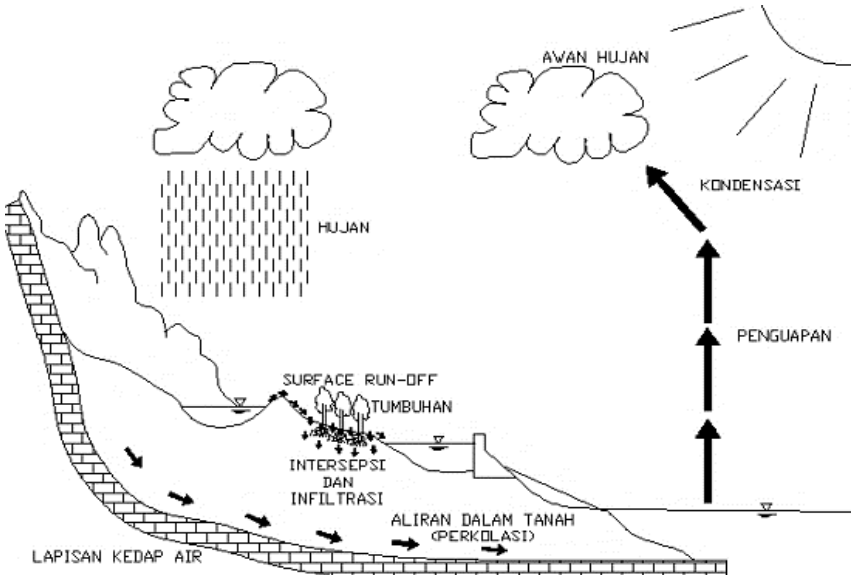
BAB 2
LANDASAN TEORI

2.1 Siklus Hidrologi

Triatmodjo (2008) menjelaskan bahawa siklus hidrologi merupakan proses kontinyu dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali lagi ke bumi. Siklus tersebut terjadi melalui beberapa tahapan yaitu *kondensasi, presipitasi, evaporasi, intersepsi, perkolasi* dan *infiltrasi*.



Gambar 2.1 Siklus hidrologi (Triatmodjo, 2008)

Air yang berada dipermukaan tanah dan laut mengalami penguapan akibat energi panas matahari, uap air tersebut bergerak ke atmosfer dan mengalami *kondensasi* yang kemudian menjadi awan hujan (*presipitasi*). Air hujan yang jatuh ke bumi sebagian akan diserap oleh tumbuhan (*intersepsi*) atau kembali lagi ke atmosfer melalui penguapan (*evaporasi*) dan transpirasi (*evapotranspirasi*), sebagian meresap ke dalam tanah (*infiltrasi*) dan sebagian lainnya akan mengalir diatas permukaan tanah (*surface run-off*) mengisi cekungan tanah, danau, sungai, laut dan sebagian mengalir ke dalam tanah (*perkolasi*) mengisi air tanah.

2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 menerangkan bahwa Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan sebagai satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungai yang berfungsi untuk menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami. Wilayah daratan tersebut dinamakan Daerah Tangkapan Air (DTA) yang merupakan suatu ekosistem dengan unsur utamanya yang terdiri atas sumberdaya alam (tanah, air, dan vegetasi) dan sumberdaya manusia (Asdak, 2007). DAS merupakan suatu kesatuan yang sistematis, dimana terdapat *input* (curah hujan), proses (ekosistem DAS) dan *output* (debit, aliran permukan, erosi, sedimentasi dan sebagainya). Komponen *output* berupa debit aliran merupakan salah satu komponen yang dapat dijadikan sebagai dasar dalam kajian analisis kondisi hidrologis suatu DAS. Suripin (2002) menyatakan bahwa kualitas suatu DAS dapat diukur berdasarkan fluktuasi debit sungai yang mengalir dalam beberapa kondisi curah hujan yang berbeda.

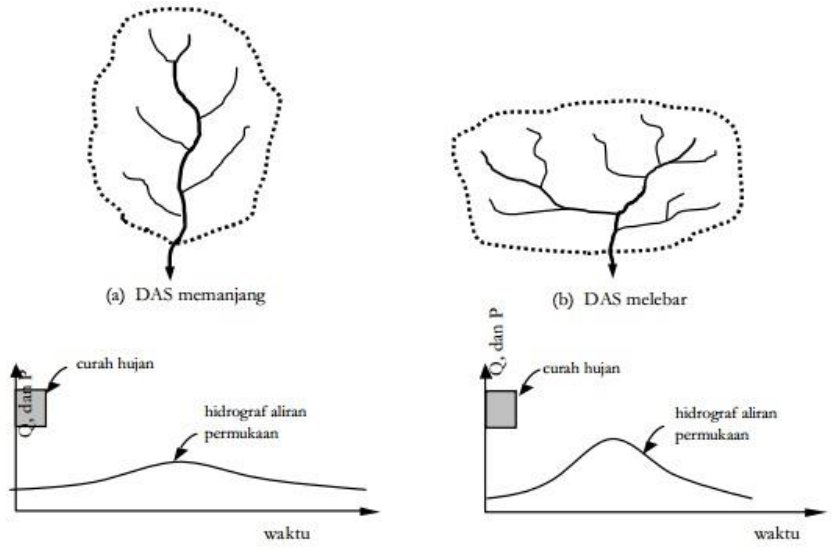
Ada banyak komponen hidrologi yang mempengaruhi kualitas suatu DAS. Namun ada beberapa yang menjadi fokus utama dan perlu menjadi perhatian diantaranya adalah koefisien rejim sungai (KRS). Nilai tersebut merupakan perbandingan antara debit harian rata-rata maksimum dan debit harian rata-rata minimum. Selain KRS, nisbah/perbandingan debit maksimum (Q_{max}) dan debit minimum (Q_{min}) juga dapat dievaluasi untuk melihat keadaan DAS secara makro . Kualitas DAS juga ditentukan oleh nilai koefisien aliran permukaan (C). Koefisien aliran permukaan (C) merupakan bilangan yang menyatakan perbandingan antara besarnya aliran permukaan terhadap jumlah curah hujan.

2.2.1 Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS)

Suripin (2003) menjelaskan bahwa karakteristik suatu daerah aliran sungai (DAS) akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain luas dan bentuk dari DAS itu sendiri, kondisi topografi, kondisi geologi serta vegetasi tutupan lahan atau tata guna lahan.

1. Luas dan Bentuk DAS

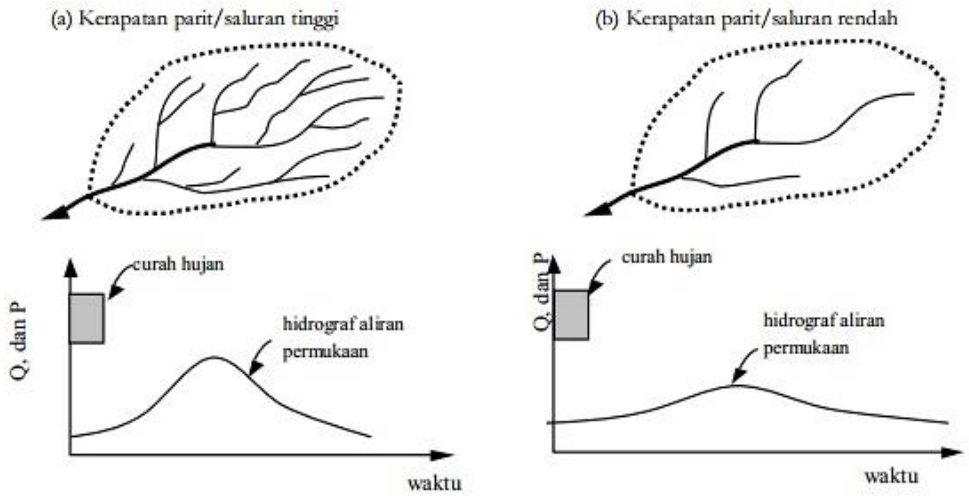
   Luas DAS akan mempengaruhi kecepatan dan volume aliran permukaan, semakin luas suatu DAS maka volume aliran permukaan semakin besar. Sedangkan bentuk suatu DAS berpengaruh terhadap pola aliran dalam sungai. Pada curah hujan dan intensitas yang sama, tapi dengan bentuk DAS yang berbeda mengakibatkan kecepatan aliran permukaan (*surface runoff*) dari bentuk DAS yang memanjang dan sempit akan lebih besar dari pada bentuk DAS yang melebar atau melingkar. Hal ini terjadi karena waktu konsentrasi pada DAS memanjang terjadi lebih lama dibandingkan dengan DAS yang melebar, sehingga terkonsentrasinya air di titik kontrol lebih lambat dan hal ini berakibat pada laju dan volume aliran permukaan.



Gambar 2.2 Pengaruh bentuk DAS pada *surface runoff* (Suripin, 2004)

2. Kondisi Topografi

Kondisi topografi seperti *slope*, keadaan dan kerapatan parit/saluran, serta bentuk-bentuk cekungan lainnya mempengaruhi kecepatan dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan adanya cekungan. Kerapatan parit sendiri dapat memperpendek waktu konsentrasi sehingga memperbesar laju aliran permukaan.



Gambar 2.3 Pengaruh kerapatan parit pada hidrograf (Suripin, 2004)

3. Tata Guna Lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Koefisien ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Niali C berkisar antara 0-1. Nilai C yang mendekati angka nol menunjukkan bahwa kondisi DAS tersebut masih dalam keadaan baik dan sebaliknya nilai C yang semakin mendekati angaka satu menunjukkan bahwa kondisi DAS dalam keadaan semakin rusak.

4. Kondisi geologi

   Kondisi geologi mempengaruhi laju infiltrasi sehingga dapat mempengaruhi aliran permukaan. Kecepatan dan jumlah air yang meresap ke dalam tanah merupakan fungsi dari jenis tanah, kelengasan tanah, permeabilitas tanah, penutup tanah, *drainase*, *water table*, intensitas dan jumlah hujan.

2.2.2 Pengelolaan Ekosistem Daerah Aliran Sungai (DAS)

Kegiatan pengelolaan DAS merupakan proses formulasi dan implementasi kegiatan yang bersifat manipulasi sumberdaya alam dan manusia yang terdapat dalam ekosistem DAS untuk memperoleh manfaat produksi dan jasa lingkungan yang optimal tanpa menyebabkan kerusakan. Asdak (2007) membagi daerah kajian ekosistem suatu DAS menjadi tiga daerah, yaitu:

1. Daerah hulu sungai

   Daerah hulu sungai merupakan daerah konservasi dengan karakteristik alam berupa *slope* tajam, bukan daerah banjir ataupun genangan, kerapatan drainasenya tinggi, vegetasi penutup lahan umumnya merupakan tegakan hutan dan pemakaian air ditentukan oleh pola drainase.

2. Daerah hilir sungai

   Daerah hilir merupakan daerah pemanfaatan dengan karakteristik alam berupa *slope* kecil sampai landai, merupakan daerah banjir dan genangan, vegetasi didominasi oleh tanaman pertanian serta pemakaian airnya diatur dengan berbagai prasarana pengairan seperti bendungan/waduk dan irigasi.

3. Daerah tengah sungai

   Daerah aliran sungai bagian tengah merupakan daerah transisi dari kedua karakteristik biogeofisik DAS hulu dan hilir.

2.2.3 Kerapatan Jaringan Sungai

Peraturan Direktur Jenderal Nomor: P.3/V-SET/2013 dalam Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) menerangkan bahwa kerapatan sungai merupakan suatu angka indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai di dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Kerapatan aliran sungai tersebut menggambarkan kapasitas penyimpanan air permukaan dalam cekungan-cekungan seperti danau, rawa dan badan sungai yang mengalir di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Oleh karenanya, kerapatan sungai merupakan salah satu faktor yang erat kaitannya dalam penggambaran kondisi hidrologi suatu Daerah Aliran Sungai (DAS).

Daerah Aliran Sungai (DAS) yang mempunyai banyak anak sungai berarti mempunyai kerapatan jaringan sungai yang besar. Kerapatan daerah aliran pada sungai dapat mempengaruhi kecepatan air larian. Semakin tinggi kerapatan daerah aliran maka semakin besar pula kecepatan air larian untuk curah hujan yang sama. Daerah aliran dengan kerapatan daerah yang tinggi maka debit puncak akan tercapai dalam waktu yang lebih cepat. Kerapatan aliran sungai dapat dihitung dari rasio total panjang jaringan sungai terhadap luas Daerah Aliran Sungai (DAS) yang bersangkutan. Indeks kerapatan aliran sungai dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$Dd = \frac{L}{A}$$ ..... Persamaan 1

Dengan:

Dd = indeks kerapatan aliran sungai (km/km^2)

L = jumlah panjang sungai termasukpanjanganak-anak sungai (km)

A = luas DAS (km^2)

Tabel 2.1 Indeks Kerapatan Jaringan Sungai

No	D_d (km/km^2)	Kelas Kerapatan	Keterangan
1	<0.25	Rendah	Alur sungai melewati batuan dengan resistensi keras maka angkutan sedimen terangkut aliran sungai lebih kecil jika dibandingkan pada alur sungai yang melewati batuan dengan resistensi yang lebih lunak, apanila kondisi lain yang mempengaruhinya sama.
2	0.25 – 10.0	Sedang	Alur sungai melewati batuan dengan resistensi yang lebih lunak sehingga angkutan sedimen yang terangkut akan lebih besar.
3	10.0 – 25.0	Tinggi	Alur sungai melewati batuan dengan resistensi yang lunak sehingga angkutan yang terangkut aliran akan lebih besar.
4	> 25.0	Sangat Tinggi	Alur sungai melewati batuan uang kedap air. Keaadaan ini menunjukkan bahwa air hujan yang menjadi aliran akan lebih besar jika dibandingkan dengan suaru daerah dengan Dd rendah melewati batuan dengan permeabilitas besar.

Sumber: (Soewarno, 1991)

Berdasarkan indeks tersebut dapat dikatakan bahwa indeks kerapatan sungai menjadi kecil pada kondisi geologi yang *permeable*, tetapi menjadi besar untuk daerah yang curah hujannya tinggi. Disamping itu, Rahayu et al., (2009) menjelaskan jika nilai kerapatan aliran sungai:

- < 1 mile/mile^2 (0.62 km/km^2), maka DAS akan sering mengalami penggenangan.
- > 5 mile/mile^2 (3.10 km/km^2), maka DAS akan sering mengalami kekeringan.

2.3 Analisis Hidrologi

2.3.1 Curah Hujan Wilayah

Hujan merupakan faktor yang sangat penting didalam analisis maupun desain hidrologi. Curah hujan adalah ketinggian air hujan yang terkumpul dalam penakar hujan pada tempat yang datar, tidak menyerap, tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rencana pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan rerata wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm (Sosrodarsono, Suyono; Kensaku, 2003).

Data hujan yang diperoleh dari suatu stasiun hujan merupakan hujan titik (*point rainfall*) sehingga belum dapat mewakili hujan kawasan. Hujan kawasan didapat dengan menghitung rata-rata curah hujan dari beberapa stasiun hujan yang ada dalam suatu kawasan DAS. Metode yang umum dipakai dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata pada area tertentu yaitu metode rata-rata aljabar, metode Poligon *Thiessen* dan metode *Isohyet.*

Tabel 2.2 Pemilihan Metode Penentuan Curah Hujan

Jumlah Pos Penangkar Hujan	**Metode**
Cukup	*Isohyet*, Poligon *Thiesen* atau Rerata Aljabar
Terbatas	*Isohyet*, Poligon *Thiesen* atau Rerata Aljabar
Tunggal	Rerata Aljabar atau Poligon *Thiesen*
Luas DAS	**Metode**
DAS besar (>5000 km²)	*Isohyet*
DAS sedang (500 s/d 5000 km²)	Poligon *Thiesen*
DAS kecil (<500 km²)	Rerata Aljabar
Topografi	**Metode**
Pegunungan	Rerata Aljabar
Dataran	Poligon *Thiesen*
Berbukit dan tidak beraturan	*Isohyet*

Sumber: (Suripin, 2004)

2.3.1.1 Metode Rerata Aritmatik (Aljabar)

Metode ini adalah yang paling sederhana untuk menghitung hujan rerata pada suatu daerah. Metode Rerata Aritmatik didasarkan pada asumsi bahwa semua stasiun hujan tersebar merata atau hampir merata dalam suatu kawasan yang mempunyai topografi relatif datar, sehingga mempunyai pengaruh yang sama terhadap suatu kawasan. Hujan kawasan di hitung dengan persamaan berikut.

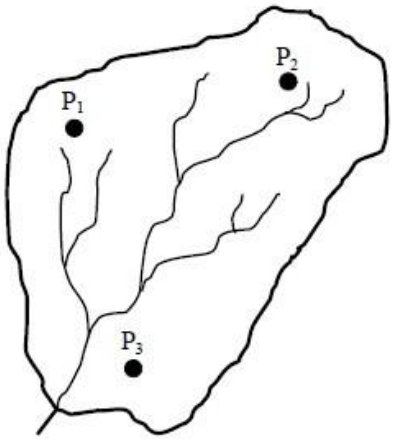
$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + ...}{n}$$ ..... Persamaan 2

Dengan:

$\bar{P}$ = Hujan rerata kawasan

$P_1, P_2, P_3, .., pn$ = Hujan di stasiun 1, 2, 3, …, n

n = Jumlah stasiun



Gambar 2.4 Stasiun hujan di suatu DAS (Triatmodjo, 2008)

2.3.1.2 Metode *Thiessen*

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata.

Perhitungan poligon *Thiessen* dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

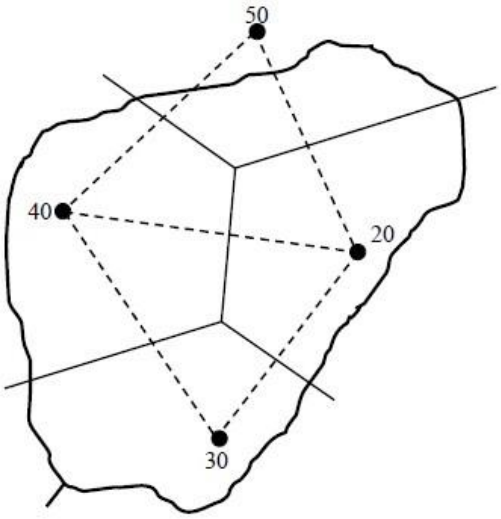
$$\bar{P} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + ... + A_nP_n}{A_{total}} \quad \text{..... Persamaan 3}$$

Dengan:

$\bar{P}$ = Hujan rerata kawasan

$P_1, P_2,...,P_n$ = Hujan pada stasiun 1, 2, ..., n

$A_1, A_2,..., A_n$ = Luas daerah stasiun 1, 2, ..., n



Gambar 2.5 Metode Poligon *Thiessen* (Triatmodjo, 2008)

2.3.1.3 Metode *Isohyet*

Isohiet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode isohiet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah di antara dua garis isohiet adalah merata dan sama dengan nilai rerata dari kedua garis isohiet tersebut. Dibandingkan dengan kedua metode sebelumnya metode *isohyet* merupakan cara paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rerata di suatu daerah, tetapi cara ini membutuhkan pekerjaan dan perhatian yang lebih banyak dibandingkan dengan dua metode sebelumnya. Secara matematis hujan rerata tersebut dapat ditulis seperti pada persamaan berikut.

