

## **BAB 2**

### **STUDI LITERATUR**

#### **2.1 Sungai**

Sungai adalah aliran air yang besar dan memanjang yang mengalir secara terus menerus dari hulu (sumber) menuju hilir (muara). Sungai merupakan salah satu bagian dari siklus hidrologi. Air dalam sungai umumnya terkumpul dari presipitasi, seperti hujan, embun, mata air, limpasan bawah tanah, dan di beberapa Negara tertentu juga berasal dari lelehan es/salju. Selain air, sungai juga mengalirkan sedimen dan polutan.

##### **2.1.1 Jenis-jenis sungai**

Menurut jumlah airnya:

1. Sungai permanen, yaitu sungai yang debit airnya sepanjang tahun relative tetap. Contoh sungai ini adalah sungai Kapuas.
2. Sungai periodic, yaitu sungai yang pada musim hujan airnya banyak, sedangkan pada musim kemarau airnya sedikit. Contoh sungai ini adalah Bengawan Solo.
3. Sungai intermittent atau sungai episodik, yaitu sungai yang mengalirkan airnya pada musim penghujan, sedangkan pada musim kemarau airnya kering. Contoh sungai ini adalah sungai Kalada pulau sumba.
4. Sungai ephemeral, yaitu sungai yang ada airnya hanya pada saat musim hujan. Pada hakekatnya, sungai jenis ini hampir sama dengan sungai jenis episodik, hanya saja pada musim hujan sungai jenis ini airnya belum tentu banyak.

## **2.2 Banjir**

Banjir adalah salah satu bencana alam, yaitu peristiwa ketika tergenangnya daratan oleh aliran air yang berlebihan. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), banjir diartikan berair banyak, deras dan air yang meluap, atau peristiwa terbenamnya daratan karena peningkatan volume air.

### **2.2.1 Jenis-jenis banjir**

Banjir berdasarkan penyebab utamanya dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu:

#### **1. Banjir Kiriman**

Banjir kiriman adalah istilah yang menggambarkan kejadian banjir di satu tempat dimana air genangan berasal dari aliran air permukaan dari tempat yang lebih tinggi (hulu).

#### **2. Banjir Genangan/Lokal**

Banjir genangan merupakan banjir yang disebabkan adanya genangan yang berasal dari air hujan lokal. Air yang melebihi kapasitas-kapasitas saluran yang ada, maka air hujan lokal ini dapat menjadi limpasan permukaan. Limpasan permukaan inilah yang pada umumnya dapat mengakibatkan banjir.

#### **3. Banjir Air Laut Pasang (ROB)**

Umumnya banjir air laut pasang (ROB) terjadi pada kota pantai yang elevasi/ketinggian muka tanahnya lebih rendah dari muka air laut pasang. Sedangkan banjir akibat *back water* (aliran balik) dari saluran pengendali

banjir terjadi pada kota yang dekat dengan pantai maupun kota yang jauh dari pantai.

### **2.2.2 Penyebab terjadinya banjir**

Kodoatie & Sugiyanto, 2002, secara umum mengklasifikasikan penyebab banjir dalam 2 (dua) kategori, yaitu banjir yang disebabkan oleh sebab-sebab alami dan banjir yang diakibatkan oleh tindakan manusia. Yang termasuk sebab-sebab alami antara lain:

- a. Curah hujan
- b. Pengaruh fisiografi
- c. Erosi dan sedimentasi
- d. Kapasitas sungai
- e. Kapasitas drainase yang tidak memadai
- f. Pengaruh air pasang.

Sedangkan yang termasuk dalam sebab-sebab banjir karena tindakan manusia antara lain:

- a. Perubahan kondisi daerah pengaliran sungai
- b. Kawasan kumuh
- c. Sampah
- d. Drainase lahan
- e. Bendungan dan bangunan air
- f. Kerusakan bangunan pengendali banjir
- g. Perencanaan system pengendali banjir yang tidak tepat.

