tanggul sebagai penyadap sebagian aliran banjir, pada saat muka air banjir di sungai melampaui ketinggian yang diperkirakan
- Tanggul pasang, tanggul yang dibuat di sekeliling rawa atau danau yang dipengaruhi pasang surut air laut

Bentuk penampang melintang tanggul rencana dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain : tinggi dan lamaa muka air banjir, elevasi tanah/ lokasi yang akan dilindungi, pondasi, material timbunan yang tersedia, serta nilai ekonomis tanah dan harta benda yang dilindungi.

Bentuk penampang melintang dan bagian – bagian tanggul dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.10 Bagian – Bagian Tanggul

Sumber : Sosrodarsono dan S. Masateru, T, 1985

Bagian – bagian utama tanggul yang harus direncanakan meliputi :

1) Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan yang merupakan tambahan tinggi pada tanggul untuk menampung loncatan air dari permukaan air sungai yang sedang mengalir, walaupun debit masih lebih rendah dari debit rencana. Loncatan ini dapat terjadi akibat adanya ombak, gelombang, loncatan hidraulis pada saat terjadi banjir.

Tinggi jagaan tanggul dan mercu tanggul diatur dalam tabel berikut :

Tabel 2.9 Standar Tinggi Jagaan dan Lebar Puncak Tanggul

Debit banjir Rencana (m^3/dt)	Batasan	
	Tinggi Jagaan (m)	Lebar Puncak Tanggul (m)
< 200	0.6	3.0
200 – 500	0.8	3.0
500 – 2000	1.0	4.0
2000 – 5000	1.2	5.0
5000 – 10000	1.5	6.0
> 10000	2.0	7.0

Sumber : Sosrodarsono dan S. Masateru, T, 1985

2) Lebar Mercu Tanggul

Mercu tanggul diperlukan dalam rangka pencegahan banjir seperti pencegahan bobolnya tanggul akibat limpasan atau akibat gelombang. Mercu tanggul direncanakan berdasarkan kestabilan dan peruntukannya sebagai jalan inspeksi.

3) Kemiringan Lereng Tanggul

Penentuan kemiringan lereng tanggul penting dalam perencanaan tanggul. Secara teoritis kemiringan lereng ditinjau berdasarkan karakteristik mekanika tanah bahan tanggul, sehubungan dengan infiltrasi air yang mungkin terjadi dan membahayakan stabilitas tanggul tersebut. Dalam keadaan biasa tanpa perkuatan, lereng tanggul direncanakan dengan kemiringan 1 : 2 atau lebih kecil.

4) Pelindung Tanggul

Berdasarkan analisis dan kondisi lokasi, maka pelindung tanggul dipilih, antara lain :

- a. Pelindung lereng tanggul hulu dan hilir dengan gebalan rumput
- b. Pelindung kaki tanggul dengan drainase tumit atau dengan perkuatan kaki tanggul dengan pasangan
- c. Kebocoran pada tanggul mungkin terjadi melalui tubuh tanggul atau pondasi tanggul, sehingga diperlukan drainase lereng tanggul, pelindung lereng depan tanggul atau perlu dibangun pemballast untuk memperbesar penampang tanggul

2.7.4 Normalisasi/ Galian Alur Sungai Sebagai Alternatif Pengendalian Banjir

Normalisasi adalah pekerjaan penggalian sedimen/ endapan di sungai yang dapat dilaksanakan dengan tenaga manusia maupun alat berat. Tujuan kegiatan ini dalam kaitan upaya pengendalian banjir menurut Sosrodarsono dan Masateru (1985) adalah untuk meningkatkan kapasitas aliran alur sungai dengan memperlebar/ memperdalam alur sungai tersebut, sehingga memungkinkan elevasi banjir lebih rendah daripada kondisi eksisting.

Pelaksanaan normalisasi/ galian alur sungai dilakukan berdasarkan perhitungan yang teliti dengan memperhatikan hal – hal sebagai berikut :

- kemampuan pengaliran sungai secara keseluruhan
- kondisi areal yang akan diamankan dari banjir
- stabilitas tanggul dan tebing sungai
- kondisi bangunan – bangunan yang melintang sungai, seperti bendung, jembatan dan lain – lain
- lokasi dan kapasitas daerah buangan

Jika dilakukan tanpa upaya lain, maka kegiatan ini dimungkinkan hanya memperbesar kapasitas alur sungai untuk sementara, karena kondisi sedimentasi akan terulang lagi, sehingga konsekuensinya harus dilakukan secara periodik.

2.7.5 *Retarding Basin* sebagai Alternatif Pengendalian Banjir

Daerah rendah sangat diperlukan untuk menampung volume banjir yang datang dari arah hulu, untuk sementara waktu dan dilepaskan kembali pada waktu banjir surut. Kondisi lapangan berdasarkan survey, peta topografi dan foto udara sangat menentukan lokasi *retarding basin*. Umumnya *retarding basin* dibuat pada bagian hulu pada suatu wilayah sungai (Kodoatie dan Sugiyanto, 2002).