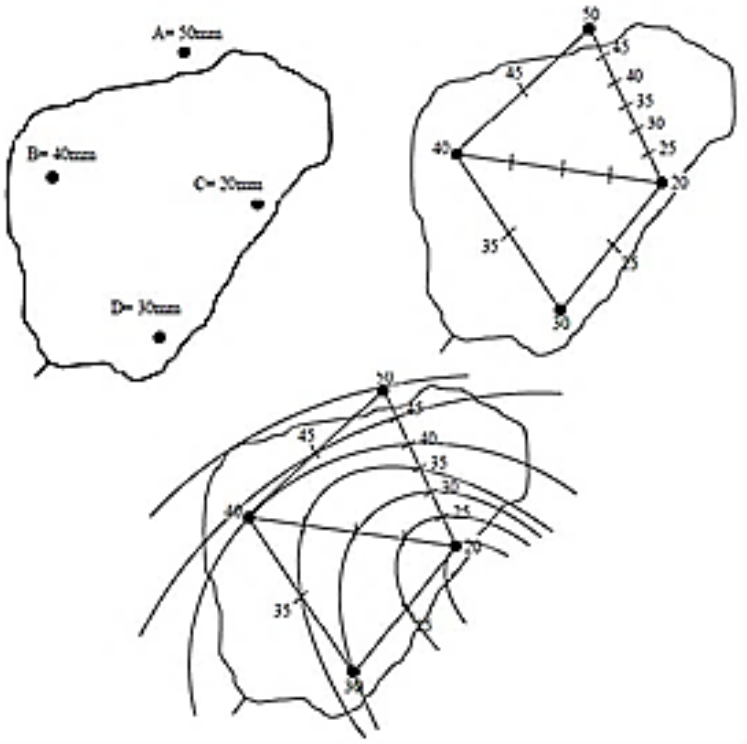
$$\bar{P} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + ... + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + ... + A_n}$$ ..... Persamaan 4

Dengan:

$\bar{P}$ = Hujan rerata kawasan

$I_1, I_2, ..., I_n$ = Garis *isohyet* ke 1, 2, ..., n

$A_1, A_2, ..., A_n$ = Luas yang dibatasi oleh *isohyet* ke 1 dan 2, 2 dan 3, ..., n +1



Gambar 2.6 Metode *Isohyet* (Triatmodjo, 2008)

2.3.2 Analisis Perbaikan dan Uji Konsistensi Data

Permasalahan dalam pengukuran hujan yang sering terjadi salah satunya adalah tidak tercatatnya data curah hujan karena rusaknya alat atau pengamat tidak mencatat. Metode yang dapat digunakan untuk mengisi data curah hujan yang hilang ini diantaranya metode *Inversed Square Distanced*. Variabel yang digunakan pada metode ini adalah jarak stasiun terdekat dengan stasiun yang dicari data curah hujan hilangnya. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$p_x = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\left(\frac{p_i}{L^2} \right)}{\left(\frac{1}{L^2} \right)} \right) + ...n$$ ..... Persamaan 5

Keterangan:

P_x = Curah Hujan yang hilang di stasiun X (mm)

P_i = Curah hujan di stasiun sekitarnya pada periode yang sama (mm)

L_i = Jarak antara stasiun (m)

Apabila terdapat kesalahan pada data hujan yang terlalu besar maka hasil analisis yang dilakukan akan diragukan. Oleh karena itu, sebelum data digunakan perlu juga dilakukan uji kualitas data hujan yaitu dengan uji kepanggahan. Satu seri data hujan untuk satu stasiun tertentu dimungkinkan sifatnya tidak panggah (*inconsistent*). Uji kepanggahan diperiksa dengan metode kurva massa ganda (*double mass curve*). Metode ini membandingkan hujan tahunan kumulatif di stasiun y terhadap stasiun referensi x. Stasiun referensi biasanya adalah nilai rerata dari beberapa stasiun di dekatnya. Curah hujan kumulatif digambarkan pada sistem koordinat kartesian x-y kemudian di cek perubahan kemirinyannya (*trend*). Data yang konsisten memiliki garis yang cenderung lurus, apabila terdapat patahan/perubahan maka data tak konsisten dan perlu dilakukan koreksi. Koreksi dilakukan dengan mengalikan data setelah kurva berubah dengan perbandingan kemiringan setelah dan sebelum kurva patah.

2.3.3 Analisis Distribusi Frekuensi

Analisis frekuensi merupakan prakiraan dalam arti memperoleh probabilitas untuk terjadinya suatu peristiwa hidrologi dalam bentuk debit/curah hujan rencana yang berfungsi sebagai dasar perhitungan perencanaan hidrologi untuk antisipasi setiap kemungkinan yang akan terjadi (Soemarto 1986, dalam Irawan et al., 2020).

Analisa distribusi frekuensi digunakan untuk mendapatkan besaran curah hujan rencana yang ditetapkan berdasarkan patokan sesuai perencanaan. Analisa ini diperlukan untuk mendapatkan relevansi curah hujan rencana pada periode ulang rencana seperti 2, 5, 10, 20, 50, 100 dan 1000 tahun.

Metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisis distribusi frekuensi curah hujan harian terhadap nilai rata-rata tahunannya dalam periode ulang tertentu menggunakan distribusi Normal, distribusi *Log* Normal, distribusi *Gumbel* dan distribusi *Log Pearson III*. Penentuan metode yang tepat untuk analisa distribus frekuensi akan dilakukan cek kesesuaian bergantung pada data dan fungsi kebutuhan. Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi ditunjukkan dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2.3 Parameter Statistik untuk Menentukan Jenis Distribusi

No	Jenis Distribusi	Syarat Uji Distribusi	
1	Normal	Cs = 0	
		Ck = 3	
2	Log Normal	$Cv^3 + 3Cv$	Cs = 0
		$Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$	Ck = 0
3	Gumbell	Cs = 1,14	
		Ck = 5,4	
4	Log Pearson tipe III	Jika semua syarat tidak terpenuhi	

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

2.3.3.1 Distribusi Normal

Persamaan metode distribusi Normal (Hartono Br, 1993) sebagai berikut.

$$X_{Tr} = \bar{X} + K_{Tr} \times S_X \quad \text{..... Persamaan 6}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i}^{n} X_i}{n} \quad \text{..... Persamaan 7}$$

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum \left(X_i - \bar{X} \right)^2}{n-1}} \quad \text{..... Persamaan 8}$$

Dengan:

X_{Tr} = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

$\bar{X}$ = Harga rata-rata dari data

K_{Tr} = Variabel reduksi Gauss

S_X = Simpangan baku

2.3.3.2 Distribusi *Log* Normal

Persamaan metode distribusi *Log* Normal (Hartono Br, 1993) adalah sebagai berikut.

$$\log X_{Tr} = \log \bar{X} + K_{Tr} \times S_{\log X} \quad \text{..... Persamaan 9}$$

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{1}^{n} \log(X_i)}{n} \quad \text{..... Persamaan 10}$$

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum \left(\log X - \log \bar{X}\right)^2}{n-1}} \quad \text{..... Persamaan 11}$$

Dengan :

$\log X_{Tr}$ = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

$\log \bar{X}$ = Harga rata-rata dari data

K_{Tr} = Variabel reduksi Gauss

$S_{\log X}$ = Simpangan baku

2.3.3.3 Distribusi *Gumbel*

Persamaan metode distribusi *Gumbel* (Hartono Br, 1993) adalah sebagai berikut.

$$X_{Tr} = \bar{X} + K \times S_X \quad \text{..... Persamaan 12}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i}^{n} X_i}{n} \quad \text{..... Persamaan 13}$$

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum\left(X_i - \bar{X}\right)^2}{n-1}}$$ ..... Persamaan 14

Dengan:

X_{Tr} = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

$\bar{X}$ = Harga rata-rata dari data

S_X = Simpangan baku

K = Faktor frekuensi (fungsi dari periode ulang dan tipe frekuensi)

Untuk menghitung faktor frekuensi *Gumbel* mengambil harga:

$$K = \frac{y_t - y_n}{S_n}$$ ..... Persamaan 15

Dengan:

y_t = Reduksi sebagai fungsi dari probabilitas

y_n = Besaran yang merupakan fungsi dari jumlah pengamatan

S_n = Besaran yang merupakan fungsi dari jumlah pengamatan

2.3.3.4 Distribusi *Log Pearson Type III*

Persamaan metode distribusi *Log Pearson Type III* (Hartono Br, 1993) adalah sebagai berikut.

$$\log X_{Tr} = \log \bar{X} + K_{Tr} \times S_{\log X}$$ ..... Persamaan 16

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{1}^{n} \log\left(X_i\right)}{n}$$ ..... Persamaan 17

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum\left(\log X - \log \bar{X}\right)^2}{n-1}}$$ ..... Persamaan 18

Dengan :

$\log X_{Tr}$ = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

$\log \bar{X}$ = Harga rata-rata dari data

K_{Tr} = Koefisien frekuensi *Log Pearson Type III*

$S_{\log X}$ = Simpangan baku

Analisis frekuensi Metode *Log Normal* dan *Log Pearson Tipe III* didapatkan data parameter koefisien *skewnes*, koefisien *kurtosis* dan koefisien *variansi*. Berikut ini persamaan *skewnes* (Cs), *kurtosis* (Ck) dan *variansi* (Cv) (Soewarno, 1995).

- Koefisien *skewnes* (Cs)

$$C_S = \frac{N\sum \log X - \log \bar{X}}{(N-1)(N-2)\left(\sigma_{\log X}\right)^3} \quad \text{..... Persamaan 19}$$

- Koefisien *kurtosis* (Ck)

$$C_K = \frac{n^2 \sum_{i=1}^{n} \left(\log X - \log \bar{X}\right)^2}{(n-1)(n-2)(n-3)} \quad \text{..... Persamaan 20}$$

- Koefisien *variansi* (Cv)

$$C_V = \frac{\sigma_{\log X}}{\log X} \quad \text{..... Persamaan 21}$$

2.3.4 Analisis Sebaran Distribusi

2.3.4.1 Uji *Chi Square*

Uji *Chi–Kuadrat* (uji data vertikal) adalah ukuran perbedaan yang didapat antara frekuensi yang diamati dengan yang diharapkan. *Uji chi kuadrat* merupakan pengujian terhadap perbedaan antara data sampel dan distribusi probabilitas. Uji ini digunakan untuk menguji simpangan tegak lurus yang ditentukan dengan rumus Shahin (Soewarno, 1995).

$$\left(X^2\right)_{hit} = \sum_{i=1}^{k} \frac{\left(EF - OF\right)^2}{EF} \quad \text{..... Persamaan 22}$$

Dengan :

$(X^2)_{hit}$ = Uji statistik

OF = Nilai yang diamati (*Observed frequency*)

EF = Nilai yang diharapkan (*Expected frequency*)

$$EF = \frac{n}{k}$$ ..... Persamaan 23

Uji *Chi–Kuadrat* merupakan uji simpangan vertikal dengan langkah-langkah sebagai berikut.

- Tentukan jumlah kelas disribusi (K)

  $$K = 1 + 3,22 \log X$$ ..... Persamaan 24

- Cari nilai *Chi kuadrat* hitung $(X^2)_{cr}$
- Besarnya nilai $(X^2)_{cr}$ dapat diperoleh berdasarkan taraf signifikan (α) dan derajat bebasnya (DK). Dengan memasukkan harga K dan sebaran *Chi Kuadrat* dapat diperoleh harga DK.

  $$DK = K - (P - 1)$$ ..... Persamaan 25

- Kemudian nilai$(X^2)_{cr}$ dibandingkan dengan nilai chi kuadrat kritis $(X^2)_{cr}$.
- Jika Nilai $(X^2)_{cr} > (X^2)_{hitung}$, berarti sebaran vertikal dapat diterima.

2.3.4.2 Uji *Smirnov Kolmogrov*

Uji *Smirnov – Kolmogorov* (uji data horizontal) digunakan untuk menguji simpangan secara mendatar (Soewarno, 1995). Pengujian data terhadap simpangan horizontal sendiri yaitu menggunakan rumus sebagi berikut.

$$\Delta_{maks} = \left| P_E(X) - P_t(X) \right|$$ ..... Persamaan 26

Dimana : Δ_{maks} = Selisih data probabilitas teoritis dan empiris

$P_t(X)$ = Posisi data x menurut sebaran teoritis

$P_E(X)$ = Posisi data x menurut sebaran empiris

Dari hasil perhitungan diperoleh perbedaan yang maksimum antara distribusi teoritis dan distribusi empiris yang disebut dengan Δ_{maks}. Kemudian

Nilai Δ_{maks} hasil perhitungan dibandingkan dengan Δ_{cr} yang diperoleh dari tabel untuk suatu derajat tertentu. Apabila $\Delta_{cr} > \Delta_{maks}$ maka hipotesa dapat diterima.

2.3.5 Curah Hujan Maksimum Boleh Jadi

Curah Hujan Maksimum Boleh Jadi (CMB) atau *Probable Maximum Precipitation* (PMP) dapat diartikan sebagai hujan maksimum boleh jadi dengan durasi tertentu yang secara fisik dimungkinkan terjadi pada suatu pos atau DAS. PMP juga merupakan besaran hujan rancangan terbesar yang dapat digunakan untuk menyelamatkan bangunan hidrolik yang mengandung resiko besar. Perencanaan bangunan dengan resiko bencana besar, khususnya jika menyangkut korban jiwa manusia, diinginkan debit rancangan tanpa resiko gagal sama sekali. Debit rancangan tersebut adalah Banjir Maksimum Boleh Jadi (BMB) atau *Probable Maximum Flood* (PMF). Secara teoritis besarnya PMF didapat dari perhitungan curah hujan maksimum yang menggunakan metode PMP dikalikan perhitungan debit banjir dengan metode analisa Hidrograf Satuan Sintetik (HSS).

Metode Hershfield (1961, 1986) merupakan prosedur statistik yang digunakan untuk memperkirakan nilai PMP, untuk kondisi dimana data meteorology sangat kurang atau perlu analisis secara cepat. Pada metode ini PMP dihitung untuk masing-masing pos hujan (*point rainfall*), yang selanjutnya dicari PMP rata-ratanya dan akhirnya diubah menjadi hujan DAS yang diperoleh dari perkalian PMP rata-rata dengan koefisien reduksi. Hershfield mengembangkan rumus frekuensi Chow menjadi (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2012b):

$$X_m = \bar{X}_p + K_m \times S_n$$ ..... Persamaan 27

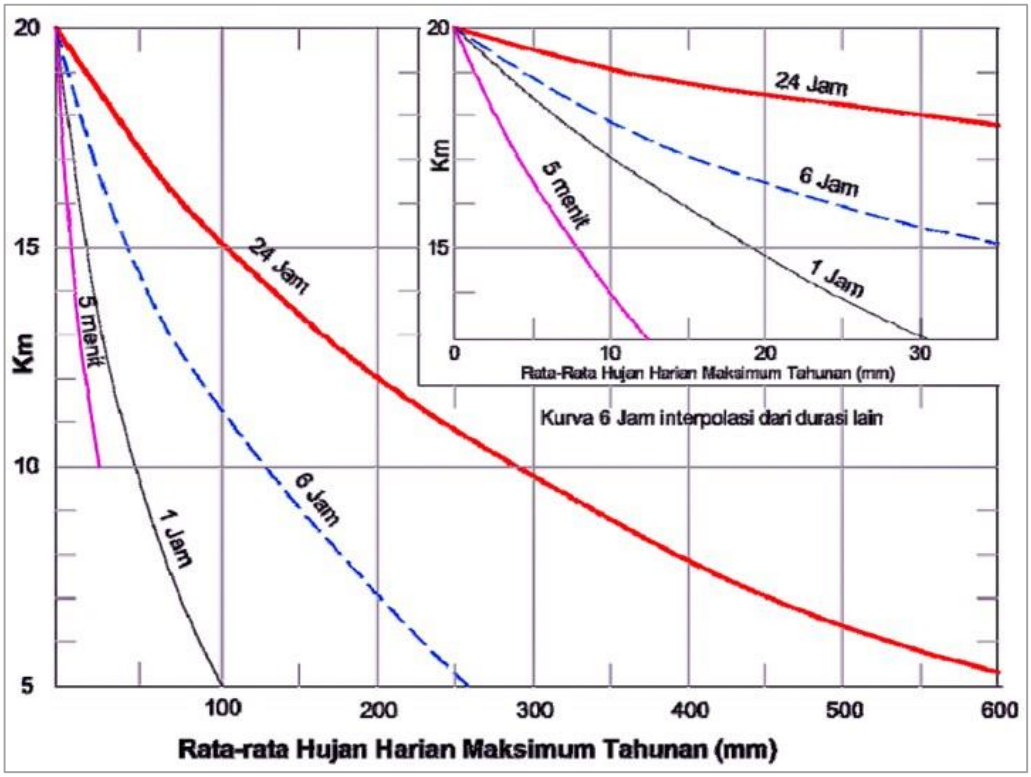
Dimana: : X_m = Nilai hujan maksimum boleh jadi

$\bar{X}_p$ = Harga rata-rata dari data hujan harian maksimum

K_m = Nilai fungsi dari durasi hujan dan rata-rata hujan harian maksimum tahunan.

S_n = Simpangan baku data

Berikut ini adalah grafik untuk menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan.