### **2.2.3 Cara pengendalian banjir**

#### **1) Non Struktural**

Pendekatan non-struktural meliputi manajemen hulu DAS, penataan ruang, pengendalian erosi dan alih fungsi lahan, perijinan pemanfaatan lahan, pemberdayaan masyarakat kawasan hulu, manajemen daerah rawan banjir, system peringatan dini ancaman dan evakuasi banjir, peningkatan kapasitas kelembagaan dan partisipasi masyarakat untuk penanggulangan banjir, pengendalian penggunaan air tanah, pengelolaan dan perbaikan kualitas air sungai.

#### **2) Struktural**

Pendekatan structural meliputi normalisasi sungai, tanggul penahan banjir, kolam penampungan banjir, system polder dan sumur-sumur resapan, pembangunan waduk dan embung, penyediaan prasarana air baku, pengembangan system penyediaan air minum dan air kotor, rehabilitasi jaringan irigasi, pengembangan pembangkitan tenaga listrik.

### **2.3 Daerah Aliran Sungai**

Ditinjau dari segi hidrologi, sungai mempunyai fungsi utama menampung curah hujan dan mengalirkannya sampai kelaut. Daerah dimana sungai memperoleh air merupakan daerah tangkapan hujan yang biasanya disebut dengan daerah aliran sungai (DAS). Dengan demikian DAS dapat dipandang sebagai unit kesatuan wilayah tempat air hujan menjadi aliran permukaan dan mengumpul ke sungai menjadi aliran sungai. Garis batas antara DAS adalah punggung permukaan bumi yang dapat memisahkan dan membagi air hujan menjadi aliran permukaan ke

masing-masing DAS. Setiap DAS besar merupakan gabungan dari beberapa DAS sedang/sub DAS dan sub DAS adalah gabungan dari sub DAS kecil-kecil.

Pengetahuan karakteristik DAS dan alur sungai dapat dinyatakan secara kuantitatif dan kualitatif. Pengetahuan tersebut sangat membantu dalam melaksanakan pekerjaan hidrometri, antara lain dalam:

- a. Merencanakan rancangan jaringan pos duga air;
- b. Melaksanakan survey lokasi pos duga air;
- c. Analisa debit

### **2.3.1 Pola aliran**

Sungai di dalam semua DAS mengikuti suatu aturan yaitu bahwa aliran sungai dihubungkan oleh suatu jaringan satu arah dimana cabang dan anak sungai mengalir kedalam sungai induk yang lebih besar dan membentuk suatu pola tertentu. Air merupakan salah satu fluida dalam bentuk cairan. Sebagai suatu fluida air digolongkan sebagai fluida cair yang tidak mampu. Pola itu tergantung dari pada kondisi topografi, iklim, vegetasi yang terdapat di dalam DAS yang bersangkutan (Pratiwi, 2014). Secara keseluruhan kondisi tersebut akan menentukan karakteristik sungai di dalam berbentuk polanya. Beberapa pola aliran yang terdapat di Indonesia, yaitu:

- a. Radial

Radial adalah pola aliran sungai yang menyebar (sentripetal) yang terletak di daerah dataran tinggi.

- b. Dentritik

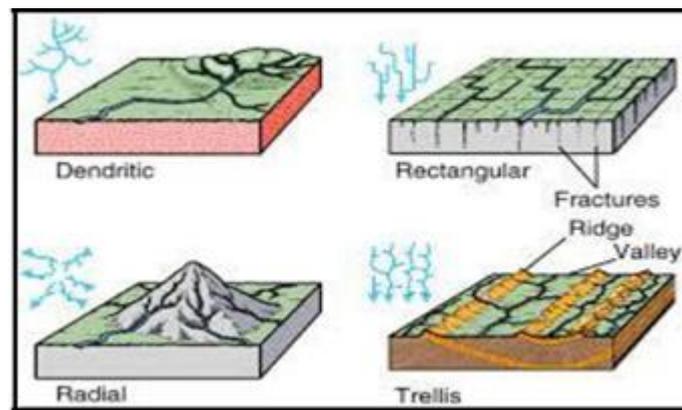
Dendritic merupakan pola sungai yang arah alirannya tidak teratur biasanya terdapat di daerah suatu pantai.

c. Rectangular

Rectangular ialah pola sungai yang aliran sungainya melalui daerah patahan yang membentuk sudut siku-siku.

d. Trellis

Trellis yaitu pola aliran sungai yang menyirip daun dan mempunyai kombinasi antara sungai resekuen, obsekuen, dan konsekuen.