Daerah datar/ rawa yang akan digunakan sebagai daerah cekungan/ depresi harus memperhatikan :

- Pemanfaatan *retarding basin/ pond* untuk mengendalikan banjir dan bermanfaat efektif untuk daerah yang ada di bagian hilir
- Daerah tersebut mempunyai potensi dan efektif untuk dijadikan kolam penampungan banjir sementara
- Daerah tersebut mempunyai *head/ energi* yang cukup (perbedaan muka air banjir antara di sungai dan muka air banjir di kolam)
- Daerah tersebut mempunyai area atau volume tampungan yang besar untuk banjir

Adapun langkah - langkah pertimbangan teknis yang harus diperhatikan adalah :

a. Pola hidrograf *inflow – outflow* banjir

Dengan adanya kolam penampungan banjir sementara, maka sebagian banjir di sungai dialirkan ke kolam, sehingga akan merubah bentuk hidrograf banjir sebelum kolam dan sesudah kolam. Melalui *flood routing* dapat diketahui bentuk hidrograf banjir di sebelah hilir kolam (*outflow hydrograph*).

Maka berdasarkan bentuk *inflow* dan *outflow* hidrograf dapat diketahui penurunan debit banjir puncak dan waktu perlambatan di sebelah hilirnya.

Pada waktu banjir di sungai besar, maka sebagian volume banjir masuk ke kolam dan pada waktu surut, maka air di kolam kembali dilepas ke sungai.

b. Daerah cekungan untuk kolam banjir sementara

Untuk mengetahui area dan volume cekungan, perlu dilakukan pengukuran teristik untuk daerah yang tidak tergenang air dan dilakukan pengukuran *sounding* untuk daerah yang tergenang air. Melalui pemetaan dan pengukuran luas dan volume dapat diperoleh grafik hubungan antara elevasi dan volume/ area kolam.

Untuk mengrtahui seberapa jauh pengaruh kolam pengendali banjir perlu dilakukan *flood routing*, sehingga diperoleh bentuk *outflow* hidrograf banjir di hilir kolam, dan penurunan debit banjir puncak serta perlambatan banjir di hilir kolam.

c. Tanggul kolam penampungan banjir sementara

Maksud dibangunnya kolam pengendali banjir adalah untuk melokalisir air banjir di kolam sehingga tidak menggenangi daerah peruntukan yang tidak diinginkan tergenang. Melalui peta topografi daerah kolam dapat ditentukan jalur tanggul yang diperlukan di sekeliling kolam.

d. Bangunan pintu pengatur banjir sementara

Bangunan pintu dimaksudkan untuk mengatur debit banjir yang akan masuk dan keluar kolam.

2.7.6 Alternatif Pengendalian Banjir Non Struktural

Dalam UU No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air dijelaskan bahwa pengendalian daya rusak air dilakukan secara menyeluruh, salah satunya mencakup upaya pencegahan, baik melalui kegiatan fisik (struktural) maupun non fisik (non struktural).

Pengelolaan DAS secara terpadu merupakan salah satu metode paling efektif dalam pengendalian banjir. Namun hal tersebut membutuhkan waktu yang lama untuk implementasinya dan lebih lama lagi untuk menjadi sangat efektif. Secara umum pengelolaan DAS yang dimaksud meliputi :

a. Terasering

Terasering digunakan untuk mengontrol erosi daerah pertanian di lereng yang curam di bagian hulu DAS

b. Penghijauan

Tujuan dari penghijauan adalah mengurangi laju limpasan dengan meningkatkan penyimpanan air dan infiltrasi ke dalam tanah serta mengurangi erosi karena aliran permukaan. Pengendalian erosi merupakan elemen penting dari sistem pengendalian banjir, mengingat erosi menyebabkan sedimentasi di bagian hilir yang akan menaikkan level dasar sungai, sehingga dapat mengakibatkan banjir.

Penghijauan meliputi : penghutanan kembali di hulu DAS, penghijauan di bagian tengah DAS dengan sistem pertanian yang sesuai, penanaman kembali areal yang terganggu, seperti tebing di sisi jalan dan sisi terasering dan pembuatan pagar tanaman untuk menangkap sedimen dari aliran permukaan.

Metode - metode tersebut masih jarang digunakan dalam pengendalian banjir dan erosi, mengingat dibutuhkan waktu yang relatif lama untuk mengimplementasikannya.

c. Pengendalian tata guna lahan

Pengendalian tata guna lahan dilakukan dengan maksud untuk mengurangi limpasan dan erosi, kegiatannya meliputi :

- Kontrol penebangan hutan
- Perlindungan hutan

- Penggunaan tanaman pertanian permanen di lereng curam
 - Penanaman pohon di lereng curam
 - Pengendalian tata guna lahan mungkin sulit diimplementasikan tanpa adanya peraturan yang ketat
 - Pemberian insentif bagi masyarakat di bagian hulu merupakan salah satu alternatif menjamin terlaksananya pengaturan tata guna lahan
- d. Penanaman jalur air (*waterways*)
- Penanaman jalur air merupakan metode kontrol erosi di saluran drainase yang relative murah dari segi ekonomi
- e. Sistem tampungan banjir
- Sistem tampungan dimaksudkan untuk menahan sebagian debit banjir di bagian hulu DAS guna mengurangi limpasan banjir di bagian hilir
- f. Pengendalian daya rusak air
- Pengendalian daya rusak air diperlukan untuk mengurangi erosi dan sedimentasi di bagian hilir sungai yang menyebabkan agradasi (naiknya dasar sungai), sehingga dapat meningkatkan tinggi muka air sungai

Perubahan tata guna lahan dalam suatu DAS dapat menyebabkan gangguan fungsi hidrologis, perubahan rezim aliran, perubahan kualitas air permukaan, permasalahan air tanah, baik kualitas maupun kuantitas. Perubahan - perubahan tersebut mengakibatkan permasalahan lingkungan (Wangsaatmaja, S. dkk, 2006).