Gambar 2.7 Menentukan Harga Km

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2016)

Keterangan:

X_n adalah rata-rata hujan harian maksimum tahunan,

X_{n-m} adalah rata-rata hujan harian maksimum tahunan tanpa nilai maksimum,

Faktor penyesuaian X_n (persen) adalah f_1,

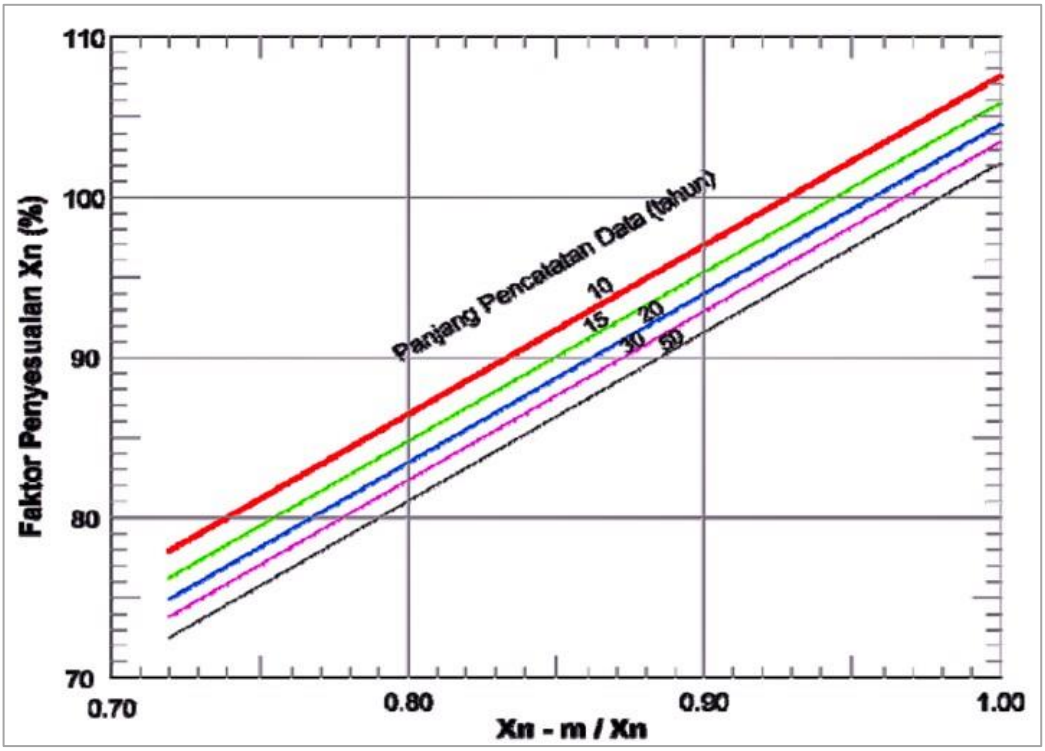
S_n adalah simpangan baku ,

S_{n-m} adalah simpangan baku tanpa nilai maksimum,

Faktor penyesuaian S_n (persen) adalah f_3,

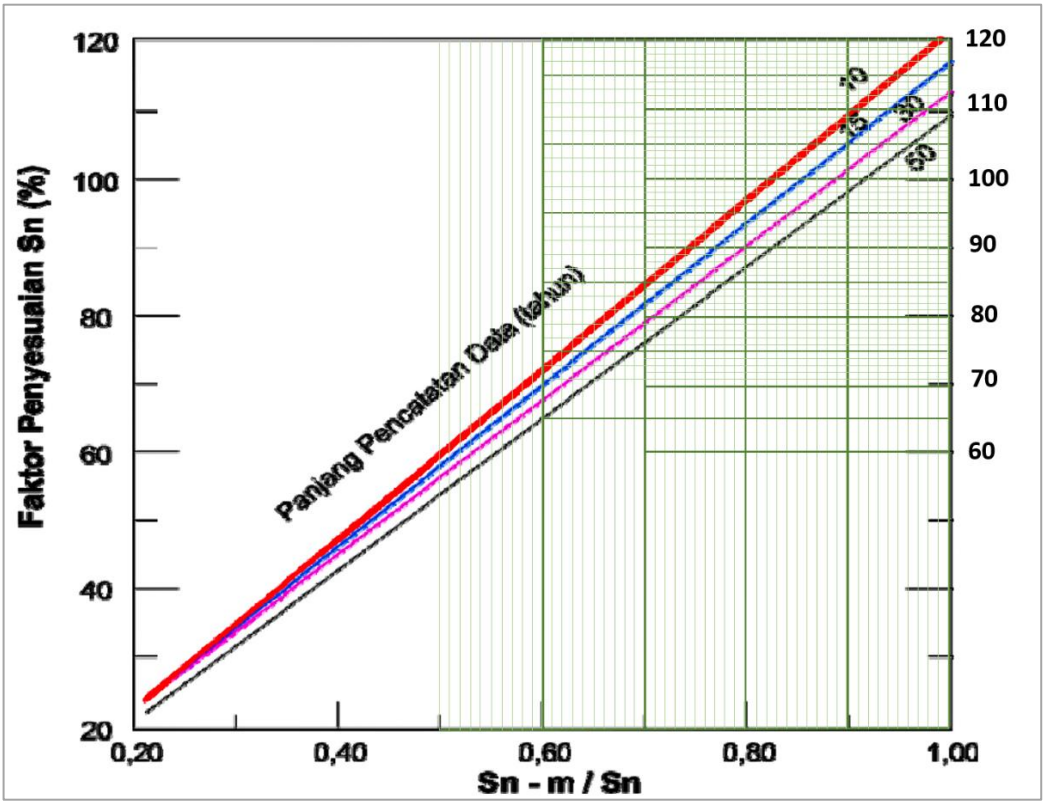
Faktor penyesuaian rata-rata adalah f_2,

Faktor penyesuaian simpangan baku adalah f_4,



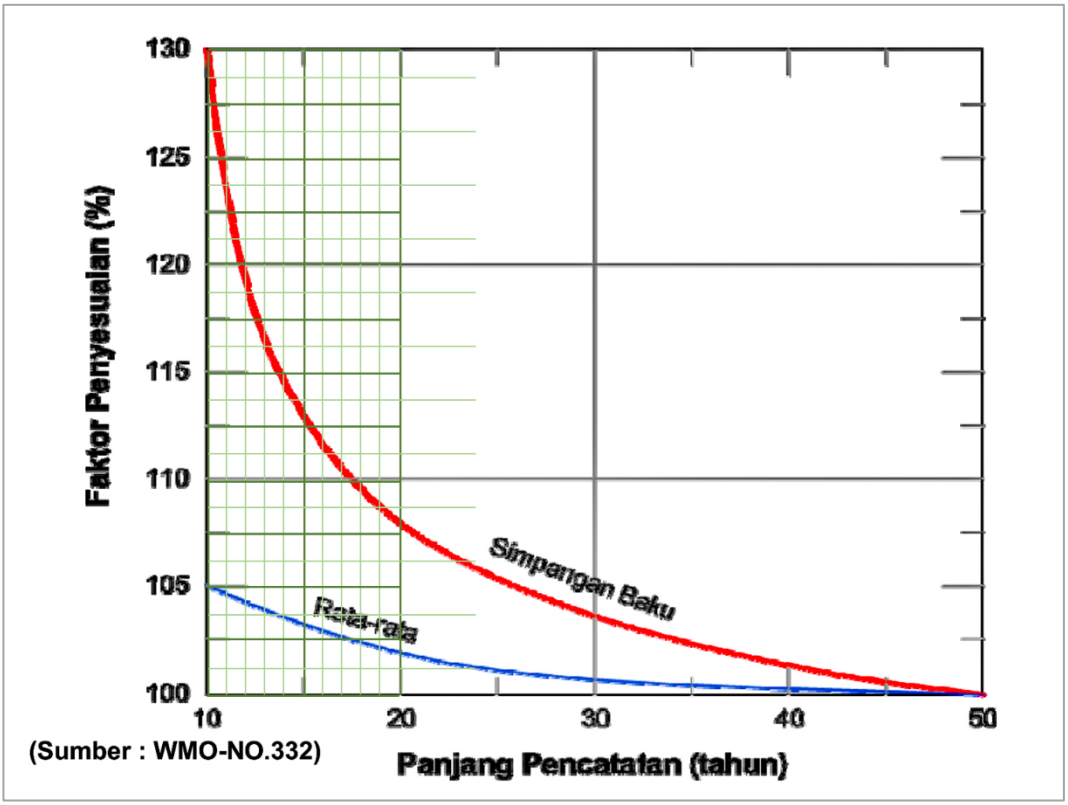
Gambar 2.8 Faktor Penyesuaian X_n terhadap Pengamatan Maksimum

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2016)



Gambar 2.9 Faktor Penyesuaian S_n terhadap Pengamatan Maksimum

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2016)



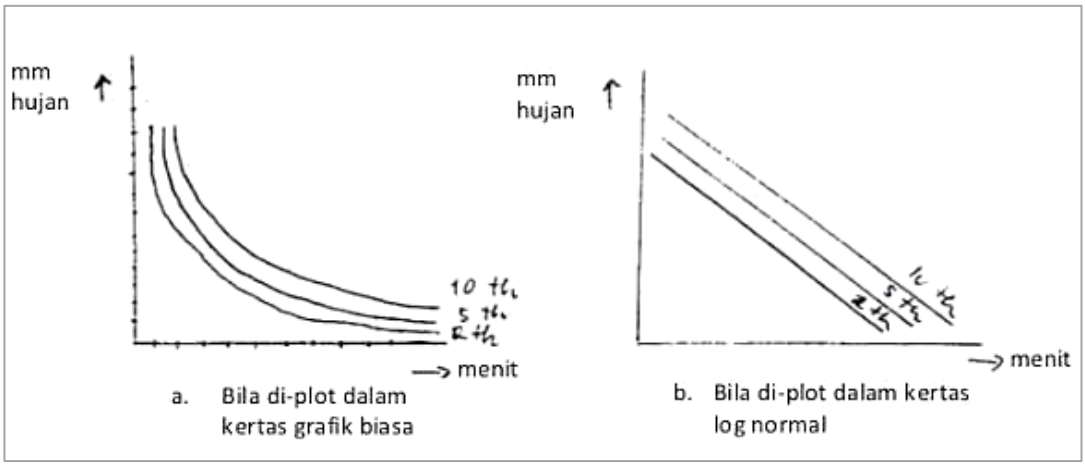
Gambar 2.10 Faktor Penyesuaian X_n&S_n terhadap Panjang Pengamatan Data

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2016)

2.4 Intensitas Hujan Rencana

Intensitas curah hujan yaitu ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi Perlu didapatkan harga suatu intensitas curah hujan untuk menentukan debit banjir rencana. Analisis intensitas curah hujan dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau. Intensitas curah hujan sangat dipengaruhi oleh lamanya suatu kejadian hujan atau waktu konsentrasi (t_c) serta curah hujan maksimum selama 24 jam.

Hubungan antara intensitas, lama hujan (durasi) dan frekuensi dapat dinyatakan dengan lengkung *Intensity Duration Frequency* (IDF) yang dibuat dengan data hujan jangka pendek (jam-jaman) dari penakar hujan otomatis. Analisis IDF memerlukan analisis frekuensi dengan menggunakan seri data yang diperoleh dari rekaman data hujan (Sri Harto, 1993 dalam Sudarto, 2009).



Gambar 2.11 Lengkung *Intensity Duration Frequency* (IDF)

Curah hujan jangka pendek dinyatakan dalam intensitas per jam yang disebut intensitas curah hujan (mm/jam). Perhitungan Intensitas hujan untuk waktu konsentrasi tertentu (t_c) dengan metode *Mononobe* yang dikembangkan oleh Kirpich (1940, dalam Suripin, 2004) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$I = \frac{R_{24}}{24}\left(\frac{24}{t_c}\right)^{\frac{2}{3}}$$ ..... Persamaan 28

Keterangan :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t_c = lamanya curah hujan (jam)

R_{24} = curah hujan maks dalam 24 jam (mm)

Waktu konsentrasi (t_c) suatu DAS adalah waktu yang dibutuhkan oleh aliran air hujan yang jatuh ke permukaan tanah dan kemudian mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (*outlet*) setelah lahan menjadi jenuh. Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan persamaan yang diberikan oleh Kirpich, yang berlaku untuk lahan pertanian kecil dengan luas daerah tangkapan kurang dari 80 hektar.

$$t_c = \frac{0,06628 L^{0,77}}{S^{0,385}}$$ ..... Persamaan 29

Dengan: tc = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang lintasan air dari titik terjauh sampai titik tinjau (km)

S = kemiringan antara elevasi maksimum dan minimum

Rumus lainnya untuk menghitung waktu konsentrasi juga diberikan oleh *Hathway* (Ponce, 1989 dalam Yusuf, 2021).

$$t_c = \frac{0,606 (Ln)^{0,467}}{S^{0,234}}$$ ..... Persamaan 30

Dengan (n) adalah koefisien kekerasan, sedang notasi lainnya sama dengan persamaan Kirpich. Berikut ini adalah tabel yang menyajikan nilai koefisien kekerasaan (n).

Tabel 2.4 Nilai Koefisien kekerasan n

Tata guna lahan	n
Kedap air	0,02
Timbunan tanah	0,1
Tanaman pangan/tegalan dengan sedikit rumput pada tanah gundul yang kasar dan lunak	0,2
Padang rumput	0,4
Tanah gundul yang kasar dengan rumput dedaunan	0,6
Hutan dan sejumlah semak belukar	0,8

Sumber: (Triatmodjo, 2013 dalam Yusuf, 2021)

2.5 Koefisien Aliran Permukaan dan Faktor yang Mempengaruhinya

Koefisien limpasan (C) merupakan perbandingan antara jumlah air yang mengalir di suatu daerah akibat turunnya hujan, dengan jumlah hujan yang turun di daerah tersebut (Subarkah 1980, dalam Arianti, 2015). Besarnya aliran permukaan dapat menjadi kecil, terlebih bila curah hujan tidak melebihi kapasitas infiltrasi. Kadoatie & Roestam, (2005) menjelaskan apabila hujan yang terjadi kecil, maka hampir semua curah hujan yang jatuh terintersepsi oleh vegetasi yang lebat.

Sedangkan apabila curah hujan yang jatuh jumlahnya lebih besar dari jumlah air yang dibutuhkan untuk *evaporasi, intersepsi, infiltrasi,* simpanan dan cadangan *depresi,* maka barulah bisa terjadi aliran permukaan.

Koefisien limpasan pada suatu daerah dipengaruhi oleh kondisi karakteristik (Sosrodarsono, Suyono; Kensaku, 2006) yaitu:

- Kondisi hujan
- Luas dan bentuk daerah pengaliran
- Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai
- Daya infiltrasi dan perkolasi tanah
- Kebebasan tanah
- Suhu udara, angin dan evaporasi
- Tata guna lahan

Nilai koeffisien aliran permukaan (C) berkisar antara 0 – 1 ($0 \leq C \leq 1$) (Chow et al., 1988). Nilai nol menunjukkan bahwa semua air hujan yang turun terinfiltrasi sempurna ke dalam tanah sehingga DAS dalam kondisi baik, sedangkan nilai C = 1 menunjukkan bahwa seluruh air hujan mengalir sebagai aliran permukaan dan kondisi DAS dalam keadaan semakin rusak.

DAS yang terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan, maka nilai koefisien aliran permukaan (C) akan beragam pula. Oleh karena itu, untuk menganalisa nilai koefisien aliran permukaan suatu DAS dapat menggunakan persamaan berikut (Suripin, 2004).

$$C_{DAS} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Ci \times Ai}{Ai}$$ ..... Persamaan 31

Dimana: C_{DAS} = Koefisien aliran permukaan suatu DAS

C_i = Koefisien aliran permukaan jenis penutupan lahan *i*

A_i = Luas daerah penutupan lahan dengan jenis penutupan lahan *i*

n = Jumlah jenis penutup lahan

Koefisien aliran permukaan diperoleh berdasarkan pada faktor kemiringan lereng, penggunaan lahan dan tekstur tanah. Koefisien C ini didapat dari pemberian skor pada masing-masing ketiga variabel tersebut dengan memperhatikan seberapa besar pengaruh kondisi variabel tersebut dalam debit puncak dan dengan memperhatikan luasan satuan lahan dan luasan DAS (Kadoatie & Roestam, 2005). Berikut beberapa tabel nilai C menurut beberapa sumber.

Tabel 2.5 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Tata Guna Lahan

Karakteristik tanah	Tata guna lahan	Koefisien limpasan (C)
Campuran pasir dan/ atau campuran kerikil	Pertanian	0,20
	Padang rumput	0,15
	Hutan	0,10
Geluh dan sejenisnya	Pertanian	0,40
	Padang rumput	0,35
	Hutan	0,30
Lempung dan sejenisnya	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

Sumber: (Lily, 2010 dalam Yusuf, 2021)

Tabel 2.6 Koefisien Aliran Permukaan Terkalibrasi Citanduy Hulu

No	Keterangan	Nilai C
1	Hutan Lahan Kering Primer	0,02
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,03
3	Hutan Tanaman Industri	0,05
4	Semak dan Belukar	0,07
5	Pemukiman/Lahan Terbangun	0,70
6	Pertanian Lahan Kering	0,30
7	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	0,18
8	Sawah	0,15
9	Perkebunan	0,40
10	Tubuh Air	0,05

Sumber: (Yusuf, 2021)

2.5.1 Penutupan dan Penggunaan Lahan

Penutupan lahan (*landcover*) berbeda dengan penggunaan lahan (*landuse*). Penutupan lahan merupakan garis yang menggambarkan batas penampakan area penutupan di atas permukaan bumi yang terdiri dari bentang alam dan/atau bentang buatan (UU No.4, 2011 dalam Yusuf, 2021). Sedangkan penggunaan lahan (*land use*) diartikan sebagai setiap bentuk intervensi (campur tangan) manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya baik materil maupun spiritual, dimana perubahan pada tutupan lahan lebih kepada adanya perubahan vegetasi (Arsyad, 2006).

Perubahan penggunaan lahan akan mempengaruhi keseluruhan sistem ekologi termasuk sifat hidrologi pada wilayah DAS, karakteristik aliran sungai dan jumlah aliran permukaan. Dalam skala besar dampak perubahan tersebut adalah terjadinya gangguan perilaku air sungai, pada musim hujan debit air sungai akan meningkat tajam sementara pada musim kemarau debit air sangat rendah (Asdak, 2004). Perubahan penggunaan lahan umumnya dapat diamati dengan menggunakan data – data spasial dari peta penggunaan lahan dari titik tahun yang berbeda.

Faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan penggunaan lahan dalam penelitian ini dianalisis dengan regresi berganda (*Multiple Regression*) metode analisis *stepwise*. Analisis ini digunakan untuk membuat model pendugaan terhadap nilai suatu parameter. Terdapat banyak faktor yang dapat mempengaruhi perubahan penggunaan lahan. Persamaan umum regresi berganda adalah sebagi berikut (Nuraeni et al., 2017).

$$Y = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + ... + A_nX_n$$ ..... Persamaan 32

Dimana:

Y = *Dependent variable*

X_1, X_2, X_n = *Independent variable* ke i, dengan i=1,2,...

A = Koefisien regresi (*intercept*)

A_1, A_2, A_n = Koefisien regresi peubah ke-i

Berdasarkan SNI 7645:2010 kelas penutupan lahan dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu daerah bervegetasi dan daerah tidak bervegetasi. Kegiatan klasifikasi penutupan lahan dilakukan untuk menghasilkan kelas-kelas penutupan yang diinginkan. Sedangkan berdasarkan RSNI-1 tentang kelas penutupan lahan dalam penafsiran citra optis resolusi sedang terdapat beberapa klasifikasi tutupan lahan yang dapat dilihat pada tabel (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2012a).