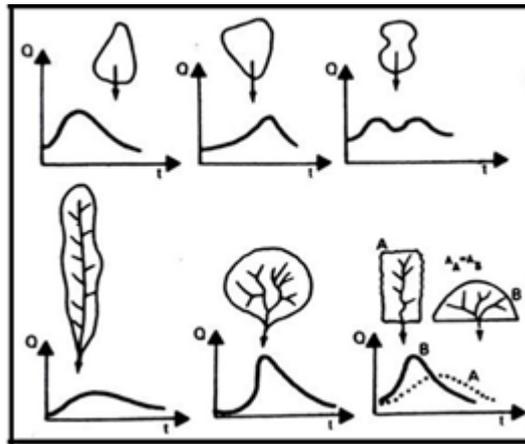


**Gambar 2.1** Sketsa Pola Aliran Sungai

Sumber: [www.google.com](http://www.google.com)

### 2.3.2 Bentuk daerah aliran sungai

Pola sungai menentukan bentuk suatu DAS. Bentuk DAS mempunyai arti penting dalam hubungannya dengan aliran sungai, yaitu pengaruh terhadap kecepatan terpusatnya aliran. Setelah DAS ditentukan garis batasnya maka bentuk DAS nya dapat diketahui. **Gambar 2.2** menunjukkan sketsa pengaruh bentuk DAS terhadap bentuk hidrogaf aliran sungainya. Pada umumnya dapat dibedakan menjadi empat bentuk DAS, yaitu memanjang, radial, parallel, dan kompleks.

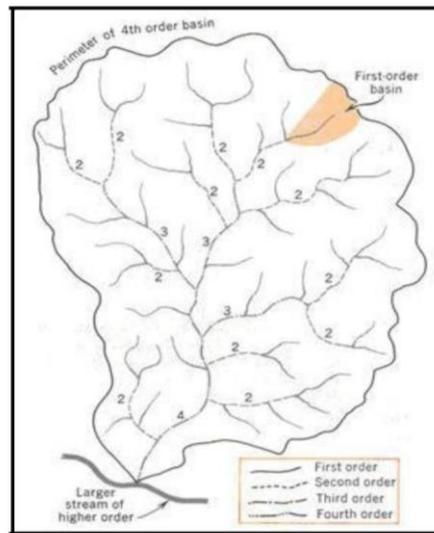


**Gambar 2.2** Sketsa Pengaruh Bentuk DAS terhadap Bentuk Hidrograf Alirannya

*Sumber : www.google.com*

### 2.3.3 Penentuan orde sungai

Orde sungai adalah nomor urut setiap segmen sungai terhadap sungai induknya. Metode penentuan orde sungai yang banyak digunakan adalah Strahler. Sungai orde 1 menurut Strahler adalah anak-anak sungai yang letaknya paling ujung dan dianggap sebagai sumber mata air pertama dari anak sungai tersebut. Segmen sungai sebagai hasil pertemuan dari orde yang setingkat adalah orde 2, dan segmen sungai sebagai hasil pertemuan dari dua orde sungai yang tidak setingkat adalah orde sungai yang lebih tinggi. Ilustrasi dari penggunaan metode Strahler tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Penentuan Orde Sungai dengan Metode Strahler

Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

## 2.4 Analisa Hidrologi

Hidrologi ialah suatu ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang kejadian perputaran dan penyebaran air di atmosfer dan di permukaan bumi serta di bawah permukaan bumi.