Tabel 2.7 Kelas Tutupan Lahan (Penafsiran Citra Optis Resolusi Sedang)

No	Kelas	Simbol	Definisi
1	Hutan lahan kering primer	Hp	Hutan alam atau hutan yang tumbuh dan berkembang secara alami, stabil dan belum pernah mengalami gangguan eksploitasi oleh manusia, yang lantai hutannya tidak pernah terendam air baik secara periodik atau sepanjang tahun
2	Hutan lahan kering sekunder/bekas tebangan	Hs	Hutan yang tumbuh secara alami sesudah terjadinya kerusakan/perubahan pada tumbuhan hutan yang pertama. Hutan yang telah mengalami gangguan eksplotasi oleh manusia, biasanya ditandai dengan adanya jaringan jalan ataupun jaringan sistem eksploitasi lainnya. Kenampakan berhutan bekas tebas bakar yang ditinggalkan, bekas kebakaran atau yang tumbuh kembali dari bekas tanah terdegradasi juga dimasukkan dalam kelas ini
3	Hutan rawa primer	Hrp	Hutan yang lantai hutannya secara periodik atau sepanjang tahun terendam air (di daerah berawa, rawa payau dan rawa gambut) yang belum menampakkan bekas penebangan.
			Hutan yang lantai hutannya secara periodik atau sepanjang tahun terendam air (di daerah berawa, rawa payau dan rawa

No	Kelas	Simbol	Definisi
4	Hutan rawa sekunder/bekas tebangan	Hrs	gambut) yang telah menampakkan bekas penebangan, termasuk hutan sagu dan hutan rawa bekas terbakar dan sudah mengalami suksesi
5	Hutan mangrove primer	Hmp	Hutan yang tumbuh di daerah pantai atau sekitar muara yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut (bakau, nipah dan nibung yang berada di sekitar pantai, yang belum menampakkan bekas penebangan). Pada beberapa lokasi, hutan mangrove berada lebih ke pedalaman
6	Hutan mangrove sekunder/bekas tebangan	Hms	Hutan yang tumbuh di daerah pantai atau sekitar muara yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut (bakau, nipah dan nibung yang berada di sekitar pantai), yang telah memperlihatkan bekas penebangan dengan pola alur, bercak & genangan/bekas terbakar.
7	Semak belukar	B	Hutan lahan kering yang telah tumbuh kembali (mengalami suksesi) namun belum / tidak optimal, atau lahan kering dengan liputan pohon jarang (alami) atau lahan kering dengan dominasi vegetasi rendah (alami). Kenampakan ini biasanya tidak menunjukkan adanya bekas/bercak tebangan
8	Hutan tanaman	Ht	Hutan tanaman yang dibangun dalam rangka meningkatkan potensi dan kualitas hutan produksi (sudah ditanami), termasuk hutan tanaman untuk reboisasi & tanaman industri.
9	Perkebunan/kebun	Pk	Kebun (perkebunan) adalah lahan bertumbuhan pohon-pohonan yang dibebani hak milik atau hak lainnya dengan penutupan tajuk didominasi pohon buah atau industri
10	Semak belukar rawa	Br	Hutan rawa / mangrove yang telah tumbuh kembali (mengalami suksesi) namun belum / tidak optimal, atau bekas hutan rawa / mangrove dengan liputan pohon jarang (alami), atau bekas hutan rawa / mangrove dengan dominasi vegetasi rendah (alami). Kenampakan ini biasanya tidak menunjukkan lagi adanya bekas / bercak tebangan

No	Kelas	Simbol	Definisi
11	Rumput	S	Hamparan non hutan alami berupa padang rumput, kadang-kadang dengan sedikit semak atau pohon. Kenampakan ini merupakan kenampakan alami di sebagian Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Timur dan bagian Selatan Papua
12	Pertanian lahan kering	Pt	Aktivitas pertanian di lahan kering seperti tegalan dan ladang.
13	Pertanian lahan kering campur semak	Pc	Aktivitas pertanian lahan kering dan kebun yang berselang-seling dengan semak, belukar dan hutan bekas tebangan. Sering muncul pada areal perladangan berpindah, dan rotasi tanam lahan karst.
14	Sawah/persawahan	Sw	Hamparan lahan untuk aktivitas pertanian yang dicirikan oleh pola pematang (di jawa), biasanya di luar jawa tidak menggunakan pola pematang. Yang perlu diperhatikan adalah fase rotasi tanam yang terdiri atas fase penggenangan, fase tanaman muda, fase tanaman tua dan fase bera. Kelas ini juga memasukkan sawah musiman, sawah tadah hujan, dan sawah irigasi. Khusus untuk sawah musiman di daerah rawa disebut sawah sonor, yaitu penanaman padi pada areal rawa yang sedang kering dengan melakukan pembakaran pada awal musim kemarau kemudian menanam pada musim kemarau (dengan penaburan benih) dan memanen padi sebelum lokasi tersebut terbenam air kembali
15	Tambak	Tm	Lahan untuk aktivitas perikanan darat (ikan/ udang) atau penggaraman yang dicirikan dengan pola pematang (umumnya), biasanya tergenang dan berada di sekitar pantai
16	Permukiman/lahan terbangun	Pm	Lahan yang digunakan untuk permukiman, baik perkotaan, pedesaan, industri, fasilitas umum dll, dengan memperlihatkan bentuk-bentuk yang jelas
17	Transmigrasi	Tr	Lahan yang digunakan untuk areal permukiman perdesaan (transmigrasi) beserta pekarangan di sekitarnya. Sedangkan areal transmigrasi yang telah berkembang, polanya menjadi kurang teratur dan susah dipisahkan lagi antara

No	Kelas	Simbol	Definisi
			kebun, pertanian dan pemukimannya, dikelaskan menjadi kelas transmigrasi.
18	Tanah terbuka	T	Lahan terbuka tanpa vegetasi (singkapan batuan puncak gunung, puncak bersalju, kawah vulkan, gosong pasir, pasir pantai, endapan sungai), dan lahan terbuka bekas kebakaran. Kenampakan lahan terbuka untuk pertambangan dikelaskan pertambangan, sedangkan lahan terbuka bekas pembersihan lahan-*land clearing* dimasukkan kelas lahan terbuka. Lahan terbuka dalam kerangka rotasi tanam sawah/tambak tetap dikelaskan sawah/tambak
19	Pertambangan/ tambang	Tb	Lahan terbuka yang digunakan untuk aktivitas pertambangan terbuka-open pit (spt.: batu bara, timah, tembaga dll.), serta lahan pertambangan tertutup skala besar yang dapat diidentifikasikan dari citra berdasar asosiasi kenampakan objeknya, termasuk tailing ground (penimbunan limbah penambangan). Lahan pertambangan tertutup skala kecil atau yang tidak teridentifikasi dikelaskan menurut kenampakan permukaannya
20	Tubuh air	A	Perairan, termasuk laut, sungai, danau, waduk, dll. Kenampakan tambak, sawah dan rawa-rawa telah digolongkan tersendiri
21	Rawa	Rw	Lahan rawa yang sudah tidak berhutan (tidak ada vegetasi pohon)
22	Tertutup awan	Aw	Seluruh kenampakan awan dan bayangan awan yang menutupi lahan suatu kawasan dengan ukuran lebih dari 4 cm^2 pada skala penyajian. Jika liputan awan tipis atau adanya kabut masih memperlihatkan kenampakan di bawahnya dan memungkinkan ditafsir, maka tetap didelineasi
23	Bandara/pelabuhan	Bdr/Plb	Bandara & pelabuhan yang berukuran besar dan memungkinkan untuk didelineasi tersendiri

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2012a)

2.5.2 Kemiringan Lereng

Lereng adalah kenampakan permukaan alam disebabkan adanya beda tinggi apabila beda tinggi dua tempat tersebut dibandingkan dengan jarak lurus mendatar sehingga akann diperoleh besarnya kelerengan (*clope*) (Nawir, S., 2011 dalam Yusuf, 2021). Lereng mempunyai kelas kemiringan yang berbeda. Besar kemiringan pada lereng dinyatakan dengan beberapa satuan, diantaranya adalah dengan % (prosen) dan ° (derajat). Menurut Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial, kemiringan lereng adalah perbandingan antara beda tinggi (jarak vertikal) suatu lahan dengan jarak mendatarnya. Data spasial kemiringan lereng dapat disusun dari hasil pengolahan data ketinggian (garis kontur) dengan bersumber pada peta topografi.

Garis kontur adalah garis khayal yang menghubungkan titik – titik dengan ketinggian sama. Kontur dapat memberikan informasi relief, baik secara relatif maupun absolut. Innformasi relief secara relatif ini diperlihatkan dengan mengggambarkan garis – garis kontur secara rapat untuk daerah terjal, sedangkan untuk daerah yang landai dapat diperlihatkan dengan menggambarkan garis – garis tersebut secara renggang. Kemiringan lereng sendiri dibagi menjadi beberapa kelas. Berikut ini merupakan tabel-tabel klasifikasi kemiringan lereng dari beberapa sumber.

Tabel 2.8 Klasifikasi Kemiringan Lereng (%)

Kelas	Kemiringan Lereng (%)	Skor
Datar	< 8	5
Landai	8 – 15	4
Agak Curam	16 – 25	3
Curam	26 – 40	2
Sangat Curam	>40	1

Sumber: (PPRI No.37 Tahun 2012, dalam Yusuf, 2021)

Tabel 2.9 Kelas Kemiringan Lereng

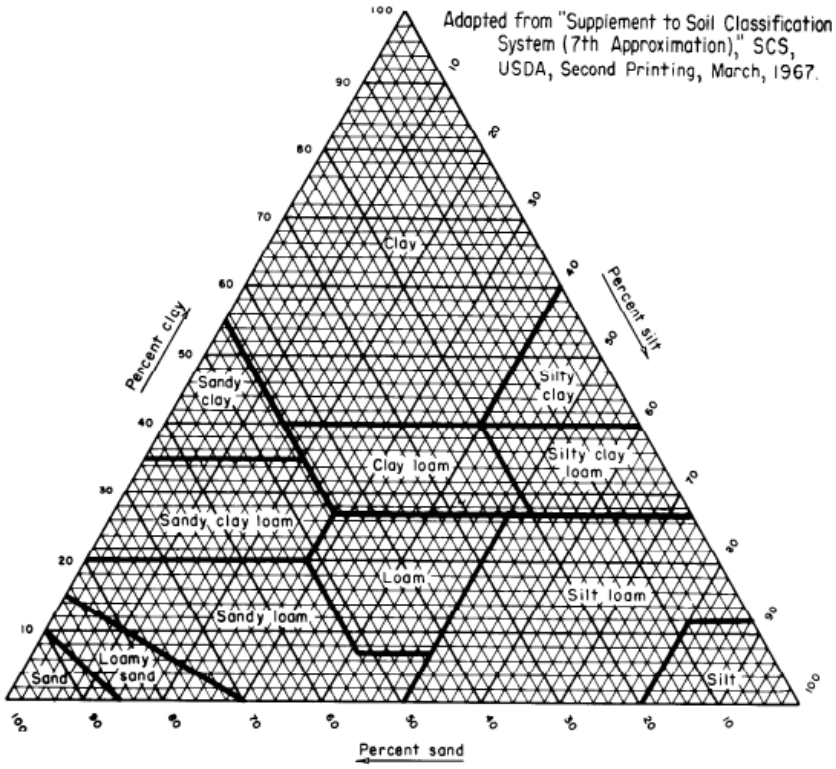
Kelas Lereng	Proses, Karakteristik dan Kondisi Lahan	Simbol Warna
0° - 2° (0 – 2%)	Datar atau hampir datar, tidak ada erosi yang besar, dapat diolah dengan mudah dalam kondisi kering.	Hijau Tua
2° - 4° (2 – 7%)	Lahan memiliki kemiringan lereng landai, bila terjadi longsor bergerak dengan kecepatan rendah, pengkikisan dan erosi akan meniggakan bekas yang sangat dalam.	Hijau Muda
4° - 8° (7 – 15%)	Lahan memiliki kemiringan lereng landai samapi curam, bila terjadi longsor bergerak dengan kecepatan rendah, sangat rawan terhadap erosi.	Kuning Muda
8° - 16° (15 – 30%)	Lahan memiliki kemiringan lereng yang curam, samapi curam, rawan terhadap bahaya longsor, erosi permukaan dan erosi alur.	Kuning Tua
16° - 35° (30 – 70%)	Lahan memiliki kemiringan lereng yang curam, samapi curam sampai terjal, sering terjadi erosi dan gerakan tanah dengan kecepatan yang perlahan – lahan. Daerah rawan erosi dan longsor.	Merah Muda
35° - 55° (70 – 140%)	perlahan – lahan. Daerah rawan erosi dan longsor.	Merah Tua
> 55° (140%)	Lahan memiliki kemiringan lereng yang terjal, sering sering ditemukan singkapan batuan muncul dipermukaan, rawan terhadap batuan.	Ungu Tua

Sumber: (Van Zuidam, 1985 dalam Yusuf, 2021)

2.5.3 Tekstur Tanah

Tanah merupakan bahan hasil pelapukan batuan. Karakteristik tanah dan sebaran jenisnya dalam DAS sangat menentukan besarnya infiltrasi limpasan permukaan (*overland flow*) dan aliran bawah permukaan (*subsurface flow*). Karakteristik tanah yang penting untuk diketahui antara lain berat isi, tekstur, kedalaman, dan pelapisan tanah (horison). Tekstur merupakan perbandingan komposisi (%) butir-butir penyusun tanah yang terdiri dari fraksi pasir (50µm - 2mm), debu (50 m - 2 m), dan liat (< 2µm). Semakin halus tekstur tanah, semakin tinggi kapasitas infiltrasinya (Rahayu et al., 2009). Penetapan tekstur tanah dapat

menggunakan segitiga tekstur. Hal yang perlu diperhatikan saat melihat penampang tanah adalah kedalaman horizon (atas dan bawah), keberadaan lapisan kedap air dan permeabilitasnya. Pada jenis tanah tertentu terdapat hambatan perkembangan yang ditandai dengan adanya horison kedap air. Horison ini dapat menyebabkan proses infiltrasi terhambat.



Gambar 2.12 Segitiga Tekstur (Bureau of Reclamation, 1997)

2.6 Analisis Debit Banjir Rencana

2.6.1 Metode Rasional

Metode yang paling sering digunakan untuk mengestimasi debit di suatu DAS dimana tidak ada data pengamatan debitnya adalah Metode Rasional Jepang. Dalam hal ini besarnya debit tersebut merupakan fungsi dari luas DAS, intensitas hujan, keadaan pemukaan tanah yang dinyatakan dalam koefisien limpasan dan kemiringan sungai. Debit banjir dirumuskan secara generik sebagai berikut.

$$Q = C \times I \times A$$ ..... Persamaan 33

Persamaan debit diubah untuk kepentingan kepraktisan dalam penentuan satuan menjadi sebagi berikut (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2016).

$$Q_P = \frac{1}{360} \times C \times I \times A$$ ..... Persamaan 34

Dimana: Q_P = Debit maksimum rencana (m^3/dt).

A = Luas daerah aliran (Ha)

C = Koefisien aliran ($0 \leq C \leq 1$)

I = Intensitas curah hujan (mm/jam).

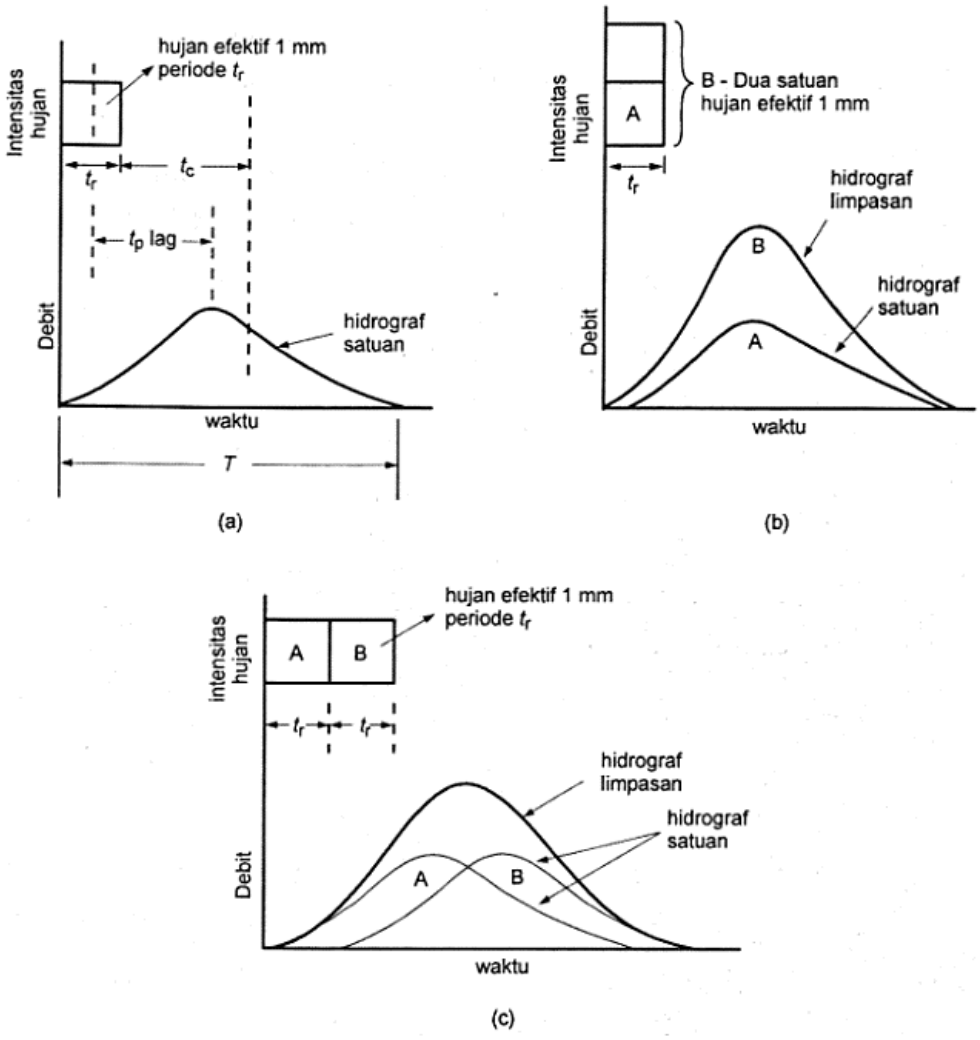
2.6.2 Hidrograf Satuan Sintetik

Pada tahun 1932, L.K. Sherman mengenalkan konsep hidrograf satuan, yang banyak digunakan untuk melakukan transformasi dari hujan menjadi debit aliran. Hidrograf satuan didefinisikan sebagai hidrograf limpasan langsung/*direct run-off hydrograph* (tanpa aliran dasar) yang tercatat di ujung hilir DAS yang ditimbulkan oleh hujan efektif sebesar 1 mm yang terjadi secara merata dengan intensitas tetap dalam suatu durasi tertentu. Sedangkan hidrograf satuan sintetik (*synthetic unit hidrograf*) adalah hidrograf satuan tiruan yang diturunkan tanpa menggunakan data hujan atau debit. Hidrograf satuan sintetik umumnya diturunkan dari karakteristik DAS (Himanshu et al., 2013, dalam Tunas, (2017).

Terdapat empat dalil dalam teori klasik tentang hidrograf satuan, yang menganggap bahwa teori hidrograf satuan merupakan penerapan dari teori sistem linier dalam bidang hidrologi. Keempat dalil tersebut adalah sebagai berikut (Slamet, 2006):

1. Dalil I (Prinsip merata): hidrograf satuan ditimbulkan oleh satu satuan hujan lebih yang terjadi merata di seluruh DAS, selama waktu yang ditetapkan.

2. Dalil II (prinsip waktu dasar konstan): dalam suatu DAS, hidrograf satuan yang dihasilkan oleh hujan-hujan efektif dalam waktu yang sama akan mempunyai waktu dasar yang sama, tanpa melihat intensitas hujannya
3. Dalil III (prinsip linearitas): besarnya limpasan langsung pada suatu DAS berbanding lurus terhadap tebal hujan efektif, yang berlaku bagi semua hujan dengan waktu yang sama.
4. Dalil IV (prinsip superposisi): total hidrograf limpasan langsung yang disebabkan oleh beberapa kejadian hujan yang terpisah merupakan penjumlahan dari tiap-tiap hidrograf satuan.



Gambar 2.13 Prinsip hidrograf satuan (Triatmodjo, 2008)

2.6.2.1 Metode Nakayasu

HSS Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang (Soemarto, 1987). Adapun parameter yang berpengaruh antara lain.

1. Tenggang waktu dari permulaan hujan hingga akhir dari hujan
2. Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*)
3. Luas daerah pengaliran
4. Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*)
5. Koefisien pengaliran (*run-off coeffisient*)

Adapun rumus perhitungan HSS Nakayasu (Soemarto, 1987) yaitu:

$$Q_P = \frac{C \times A \times R_O}{3,6\left(0,3T_P + T_{0,3}\right)}$$ ..... Persamaan 35

Keterangan :

Q_p = Debit puncak banjir (m^3 /detik)

R_o = Hujan satuan (mm)

T_p = Tenggang waktu dari permulaam hujan sampai puncak banjir (hour)

$T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan Q dari puncak hingga 30% Q_p

A = Luas daerah pengaliran sampai ke outlet

C = Koefisien pengaliran

Dalam menentukan T_p dan $T_{0,3}$ digunakan sebuah rumus pendekatan yaitu:

$$T_P = tg + 0,8 + T_r$$ ..... Persamaan 36

$$T_{0,3} = a \times tg$$ ..... Persamaan 37

Hujan efektif yang menyebabkan terjadinya limpasan dihitung sebagai berikut.

$$T_r = 0,75 \times tg$$ ..... Persamaan 38

Dimana tg adalah *time lag* yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (*hour*). Besarnya tg dihitung dengan syarat sebagai berikut.

a) Jika sungai dengan panjang alur L > 15 km, maka:

$$tg = 0,4 + 0,058 \times L$$ ..... Persamaan 39

b) Jika sungai dengan panjang alur L < 15 km, maka:

$$tg = 0,21 \times L^{0,7}$$ ..... Persamaan 40

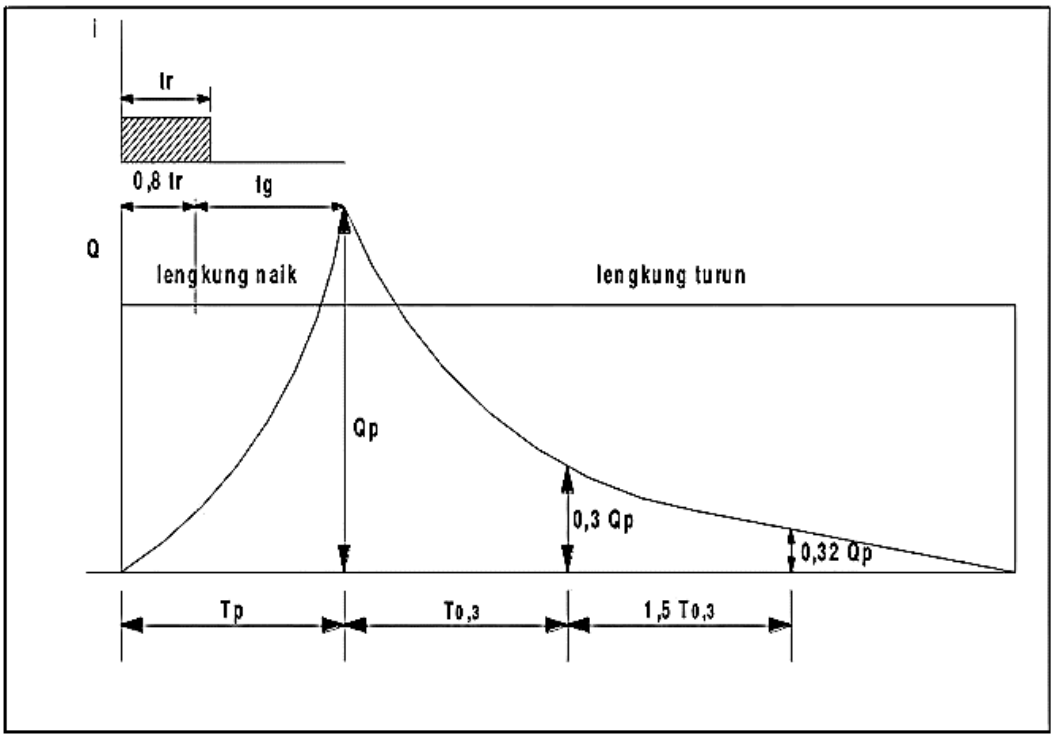
Perhitungan $T_{0,3}$ menggunakan ketentuan parameter hidrograf α sebagai berikut.

α = 2 - pada daerah pengaliran biasa

α = 1,5 - pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat

α = 3 - pada bagian naik hidrograf cepat, dan turun lambat

$$\alpha = \frac{0,47 \times (A \times L^{0,25})}{tg}$$ ..... Persamaan 41



Gambar 2.14 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Triatmodjo, 2008)

Bagian lengkung dari HSS Nakayasu mempunyai persamaan sebagai berikut.

1. Waktu naik $0 \leq t < Tp$

$$Q_t = Q_P \left(\frac{t}{T_P} \right)^{2,4}$$ ..... Persamaan 42

2. Waktu turun

a) $T_P \le t < T_P + T_{0,3}$

$$Q_t = Q_P \times 0,3^{\left(\frac{t-T_P}{T_{0,8}}\right)}$$ ..... Persamaan 43

b) $T_P + T_{0,3} \le t < \left(T_P + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}\right)$

$$Q_t = Q_P \times 0,3^{\left(\frac{t-T_P+0,5T_{0,8}}{1,5-T_{0,8}}\right)}$$ ..... Persamaan 44

c) $t > T_P + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$

$$Q_t = Q_P \times 0,3^{\left(\frac{t-T_P+0,5T_{0,8}}{2T_{0,8}}\right)}$$ ..... Persamaan 45

2.6.2.2 Metode Snyder

Pada awal tahun 1938, F.F. Snyder dari Amerika Serikat mengembangkan rumus empiris dengan koefisien-koefisien empiris yang menghubungkan unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik daerah pengairan (Triatmodjo, 2008). Unsur-unsur hidrograf tersebut dihubungkan dengan luas daerah pengairan (km^2), panjang aliran utama (km) dan jarak antara titik berat daerah pengairan dengan pelepasan (*outlet*) yang diukur sepanjang aliran utama. Parameter tersebut (Slamet. B. 2006, dalam Irawan et al., 2020) yaitu:

1. Waktu dari titik berat durasi hujan efektif t_D ke puncak hidrograf satuan, t_p

$$t_P = C_t \left(LL_C\right)^{0,3}$$ ..... Persamaan 46

2. Debit puncak untuk durasi t_D (Q_p)

$$Q_P = \frac{C_P \times A}{t_p}$$ ..... Persamaan 47

3. Waktu dasar hidrograf satuan (T)

$$T = 3 + \frac{t_p}{8}$$ ..... Persamaan 48

4. Durasi standar dari hujan efektif (t_D)

$$t_D = \frac{t_p}{5,5}$$ ..... Persamaan 49

5. Apabila durasi hujan efektif t_r tidak sama dengan durasi standar t_D, maka:

   Waktu dari titik berat durasi hujan tr ke puncak hidrograf satuan (t_pR)

$$t_{pR} = t_p + 0,25\left(t_r - t_D\right)$$ ..... Persamaan 50

6. Debit puncak untuk durasi t_r (Q_pR)

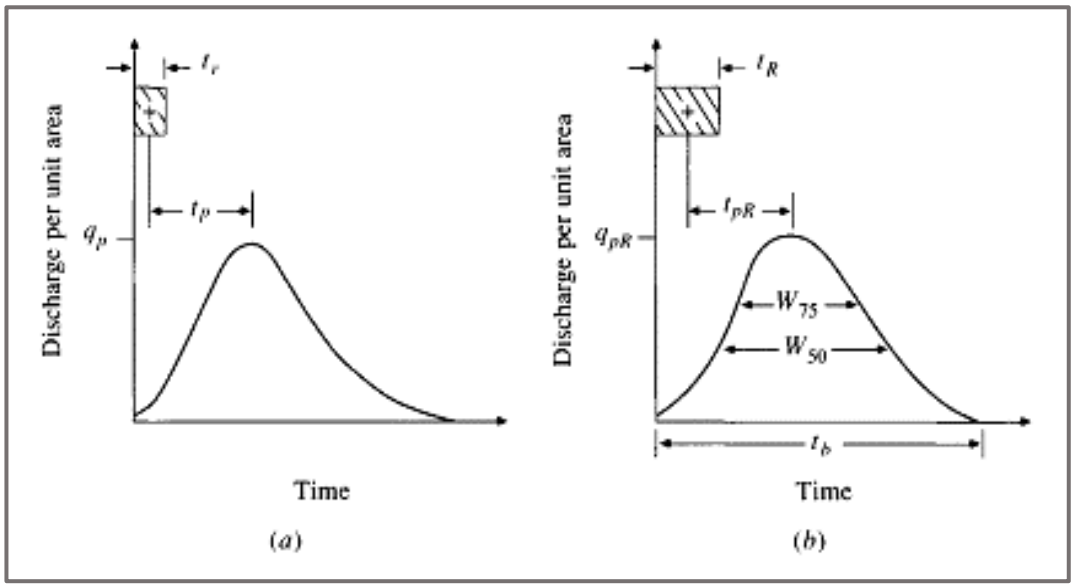
$$Q_{pR} = Q_P \times \frac{t_p}{t_{pR}}$$ ..... Persamaan 51

7. Lebar unit hidrograf pada debit 50% dari debit puncak

$$W_{50} = \frac{0,23A^{1,08}}{\left(Q_{pR}\right)^{1,08}}$$ ..... Persamaan 52

8. Lebar unit hidrograf pada debit 75% dari debit puncak

$$W_{75} = \frac{0,13A^{1,08}}{\left(Q_{pR}\right)^{1,08}}$$ ..... Persamaan 53

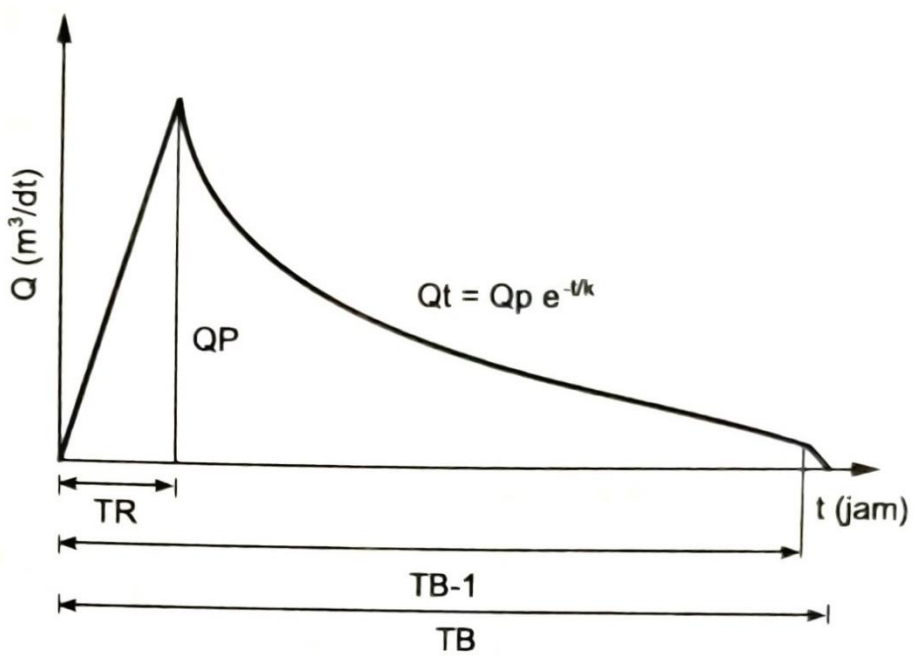


Gambar 2.15 Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

Sumber: (Chow et al., 1988)

2.6.2.3 Metode Gama-I

Metode Gama-I dikembangkan berdasarkan perilaku hidrologis 30 DAS di Pulau Jawa oleh Sri Harto (1993, 2000). HSS Gama-I terdiri dari tiga bagian pokok yaitu sisi naik (*rising limb*), puncak (*crest*) dan sisi turun (*recesion limb*). Gaambar dibawah ini menunjukan HSS Gama-I tampak ada patahan dalam sisi resesi. Hal tersebut terjadi karena sisi resesi mengikuti persamaan eksponensial yang tidak memungkinkan debit sama dengan nol. Meskipun memiliki pengaruh kecil namun tetap harus diperhitugkan mengingat bahwa volume hidrograf satuan harus tetap bernilai satu.



Gambar 2.16 Hidrograf Satuan Sintetik Gama-I

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam HSS Gama-I adalah sebagai berikut.

1. Waktu puncak HSS Gama-I (TR)

$$TR = 0.43\left(\frac{L}{100SF}\right)^{3} + 1.0665SIM + 1.2775$$ ---------- Persamaan 54

2. Debit puncak banjir (QP)

$$QP = 0.1836A^{0.5886}TR^{-0.4008}JN^{0.2381}$$ ---------- Persamaan 55

3. Waktu dasar (TB)

$$TB = 27.4132TR^{0.1457}S^{-0.0986}SN^{0.7344}RUA^{0.2574}$$ ---------- Persamaan 56

4. Koefisien resesi (K)

$$K = 0.5617A^{0.1798}S^{-0.1446}SF^{-1.0897}D^{0.0452}$$ ---------- Persamaan 57

5. Aliran dasar (QB)

$$QB = 0.4715A^{0.6444}D^{0.9430}$$ ---------- Persamaan 58

6. Indeks Infiltrasi (Φ)

$$\phi = 10.4903 - 3.859\times10^{-6} + 1.6985\times10^{-13}\left(\frac{A}{SN}\right)^{4}$$ ---------- Persamaan 59

Dengan:

A = luas DAS (km²)

L = panjang sungai utama (km)

S = kemiringan dasar sungai

SF = faktor sumber, jumlah panjang sungai tingkat satu dibagi dengan jumlah panjang sungai semua tingkat.

SN = frekuensi sumber, jumlah pangsa sungai tingkat satu dibagi dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat.

WF = faktor lebar, perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik sungai yang berjarak 0,75 L dengan lebar DAS yang diukur di sungai yang berjarak 0,25 L dari stasiun hidrometri.

JN = jumlah pertemuan sungai.

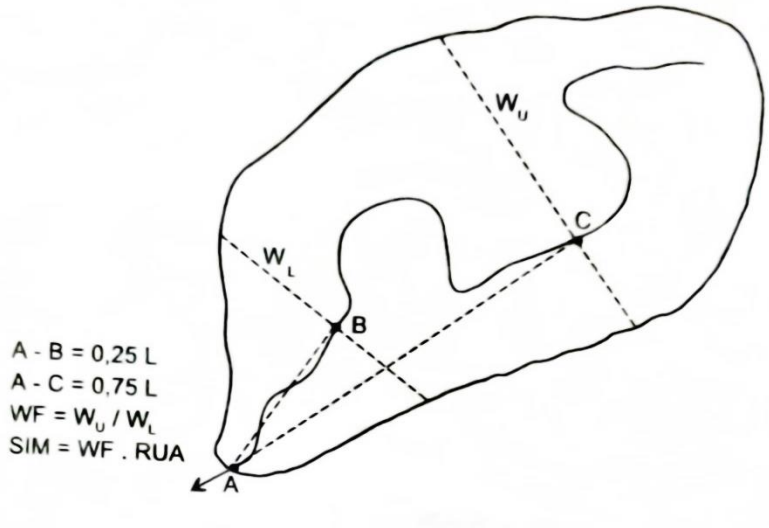
SIM = faktor simetri, hasil kali antara WF dengan RUA.

RUA = Luas relatif DAS sebelah hulu, luas DAS hulu dibagi luas DAS (km^2).

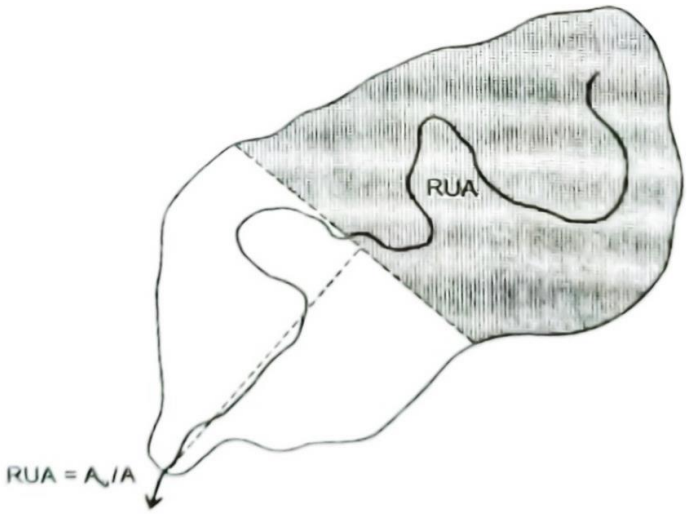
D = kerapatan jaringan kuras, jumlah panjang sungai semua tingkat dibagi luas DAS.

Φ = indeks infiltrasi (mm/jam)

Berikut ini adalah gambaran sketsa penetapan WF dan RUA pada suatu DAS.



Gambar 2.17 Sketsa Penetapan WF (Triatmodjo, 2008)



Gambar 2.18 Sketsa Penetapan RUA (Triatmodjo, 2008)

2.6.2.4 Metode SCS-CN

Model yang dapat digunakan untuk menghitung *precipitation loss* dan *precipitation excess* adalah *Soil Conservation Service* (SCS) *Curve Number Loss Model*. Model SCS -CN memperkirakan *precipitation excess* sebagai suatu fungsi kumulatif dari hujan, penutup lahan, tataguna lahan dan *antecedent moisture* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$ ---------- Persamaan 60

$$I_a = 0.2 \times S$$ ---------- Persamaan 61

Dimana:

P_e = akumulasi *precipitation excess* pada saat t

P = akumulasi kedalaman hujan pada saat t

I_a = *Initial Loss*

S = *maximum retention potential*

Interval waktu dihitung sebagai perbedaan antara akumulasi *precipitation excess* pada saat akhir dan awal periode. Nilai *retention maximum* (S) dan karakteristik DAS dihubungkan dengan nilai parameter *Curve Number* (CN) dengan persamaan sebagai berikut.

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$ atau $$S = \frac{1000 - 10CN}{CN}$$ (FPS) ---------- Persamaan 62

Dimana: S = Nilai *retention maximum*

CN = nilai *Curve Number* masing-masing tataguna lahan

Nilai CN berkisar antara 100 untuk *water body* dan 30 untuk tanah *permeabel* dengan laju *infiltrasi* tinggi. Sedangakan tipe tanah dikelompokkan menjadi empat dengan notasi A, B, C dan D seperti pada tabel dibawah.