Survey hidrologi dimaksudkan untuk mendapatkan data-data hidrologi dan klimatologi sebagai masukan di dalam menentukan besaran perencanaan seperti curah hujan maksimum dengan periode ulang tertentu, hidrogaf banjir serta penentuan parameter-parameter lainnya yang dapat menunjang desain hidrolis.

Pekerjaan pengumpulan data hidrologi antara lain:

1. Pengumpulan data curah hujan diambil dari stasiun yang terdekat
2. Pengumpulan data temperature
3. Pengumpulan data kelembaban relative
4. Pengumpulan data lama penyinaran
5. Pengumpulan data kecepatan angin

6. Pengumpulan data informasi banjir (tinggi, lamanya dan luas genangan serta saat terjadinya) baik dengan pengamatan langsung ataupun memperhatikan bekas-bekas dan tanda-tanda banjir di pohon maupun melalui wawancara dengan penduduk setempat.

#### **2.4.1 Analisa curah hujan kawasan**

Curah hujan yaitu jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam kurun waktu tertentu. Alat yang digunakan untuk mengukur banyaknya curah hujan disebut *rain gauge*. Curah hujan diukur dalam jumlah harian, bulanan dan tahunan.

Ada tiga macam cara yang biasanya umum dipakai dalam menghitung hujan rata-rata suatu kawasan, antara lain:

- a. Metode Rata-rata Aljabar

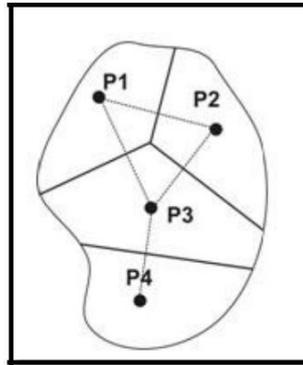
Merupakan metode yang paling sederhana dalam suatu perhitungan hujan kawasan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Tinggi rata-rata curah hujan yang didapatkan dengan mengambil rata-rata (*arithmetic mean*) pengukuran hujan di pos penakar-penakar hujan didalam areal tersebut. Jadi cara ini akan memberikan suatu hasil yang dapat dipercaya jika pada pos-pos penakarnya ditempatkan secara merata di areal tersebut serta hasilnya tidak menyimpang dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal (Soemarto, 1999).

Cara ini biasanya cocok untuk suatu kawasan dengan topografi rata atau dasar, alat penakar tersebar merata ataupun hampir merata dan data

individual curah hujan yang ada tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya.

Hujan kawasan diperoleh dari persamaan:

$$P = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \dots\dots\dots (2.1)$$



**Gambar 2.4** Metode Rata-rata Aljabar  
Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

Keterangan:

P = Curah hujan rata-rata (mm)

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>n</sub> = Curah hujan yang tercatat dipos penakar (mm)

n = Banyaknya pos penakar hujan

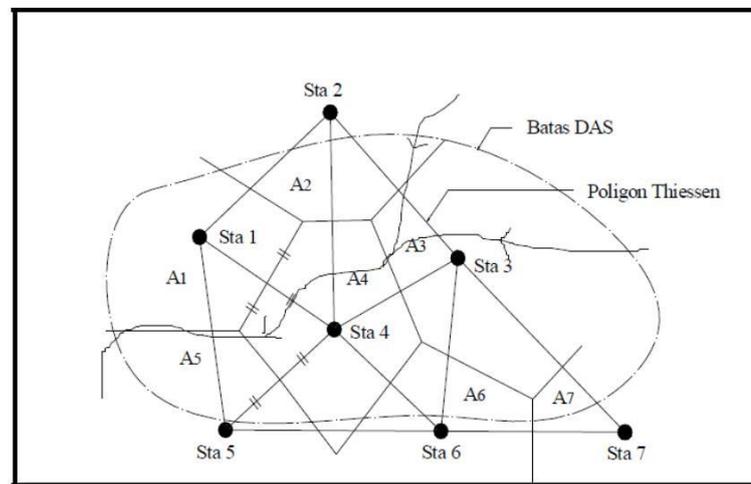
b. Metode *Polygon Thiessen*

Metode ini dikenal dengan metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat. Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan lainnya adalah linier dan bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat. Hasil dari metode polygon

Thiessen biasanya lebih akurat dibandingkan dengan metode rata-rata aljabar.