Tabel 2.10 Kelompok tanah dan laju kehilangan menurut model SCS

Soil group	*Description*	*Range of loss rates (in/hr)*
A	*Deep sand, deep loess, aggregated silts*	0.30-0.45
B	*Shallow loess, sandy loam*	0.15-0.30
C	*Clay loams, shallow sandy loam, soils low in organic content, and soils usually high in clay*	0.05-0.15
D	*Soils that swell significantly when wet, heavy plastic clays, and certain saline soils*	0.00-0.05

Sumber: (USACE, (2000) dalam G. Tunas, 2005)

Nilai CN didapatkan dari kondisi penelitian yaitu daerah beriklim sedang. Namun nilai tersebut dapat digunakan apabila nilai CN di daerah yang diteliti belum tersedia. Nilai CN pada penelitian ini digunakan disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.11 Nilai CN untuk Jenis Tutupan Lahan

No	Tutupan Lahan	*Hydrologic Soil Group*			
		A	B	C	D
1	Air Tawar	98	98	98	98
2	Hutan	57	73	82	86
3	Kebun	57	73	82	86
4	Padang Rumput/Tanah Kosong	72	82	87	89
5	Pemukiman	61	75	83	87
6	Rawa	98	98	98	98
7	Sawah Irigasi	62	71	78	81
8	Sawah Tadah Hujan	72	81	88	91
9	Semak Belukar	48	67	77	83
10	Tanah Ladang	66	77	85	89

Sumber: (Adidarma dan Tim, (2017) dalam Ramadan et al., 2017)

DAS yang terdiri dari beberapa tipe tanah dan tataguna lahan maka nilai CN adalah $CN_{composite}$ yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$CN_{KOMPOSIT} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i}$$ ---------- Persamaan 63

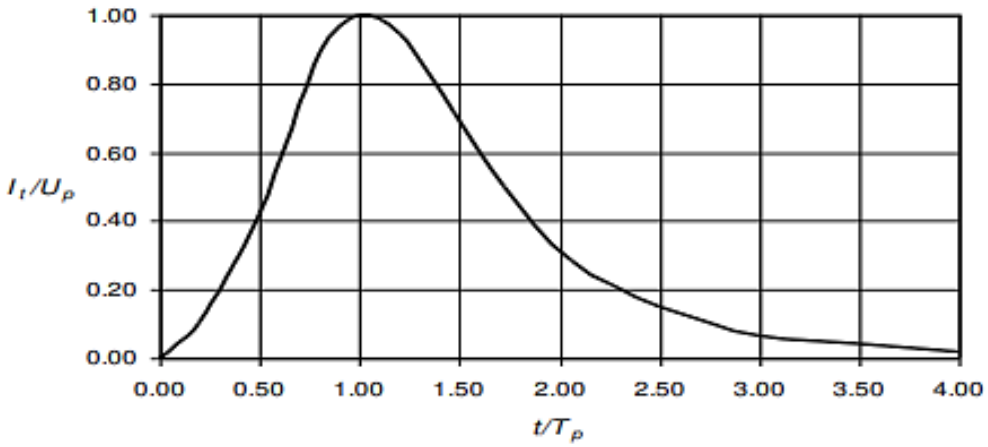
Dimana:

$CN_{komposit}$ = nilai CN komposit dari beberapa tipe tanah dan tataguna lahan,

i = indeks untuk sub-DAS yang mempunyai tatagun lahan yang sama,

A_i = luas daerah sub-DAS.

SCS-CN adalah salah satu model hidrograf yang terdapat pada model HEC-HMS. Model ini merupakan model hidrograf berpuncak tunggal (*single-peaked*) dan hidrogaf tanpa satuan (*dimensionless*) seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.19 Tipikal Hidrograf Satuan SCS (G. Tunas, 2005)

Pada metode SCS puncak hidrograf (Up) dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$U_P = C\frac{A}{T_P}$$ ---------- Persamaan 64

Waktu puncak yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_P = \frac{\Delta_t}{2} + t_{lag}$$ ---------- Persamaan 65

Waktu *lag* dan waktu konsentrasi (t_c) dihubungkan dengan persamaan berikut.

$$t_c = 0.6 \times t_{lag}$$ ---------- Persamaan 66

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya Time Lag sendiri yaitu:

$$t_{lag} = \frac{L^{0.8}\left(S+1\right)^{0.7}}{1900 \times \left(\%Slope\right)^{0.5}}$$ ---------- Persamaan 67

Besarnya limpasan maksimum prediksi pada model hidrograf SCS diperoleh berdasarkan persamaan berikut ini.

$$Q = \left(\frac{P - 0.2S}{P + 0.8S} \right)^2$$ ---------- Persamaan 68

Dimana:

A = luas DAS (Km^2)

C = konstanta konversi (2.08)

Tp = waktu puncak (jam)

Δt = lama kejadian hujan (jam)

t_{lag} = waktu dari pusat massa hujan sampai puncak hidrograf (jam)

Q = Debit limpasan maksimum (m^3/s)

2.6.2.5 Metode Clark

Clark Unit Hydrograph juga merupakan salah satu model hidrograf yang terdapat pada model HEC-HMS. Parameter yang membedakan hidrograf ini dengan hidrograf SCS adalah persamaan waktu konsentrasi (T_c) dan adanya persamaan untuk *Storage Coefficient* (R). Berikut ini merupakan persamaan yang berlaku pada metode hidrograf Clark (Straub et al., 2000).

$$T_C = 1.54 L^{0.875} S^{-0.181}$$ ---------- Persamaan 69

$$R = 16.4 L^{0.342} S^{-0.790}$$ ---------- Persamaan 70

Dimana:

Tc = waktu konsentrasi (jam),

R = *storage coeficcient* (jam),

L = panjang sungai (mi),

S = kemiringan sungai (ft/mi).

2.7 Bendungan

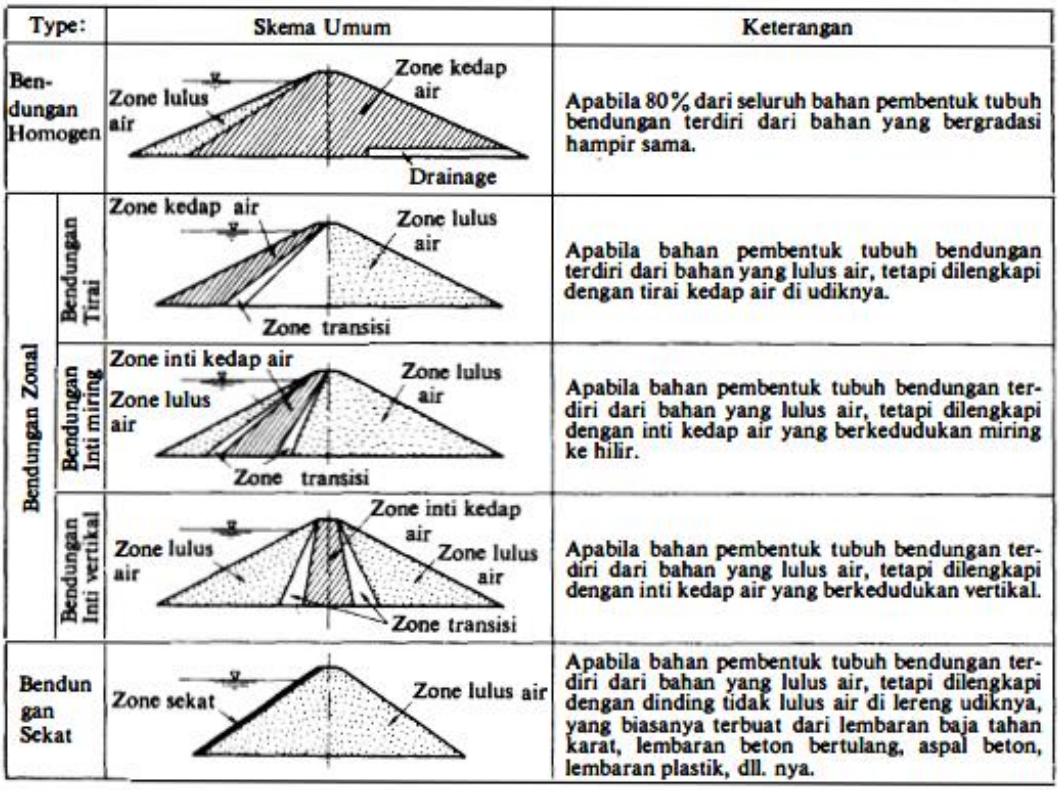
Bendungan adalah setiap penahan buatan, jenis urugan atau jenis lainnya, yang menampung air atau dapat menampung air baik secara alamiah maupun buatan, termasuk fondasi, ebatmen, bangunan pelengkap, dan peralatannya (Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2004). Bendungan dibagi dalam dua jenis utama (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 1994), yaitu:

1. Bendungan urugan, termasuk komposit, terbagi dalam tiga kelas:
    - Bendungan rendah, yang tingginya dari 40,00 m
    - Bendungan sedang, yang tingginya antara 40,00 - 80,00 m
    - Bendungan tinggi, yang tingginya lebih besar dari 80,00 m
2. Bendungan beton, yang karena sifatnya tahan terhadap peluapan, tidak dibagi dalam beberapa kelas.

Bendungan tipe urugan adalah bendungan yang terbuat dari bahan urugan dari *borrow area* yang dipadatkan dengan menggunakan *vibrator roler* atau alat pemadat lainnya pada setiap hamparan dengan tebal tertentu (Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2004). Bendungan urugan terbagi lagi atas beberapa tipe seperti diuraikan pada gambar dibawah. Hal yang perlu dipertimbangkan tentang pembangunan bendungan adalah konsekuensi daerah hilir. Konsekuensi daerah hilir yang kemungkinan dapat terkena banjir apabila bendungan runtuh dibagi dalam dua kelas, (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 1994) yaitu:

1. Konsekuensi besar, bila terdapat kelompok pemukiman penduduk (contoh: desa, kecamatan, kota) dan atau daerah usaha maupun industri baik yang sudah berkembang maupun yang akan dibangun.

2. Konsekuensi kecil, bila tidak terdapat atau terdapat sedikit rumah penduduk, dan atau daerah usaha maupun industri.



Gambar 2.20 Tipe Bendungan Urugan

Sumber: (Sosrodarsono, Suyono; Kensaku, 1997)

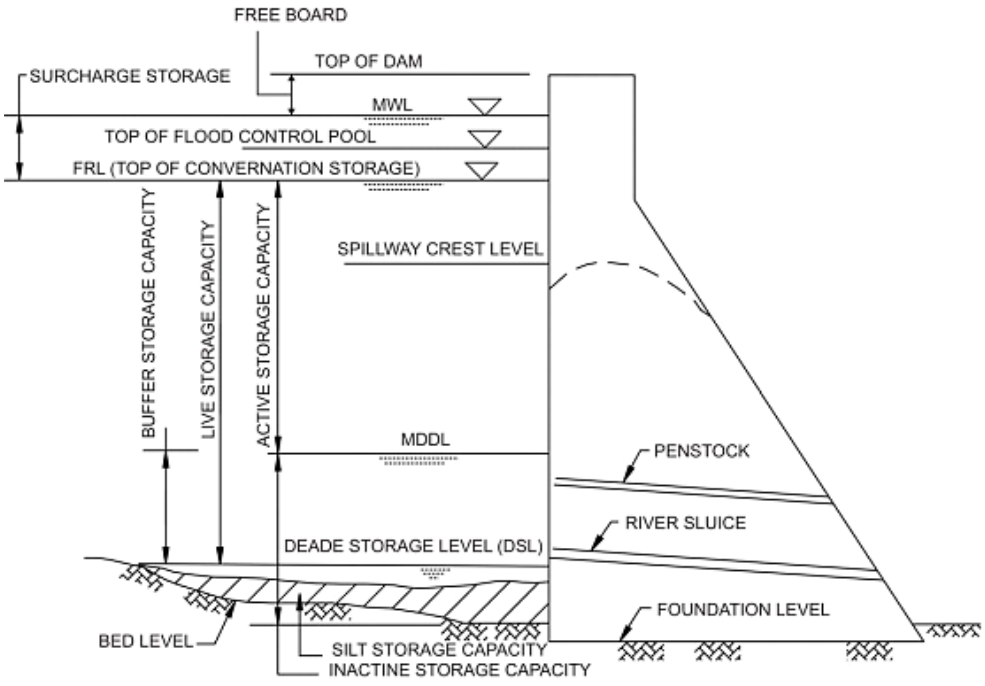
2.7.1 Penggunaan Waduk dan Zona Tampungannya

Waduk adalah wadah air buatan termasuk material yang terkandung di dalamnya yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan, dan berbentuk pelebaran alur/badan/palung sungai (Departemen Pekerjaan Umum, 2004). Fungsi waduk adalah menyediakan air untuk satu atau lebih dari satu tujuan. Waduk yang menyediakan air untuk beberapa tujuan disebut sebagai "*Multi Purpose*" reservoir. Tujuan penggunaan waduk untuk kebutuhan manusia dan/atau keperluan industri sendiri biasanya terdiri dari (IIT Kharagpur, 2013):

- Irigasi, untuk menambah curah hujan yang tidak mencukupi kebutuhan.

- Pembangkit listrik tenaga air, untuk menyediakan pasokan listrik.
- Skema *Pumped storage hydropower*, di mana air mengalir dari reservoir atas ke bawah untuk menghasilkan tenaga dan energi pada saat permintaan tinggi melalui turbin, yang reversibel dan air dipompa kembali ke reservoir atas ketika memiliki kelebihan energi.
- Pengendali Banjir (*Flood Control*), untuk menampung debit banjir dan membuang kelebihan debit melalui *spillway*.
- Penggunaan fasilitas, dalam hal ini termasuk ketentuan untuk berperahu, olahraga air, memancing dan lainnya.

Kapasitas Waduk adalah jumlah daya tampung waduk sampai ke elevasi muka air normal atau elevasi operasi normal (Departemen Pekerjaan Umum, 2004). Kapasitas tampungan dalam waduk dibagi menjadi tiga atau empat bagian yang dibedakan oleh beberapa elevasi. Berikut diagram zona tampungan pada waduk.

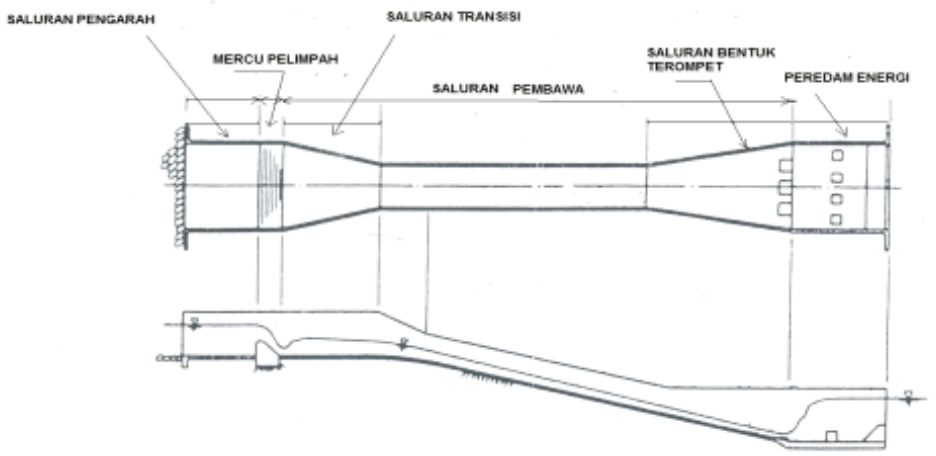


Gambar 2.21 Diagram Zona Tampungan

Sumber: (IIT Kharagpur, 2013)

2.7.2 Bangunan Pelimpah (*Spillway*)

Spillway adalah salah satu komponen penting dari sebuah bendungan, yang digunakan sebagai pengontrol pelepasan arus dari suatu bendungan ke daerah hilir. Fungsi utama dari *Spillway* adalah membuang kelebihan air waduk, sehingga air tidak melimpasi puncak bendungan (*overtopping*) yang dapat membahayakan bendungan, terutama bendungan tipe urugan tanah. *Spillway* harus dirancang dengan baik agar debit banjir yang direncanakan nantinya dapat mengalir dengan baik melalui saluran transisi, saluran peluncur dan peredam energi.



Gambar 2.22 Skema Tipe Bangunan Pelimpah pada Bendungan Urugan
Sumber: (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017)

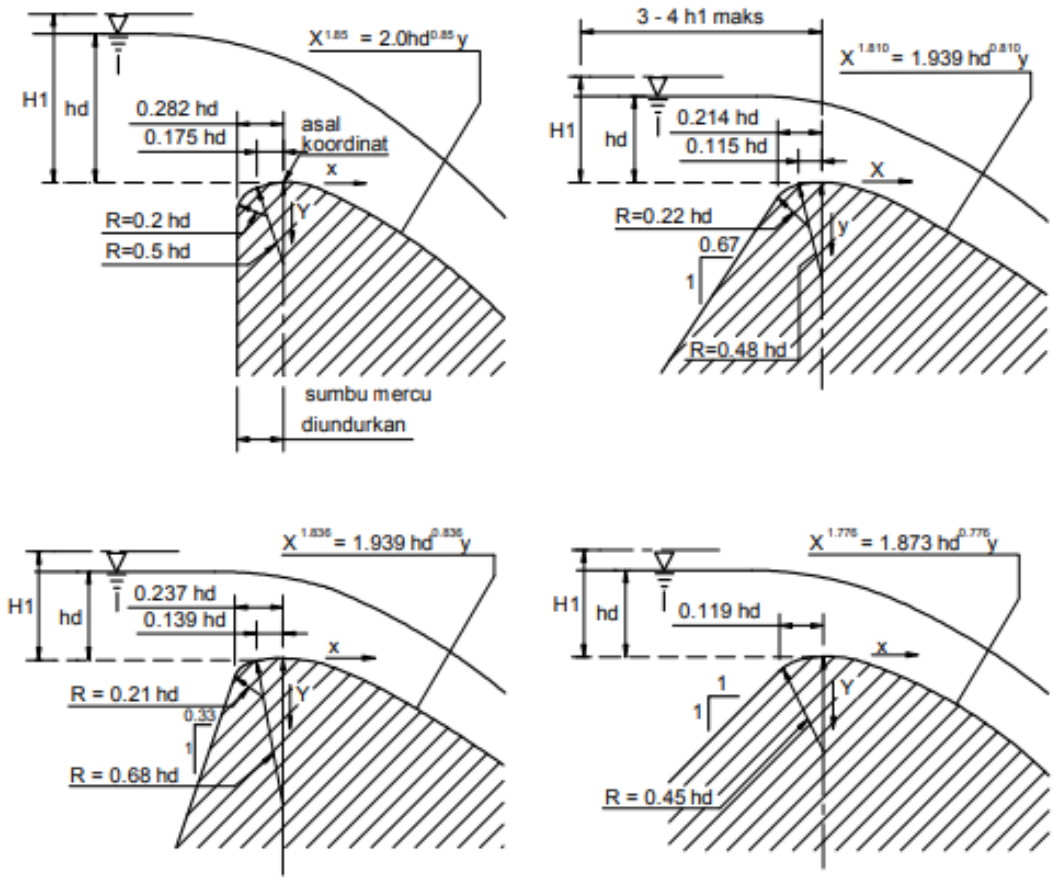
Spillway harus didesain secara hati-hati dan jangan sampai berdampak merugikan terhadap tubuh bendungan, pondasi dan reservoir. Penentuan tipe bangunan pelimpah harus memipertimbangkan kondisi geologi, topografi, segi keamanan, sosial dan ekonomi, cara operasi dan pemeliharaan dan juga tipe bendungannya. Bangunan pelimpah dapat dibangun menjadi bagian dari bendungan, tapi bila kondisi topografi memungkinkan bangunan pelimpah juga dapat dibangun terpisah dari bendungan utama, untuk menghindari pengaruh rembesan melalui bidang kontak.

Berdasarkan fungsinya *Spillway* dibedakan menjadi tiga, yaitu *Service Spillway, Auxiliary Spillway* dan *Emergency Spillway*. Sedangkan berdasarkan bentuknya *Spillway* terdiri dari *Chute, Side Channel Spillway, Shaft, Siphon, Labirin, Box Inlet Drop Spillway* dan Pelimpah Konduit / Terowongan (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017). Selain itu, *Spillway* juga diklasifikasikan menjadi *Spillway* tanpa pintu dan dengan pintu. *Spillway* dengan pintu terdiri dari pelimpah berpintu dan pelimpah dengan "*fuse gate*". Sedangkan *Spillway* tanpa pintu terdiri dari (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017):

a. Pelimpah dengan Mercu *Ogee* dan *Sill* kendali
b. Saluran dengan dua sisi dan pelimpah samping dengan Mercu *Ogee*
c. Pelimpah *Morning Glory*
d. Pelimpah dengan Mercu Labirin

2.7.2.1 Mercu Bangunan Pelimpah

Mercu Bangunan Pelimpah adalah bagian paling atas bangunan tempat limpahan air (Departemen Pekerjaan Umum, 2004). Puncak mercu pada bangunan pelimpah/tinggi bangunan pelimpah diatur sama dengan muka air normal pada suatu bendungan (*Normal Water Level*). Muka air normal ini setara dengan batas atas tampungan efektif bendungan. Pada umumnya kebanyakan mercu pada pelimpah menggunakan tipe Mercu Ogee. Mercu Ogee adalah sebuah mercu yang memiliki bentuk tirai luapan ambang tajam. Oleh karena itu, mercu ini tidak akan memberikan tekanan sub atmosfir pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit rendah, air akan memberikan tekanan kebawah pada mercu.



Gambar 2.23 Bentuk-bentuk bendung Mercu Ogee

Sumber: (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2016)

2.7.2.2 Model Tampungan dan Kapasitas Pelimpah

Tampungan banjir merupakan ruang di dalam waduk untuk menampung banjir, yang besarnya sama dengan selisih antara muka air maksimum pada waktu banjir dan muka air normal. Tampungan banjir dan kapasitas pelimpah sendiri pada bendungan ditetapkan dengan melakukan analisis penelusuran banjir desain yang dimulai pada muka air waduk normal. Banjir desain adalah banjir yang digunakan untuk mendesain bendungan beserta bangunan-bangunan pelengkapnya, terutama untuk menentukan ukuran bangunan pelimpah dan bangunan pengeluaran, serta untuk menentukan volume tampungan maksimum air waduk dan tinggi puncak bendungan.

Pembuatan desain bendungan lazimnya diperlukan data banjir dengan kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100, 1000 tahun dan PMB. Besarnya banjir desain ditetapkan sesuai dengan ketentuan dalam tabel dibawah ini (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 1994).

Tabel 2.12 Patokan Banjir Desain dan Kapasitas Pelimpah untuk Bendungan

<table>
<tr><th rowspan="2">Jenis dan Kelas Bendungan</th><th colspan="2">Konsekuensi Besar</th><th colspan="2">Konsekuensi Kecil</th></tr>
<tr><th>Banjir Desain</th><th>Kapasitas Pelimpah</th><th>Banjir Desain</th><th>Kapasitas Pelimpah</th></tr>
<tr><td>Bendungan Urugan</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">< 40 m (rendah)</td><td rowspan="2">Q1000* dan BMB* masing masing dengan tinggi jagaan sesuai standar yang berlaku</td><td>Ditentukan dengan penelusuran banjir</td><td rowspan="2">Pilih yang besar antar Q1000 dan 0,5 BMB</td><td>Ditentukan dengan penelusuran banjir</td></tr>
<tr><td>Minimal 15% debit puncak BMP</td><td>Minimal 15% debit puncak banjir desain</td></tr>
<tr><td rowspan="2">40 – 80 m (sedang)</td><td rowspan="2">Sda</td><td>Ditentukan dengan penelusuran banjir</td><td rowspan="2">Sda</td><td>Ditentukan dengan penelusuran banjir</td></tr>
<tr><td>Minimal 25% debit puncak BMP</td><td>Minimal 25% debit puncak banjir desain</td></tr>
<tr><td rowspan="2">> 80 m (tinggi)</td><td rowspan="2">Sda</td><td>Ditentukan dengan penelusuran banjir</td><td rowspan="2">Sda</td><td>Ditentukan dengan penelusuran banjir</td></tr>
<tr><td>Minimal 35% debit puncak BMP</td><td>Minimal 35% debit puncak banjir desain</td></tr>
<tr><td>Bendungan Beton</td><td>Q100***</td><td>Minimal 125% Q100</td><td>0.5 Q100</td><td>Min. 125% x 0.5 Q100</td></tr>
</table>

* Q1000 = banjir dengan kala ulang 1000 tahun
** BMB = banjir maksimum boleh jadi
*** Q100 = debit puncak banjir denga kala ulang 100 tahun

Kapasitas pelimpah didesain dengan menggunakan analisis besarnya debit banjir. Besarnya debit banjir yang melewati bangunan pelimpah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan debit banjir sesuai dengan jenis atau tipe puncak pelimpahnya. Berikut ini persamaan-persamaan debit yang dapat digunakan.

- Persamaan Debit untuk Puncak *Spillway* tipe Ogee tanpa pintu

$$Q = C_d \times L \times H_e^{\frac{3}{2}}$$ ..... Persamaan 71

Dimana :

Q = Debit (digunakan debit banjir rencana) (m^3/dtk)

Cd = Koefisien debit (C_0,C_1,C_2)

L = Lebar efektif mercu pelimpah (m)

H_e = Tinggi air diatas mercu pelimpah (m)

- Persamaan Debit untuk Puncak *Spillway* tipe Ogee dengan pintu

$$Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g} \times CL \times \left(H_1^{\frac{3}{2}} - H_2^{\frac{3}{2}} \right)$$ ..... Persamaan 72

Dimana:

H_1 = Total *head* dari atas pintu

H_2 = Total *head* dari bawah pintu

C = Koefisien

- Persamaan Debit untuk Pelimpah *Morning Glory*

$$Q = C_0 \left(2\pi R_s \right) H_o^{\frac{3}{2}}$$ ..... Persamaan 73

Dimana:

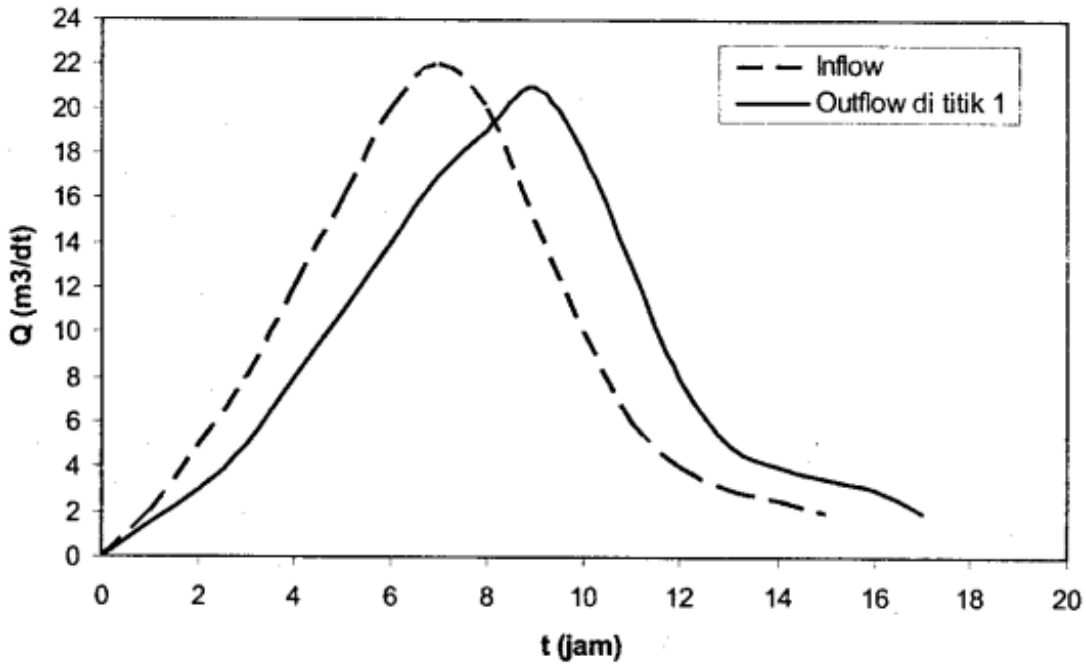
C_0 = Koefisien kontraksi antara H and Rs

R_S = Radius puncak *overflow*

H_o = Total *head*

2.7.3 Penelusuran Debit Banjir pada Waduk Melalui Pelimpah

Flow Routing atau penelusuran banjir adalah suatu cara untuk menentukan besarnya debit aliran dan waktu terjadinya debit tersebut pada suatu titik di sepanjang aliran sungai dengan menggunakan hidrograf aliran di daerah hulu titik tersebut. Jika aliran tersebut merupakan banjir (*flood*), maka disebut penelusuran banjir (*flood routing*) (Chow et al., 1988). Ditinjau dari titik tinjauan dan persamaan pengaturnya, teknik penelusuran aliran atau debit banjir rencana ini dikelompokkan menjadi dua yaitu penelusuran secara hidrologis (*lumped routing*) dan penelusuran hidraulik (*distributed routing*). Pada kasus kali ini penelusuran banjir dilakukan dengan teknik penelusuran hidrologis, dalam penelusuran hidrologis debit rencana dinyatakan sebagai fungsi waktu untuk satu titik sepanjang sungai (lihat gambar dibawah). Persamaan pengatur yang dipergunakan dalam penelusuran hidrologis adalah persamaan Kontinuitas dan Tampungan.



Gambar 2.24 Skema penelusuran hidrologis (*Inflow* & *Outflow*)

Sumber: (Kamiana; I Made, 2010)

Terdapat beberapa model penelusuran hidrologis diantaranya *Muskingum Method, Level Pool Reservoir* dan *Linear Reservoar*. Pada penelitian ini perhitungan penelusuran banjir (*flood routing*) lewat pelimpah, dihitung dengan Metode *Level Pool Routing* (penelusuran kolam datar). Berikut ini adalah bentuk persamaan kontinuitas metode LPR (Kamiana; I Made, 2010).

$$\frac{2S_{j+1}}{\Delta t}+O_{j+1}=\left(I_j+I_{j+1}\right)+2\frac{S_j}{\Delta t}-O_j$$ ..... Persamaan 74

Dari persamaan di atas dapat dilihat:

- Suku di sebelah kiri sama dengan nilainya tidak diketahui
- Suku di sebelah kanan sama dengan nilainya diketahui

Penyelesaian suku yang belum diketahui nilainya itu memerlukan tiga fungsi yang menggambarkan hubungan antara:

1. Ketinggian air dan tampungan (H dan S)

   Hubungan antara ketinggian dan tampungan dapat ditentukan dengan mengalikan antara kedalaman air dengan luas tampungan.

   $$S=A\times H$$ ..... Persamaan 75

2. Ketinggian air dan *Outflow* (H – O)

   Hubungan antara ketinggian air dan *outflow* bergantung dari tipe bangunan *outflow*, seperti bendung atau *spillway*, terowongan, waduk, gorong-gorong, dan sebagainya. Adapun dalam kasus ini bangunan yang digunakan adalah *spillway*, maka persamaannya adalah sebagai berikut:

   $$O=C_dLH^{\frac{3}{2}}$$ ..... Persamaan 76

3. *Outflow* dan tampungan (O dan S)

   $$\frac{2S}{\Delta t}+O$$ ..... Persamaan 77

Selanjutnya setelah ketiga fungsi di atas telah didapatkan hasilnya, maka dapat dilanjutkan untuk menentukan besarnya debit limpasan maksimum dan debit total reservoir dengan menggunakan persamaan-persamaan di bawah ini:

$$\left[\frac{2S_{j+1}}{\Delta t}-O_{j+1}\right]=\left[\frac{2S_{j+1}}{\Delta t}+O_{j+1}\right]-2O_{j+1} \quad \text{..... Persamaan 78}$$

$$Q_{maks}=I_{maks}-O_{maks} \quad \text{..... Persamaan 79}$$

$$Q_{total}=I_{total}-O_{total} \quad \text{..... Persamaan 80}$$

Keterangan:

S = Tampungan (*storage*) (m^3)
J = Indeks
Q = Debit limpasan (m^3/det)
A = Luas reservoir (km^2)
Δt = Selang waktu (det)
H = Elevasi muka air reservoir (m)
I = Debit *inflow* (m^3/det)
L = Lebar *Spillway* (m)
O = Debit *outflow* (m^3/det)
C_d = Koefisien debit

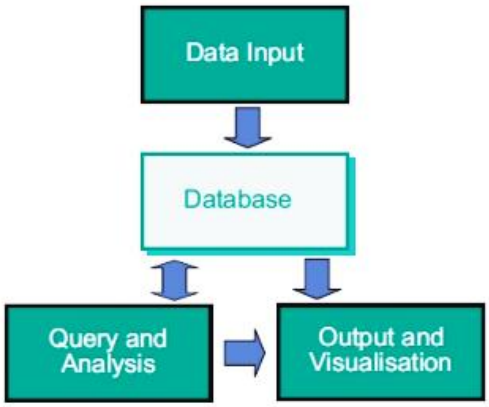
Volume tampungan (*storage*) merupakan hasil kali dari luas rerata genangan dengan tinggi peluapannya. Kapasitas waduk ini ditetapkan berdasarkan pengukuran topografi yang didasarkan pada peta dengan skala 1 : 1000 dan beda tinggi kontur 1 m. Persamaan pendekatan untuk mencari volume tampungan yang dibatasi oleh dua garis kontur berurutan adalah sebagai berikut.

$$V_s=(Z_n-Z_{n-1})\cdot\left(\frac{A_n+A_{n-1}}{2}\right) \quad \text{..... Persamaan 81}$$

Dimana: V_s = Volume pada kontur (m^3)
Z_n = Elevasi kontur ke-n (m)
Z_{n-1} = Elevasi kontur pada n-1 (m)
A_n = Luas komulatif ke-n (m^2)
A_{n-1} = Luas komulatif pada n-1 (m^2)

2.8 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem yang berbasis pada komputer yang mempunyai kemampuan untuk menangani data yang bereferensi kepada geografi yang mencakup masukan, manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan data), manipulasi, analisis, dan pengembangan produk serta pencetakan (Aronoff dalam Putra et al., 2016). SIG dapat menyimpan, mengelola dan memroses data-data spasial dalam bentuk tabel, peta dan citra. SIG dalam pengaplikasiannya memiliki empat sub sistem yang terdiri dari memasukkan (*input*) data dan mengubah formatnya, mengolah (memanajemen) data, memanipulasi dan menganalisis data serta sampai tahap akhir mengeluarkan (*output*) data.



Gambar 2.25 Sub Sistem SIG (Syam'ani, 2016)

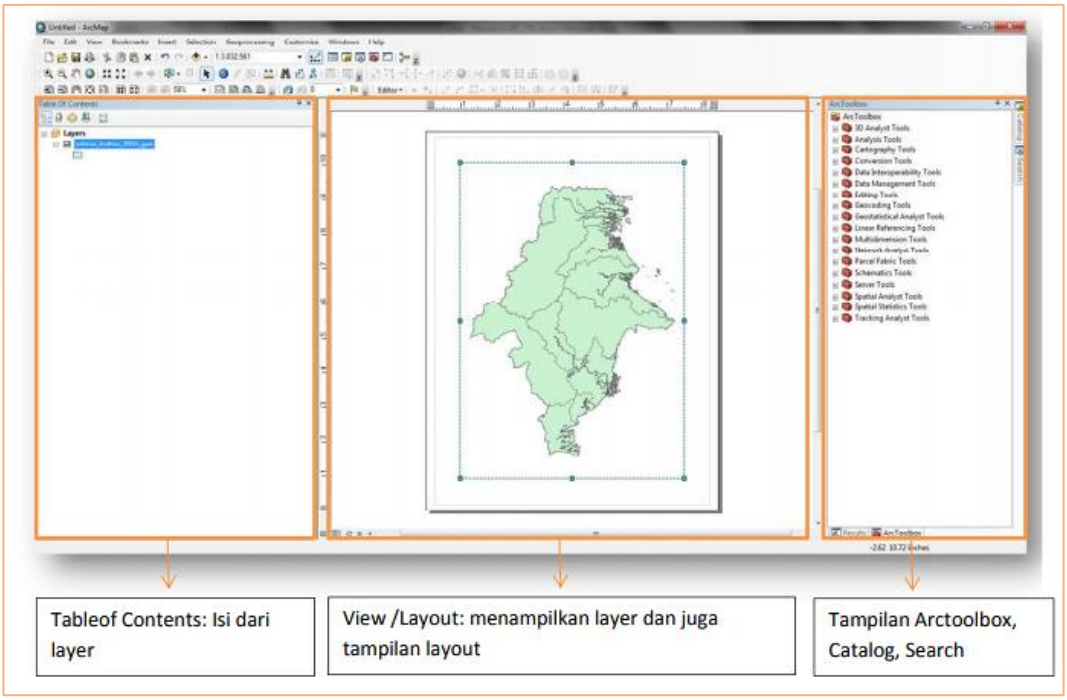
SIG telah banyak digunakan dalam kegiatan perencanaan, pelaksanaan dan pengendalian seperti pemetaan kemiringan lereng, pemetaan tata guna lahan dan lainnya. Kajian wilayah dengan penerapan metode SIG untuk memprediksi perubahan volume aliran permukaan yang dihasilkan oleh DAS akibat perubahan penggunaan lahan juga telah banyak digunakan dewasa ini. Integrasi yang baik antara SIG dengan pemodelan hidrologi dan penggunaan lahan memudahkan aktifitas manajemen data, sehingga mempermudah dalam mengekstraksi beberapa parameter model secara efisien dalam skala DAS.

2.8.1 *Software* ArcGIS

ArcGIS merupakan perangkat lunak *Geographic Information System* (GIS) dari ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) yang memungkinkan pengguna untuk memanfaatkan data dari berbagai format data. ArcGIS menyediakan kerangka yang *scalable* dapat disesuaikan menurut keperluan, yang mampu diimplementasikan untuk *single users* maupun *multiusers* dalam aplikasi *desktop, server* dan internet (*Web*).

ArcGIS *Desktop* merupakan *platform* dasar yang dapat digunakan untuk mengelola suatu proyek dan alur kerja Sistem Informasi Geografis (SIG) yang kompleks serta dapat digunakan untuk membangun data, peta, model, serta aplikasi (Hartoyo et al., 2010). ArcGIS *Desktop* mencakup ArcCatalog, ArcMap, ArcToolbox, ArcGlobe, dan ModelBuilder. Berikut penjelasan lebih lanjut mengenai fungsi dari beberapa program yang terdapat dalam ArcGIS *Desktop*.

- ArcCatalog - digunakan untuk mengorganisasikan dan mengelola semua informasi geografis, seperti peta, data-data format file, *geodatabases*, *toolboxes* untuk *geoprosesing, metadata,* serta *services* SIG.
- ArcMap - aplikasi utama dalam ArcGIS yang dapat digunakan untuk *mapping* & *editing*, serta *query* dan analisa yang berdasarkan pada peta.
- ArcToolbox - merupakan koleksi dari *tools geoprosesing*.
- ArcGlobe - aplikasi ArcGlobe tercakup dalam ekstensi ArcGIS 3D *Analyst*, yang mempunyai kemampuan untuk penayangan informasi geografis dalam bentuk kenampakan 3D yang dinamis.
- ModelBuilder - merupakan bahasa pemrograman secara visual untuk membangun suatu alur kerja dan skrip dari suatu rangkaian *geoprosesing.*



Gambar 2.26 Tampilan ArcMap

Program ArcMap merupakan program yang akan digunakan dalam pengolahan data spasial pada penelitian. Secara umum program ini akan digunakan untuk input data spasial, menganalisis serta akan memunculkan hasil analisis datanya yang dapat berupa visualisasi peta maupun data berupa angka.

2.8.2 *Input* Data Spasial

Data spasial merupakan data yang memiliki referensi ruang kebumian (*georeference*) dengan berbagai data atribut terletak dalam berbagai unit spasial (Yusuf, 2021). *Input* data merupakan proses identifikasi dan pengumpulan data yang dibutuhkan pada penelitian. Proses ini awalnya terdiri dari pengumpulan data, pemformatan ulang, *georeferensi*, kompilasi dan dokumentasi data. Komponen masukan data mengubah data dari data mentah kesuatu bentuk yang dapat digunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Data spasial yang digunakan yaitu berupa peta *land cover* yang kemudian diolah untuk menghasilkan data yang mendukung dalam penelitian ini.

2.8.3 Analisis dan *Output* Data Spasial

Analisis data spasial merupakan salah satu kemampuan yang dimiliki oleh program ArcGIS yang digunakan untuk memperoleh informasi baru. Fungsi analisis yang akan digunakan diantaranya yaitu fungsi *scoring*, *overlay* dan fungsi delinasi batas DAS (*watershed*). Analisis yang akan dilakukan dalam penelitian ini sendiri adalah bagaimana memprediksi nilai koefisien aliran permukaan (C) pada suatu DAS akibat terjadinya perubahan tataguna lahan dengan menggunakan metode rasional pada data debit puncak yang diukur secara langsung dengan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG).

Nilai koefisien aliran permukaan (C) dipengaruhi oleh kelerengan, jenis tanah dan penutupan lahan (Wahyuningrum, Nining; Pramono, 2007). Sehingga pada proses tumpangsusun (*overlay*) yang akan dilakukan adalah menggunakan rumus koefisien aliran permukaan ($C_{tertimbang}$) yang memperhitungkan ketiga faktor tersebut dengan bantuan program ArcMap yang terdapat pada ArcGIS. Masing-masing faktor diklasifikasikan dan tiap kelas diberi nilai (*scoring*) dan bobot.

Penelitian ini akan menghasilkan tiga peta nilai C yaitu berdasar kelas lereng, jenis tanah dan penutupan lahannya. Ketiga peta tersebut kemudian ditumpangsusunkan (*overlay*). Tumpangsusun ini menghasilkan poligon-poligon dengan luas tertentu yang menggambarkan lahan atau lokasi yang mempunyai nilai koefisien aliran permukaan yang sama dan selanjutnya disebut unit lahan. Persamaan koefisien aliran permukaan ($C_{tertimbang}$) sendiri dapat dikalkulasikan kedalam bentuk persamaan sebagai berikut.

$$C_{tertimbang} = \sum_{i=1}^{n} \frac{FCi \times Ai}{Ai} \quad \text{..... Persamaan 82}$$

Dimana:

A_i = Luas daerah penutupan lahan dengan jenis penutupan lahan *i*

n = Jumlah jenis penutup lahan *i*

FC_i = Fs+Ft+Fl

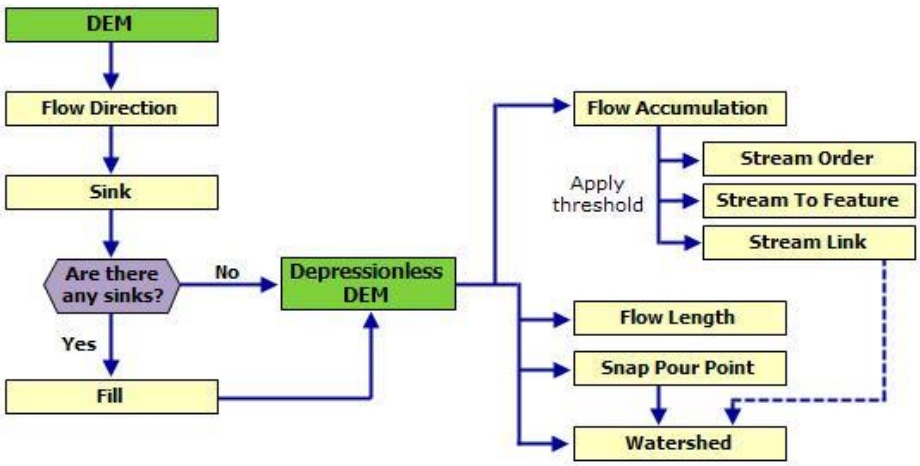
Fs = Faktor kemiringan lereng

Ft = Faktor jenis tanah

Fl = Faktor tutupan lahan

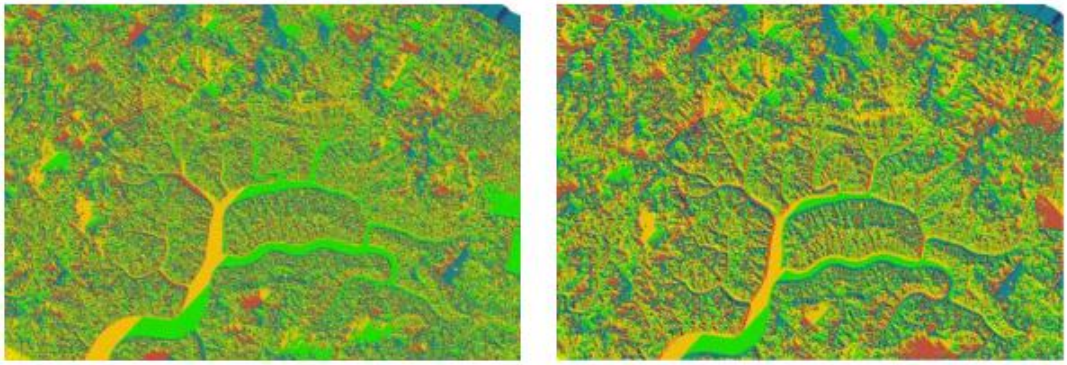
C_i = Koefisien aliran permukaan jenis penutupan lahan *i*

Analasis data spasial pada ArcMap juga akan digunakan oleh peniliti pada proses delineasi batas DAS. Amir *et al.*, (2014, dalam Purwono et al., 2018) menjelasakan bahwa delineasi batas DAS merupakan proses penentuan batas DAS atau Sub-DAS berdasar karakteristik hidrologi suatu bentang alam. Delineasi batas DAS bisa dilakukan secara otomatis dengan menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM). Proses delineasi ini dibuat dengan prinsip ekstraksi data topografis untuk memperoleh nilai masukan pada penentuan karakteristik hidrologi DAS (*flow direction – flow accumulation – stream order – basin/watershed*). Adapun skema proses delinasi batas DAS dapat dilihat pada gambar berikut ini.



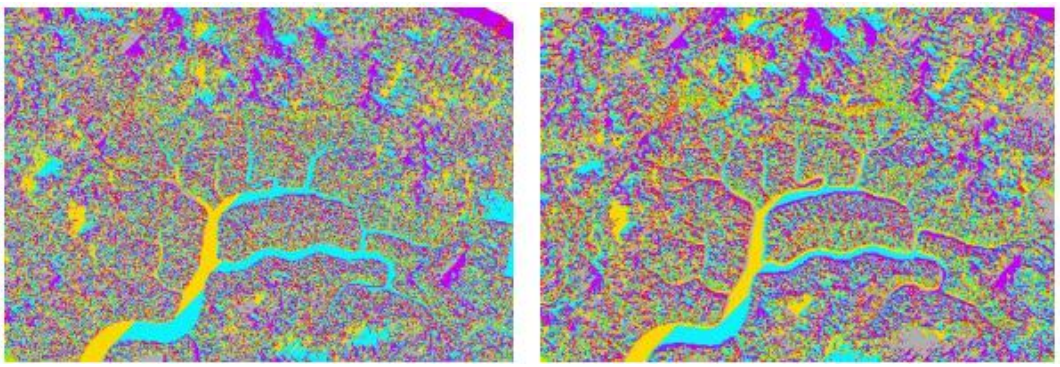
Gambar 2.27 Proses delineasi batas DAS (ESRI, 2010)

Flow Direction merupakan fungsi dengan hasil *ouput* berupa arah aliran air. Secara prinsip, data arah aliran diperoleh dari manifestasi kondisi topografis yang digambarkan oleh kenampakan morfometri (*slope*). Sebagai hasil dari proses ini, terdapat perbedaan informasi yang ditunjukkan antara input data DEM dengan perlakuan khusus (*filtering*) dan data DEM asli. (Purwono et al., 2018).



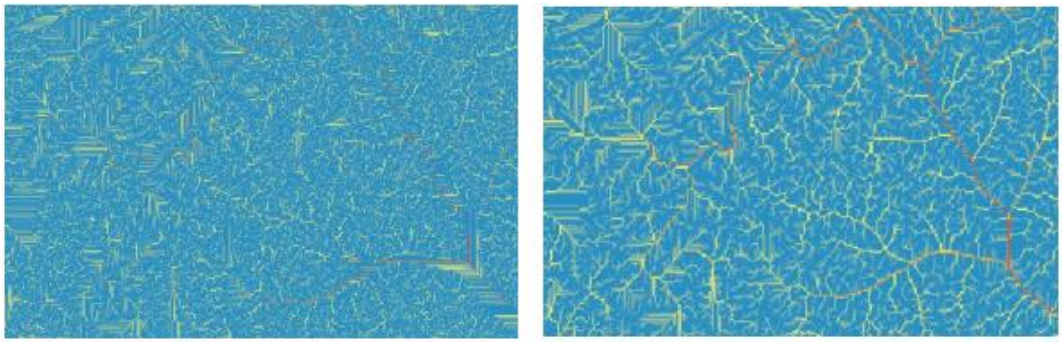
Gambar 2.28 Visualisasi *Output* Fungsi *Flow Direction*

Flow Accumulation merupakan fungsi dengan *output* berupa data raster yang merepresentasikan jumlah akumulasi aliran air yang terjadi pada suatu liputan lahan (Purwono et al., 2018). Akumulasi aliran air diperoleh dari kallkulasi nilai elevasi permukaan, dimana semakin tinggi nilai elevasi berikut gradien kemiringanya maka akan semakin rendah akumulasi aliran air. Sebagai hasil akhir dari parameter ini, terdapat nilai akumulasi air yang biasanya juga identik dengan jaringan sungai yang relevan dengan kondisi di lapangan.



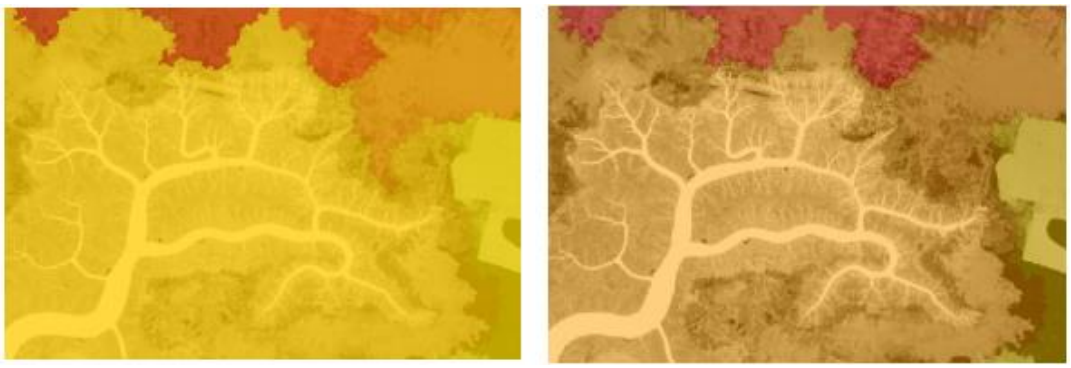
Gambar 2.29 Visualisasi *Output* Fungsi *Flow Accumulation*

Fungsi *stream Order* diperoleh dari hasil pehitungan paramater hidrologis yaitu *flow accumulation* (Purwono et al., 2018). Secara teoritis, proses ekstraksi jaringan sungai dilakukan dengan proses pengumpulan piksel-piksel yang mempunnyai nilai kecenderungan arah aliran dan akumulasi yang sama, dengan nilai lokasi berdekatan secara spasial. Parameter ini membuat klasifikasi mengenai orde (tingkatan) jaringan sungai. Informasi yang direpresentasikan dari parameter ini adalah *drainage network*.



Gambar 2.30 Visualisasi Hasil Fungsi *Stream Order*

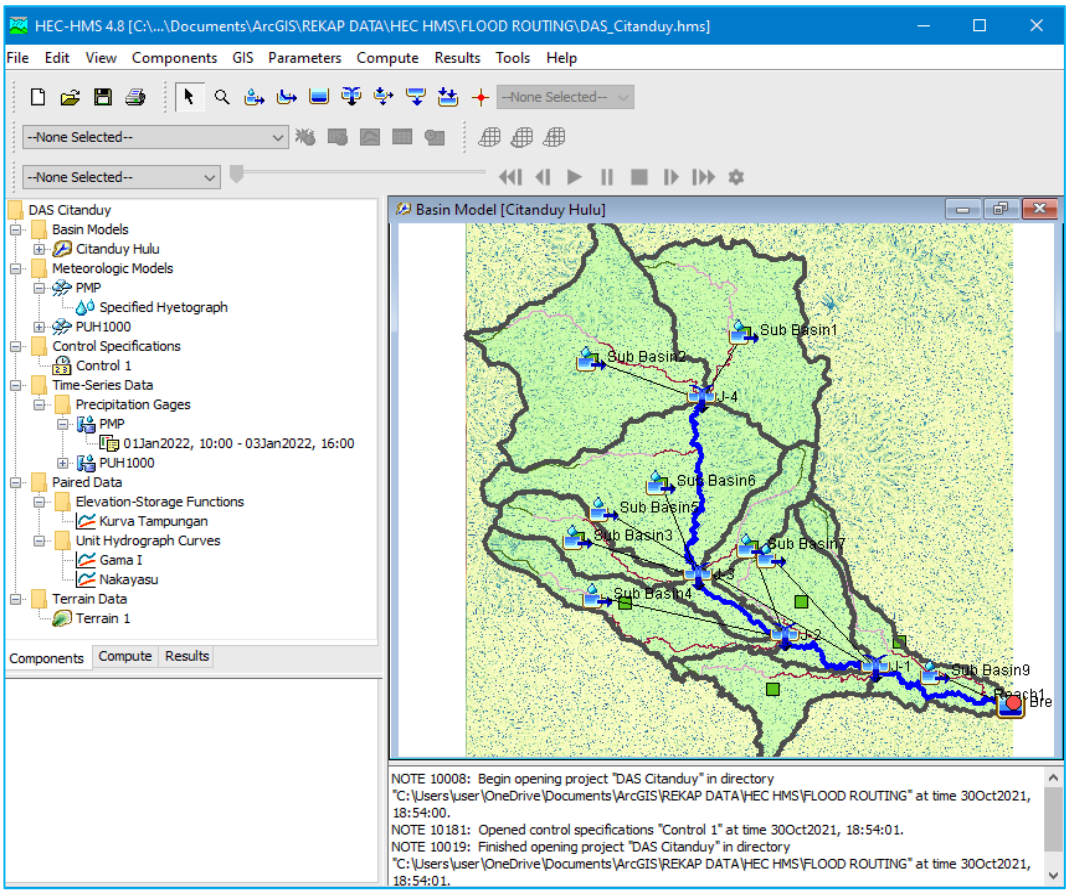
Watershed merupakan proses akhir dan akan menghasil batas *imaginer* yang berada pada suatu jaringan sungai (Purwono et al., 2018). Parameter ini merupakan hasil dari dari proses integrasi proses dari parameter-parameter data yang dihasilkan sebelumnya yaitu arah aliran (*flow direction*), akumulasi aliran (*flow accumulation*), orde sungai (*stream order*).



Gambar 2.31 Visualisasi Hasil Delinasi DAS

2.9 Sistem Pemodelan Hidrologi (HEC-HMS)

HEC-HMS adalah *software* yang dikembangkan oleh *U.S Army Corps of Engineering* (Scharffenberg, 2013). *Software* ini digunakan untuk analisa hidrologi dengan mensimulasikan proses curah hujan dan limpasan langsung (*run off*) dari sebuah wilayah sungai. HEC-HMS dikembangkan untuk kalibrasi, kemampuan simulasi model distribusi, model kontinyu dan kemampuan membaca data *Geographic Information System* (GIS). Pemanfaatan *tools* tersebut dapat kita jumpai di perencanaan proyek kontruksi di area rawan banjir dan dapat kita jumpai di stasiun-stasiun meterologi & geospasial. Berikut tampilan *software* HEC-HMS 4.8 versi terbaru pada saat ini.



Gambar 2.32 Tampilan HEC-HMS

Model HEC-HMS mengangkat teori klasik hidrograf satuan untuk digunakan dalam permodelannya, antara lain hidrograf satuan sintetik *Synder*, *Clark*, SCS (*Soil Conservation Service*) ataupun kita dapat mengembangkan hidrograf satuan lain dengan menggunakan fasilitas *user define hydrograph*. Konsep dasar perhitungan dari model HEC-HMS adalah data hujan sebagai input air untuk satu atau beberapa sub daerah tangkapan air (sub-basin) yang sedang dianalisa. Jenis datanya berupa intensitas, volume atau komulatif volume hujan. Setiap sub-basin dianggap sebagai suatu tandon yang non linier dimana inflownya adalah data hujan. Aliran permukaan, infiltrasi dan penguapan adalah komponen yang keluar dari sub-basin. Prosedur penggunaan *software* HEC-HMS sendiri adalah sebagai berikut.

1. Membuat suatu project baru (*new project*),
2. Membuat HMS *Component Models*
    - *Basin Model* - berisi elemen-elemen DAS,
    - *Meteorologic Model* - berisi data hujan dan penguapan,
    - *Control Specification* - berisi waktu mulai & berakhirnya simulasi
3. Membuat *Time Series Data*
    - Data hujan
    - Data debit
4. Membuat *Paired Data* (jika diperlukan)
    - Hidrograf satuan
    - Hubungan Elevasi-tampungan
5. Inputkan data pada setiap tahapan & periksa kembali parameternya,
6. Melakukan *Simulation d*an *Calibration* (jika tersedia data debit).