Cara ini cocok untuk suatu daerah datar dengan luas 500-5000 km<sup>2</sup> dan jumlah pos penakar hujan terbatas dibandingkan luasnya. Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$R = \frac{A_1 \times P_1 + A_2 \times P_2 + \dots + A_n \times P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.2)$$



**Gambar 2.5** Metode Polygon Thiessen  
Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

Keterangan :

R = Curah hujan rata-rata (mm)

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>n</sub> = Curah hujan yang tercatat di pos penakar (mm)

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>n</sub> = Luas areal Polygon (km<sup>2</sup>)

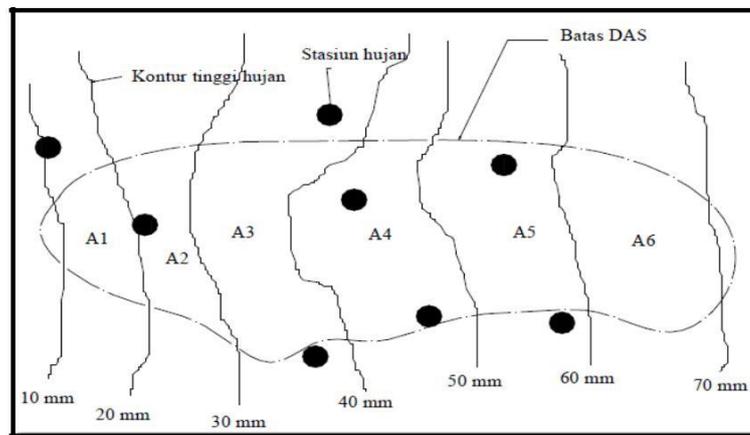
Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam metode ini antara lain :

1. Jumlah stasiun pengamatan minimal tiga buah stasiun;
2. Penambahan stasiun akan mengubah jaringan;
3. Topografi daerah tidak akan diperhitungkan;
4. Stasiun hujan tidak tersebar merata.

c. Metode *Ishoyet*

Metode ini merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Metode *Ishoyet* cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur dengan luas lebih dari 5000 km<sup>2</sup>. Cara ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Dengan kata lain, asumsi metode *ishoyet* yang menganggap bahwa tiap-tiap pos penakar mencatat kedalaman yang sama untuk daerah sekitarnya dapat dikoreksi. Metode *Ishoyet* terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

- Plot data kedalaman air hujan untuk tiap pos penakar hujan pada peta.
- Gambar kontur kedalaman air hujan untuk tiap pos penakar hujan pada peta.
- Gambar kontur kedalaman air hujan dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai kedalaman air yang sama. Interval *ishoyet* yang umum dipakai adalah 10 mm.
- Hitung luas area antara dua garis *Ishoyet* dengan menggunakan planimeter. Kalikan masing-masing luas areal dengan rata-rata hujan antara dua *Ishoyet* yang berdekatan.



**Gambar 2.6** Metode Isohyet

Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

Hitung hujan rata-rata DAS dengan persamaan berikut ini :

$$R = \frac{\sum(A_i \frac{R_1 + R_n}{2})}{\sum A_i} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

R = Curah hujan rata-rata (mm)

R1,Rn = Curah hujan yang tercatat dipos penakar (mm)

Ai = Luas areal polygon (km<sup>2</sup>)

#### 2.4.2 Analisa frekuensi

Secara sistematis metode analisis frekuensi perhitungan hujan rencana ini dilakukan secara berurutan sebagai berikut:

##### 1. Parameter Statistik

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besarnya suatu disperse yang dapat dihitung dengan suatu persamaan:

$$(X_i - \bar{X}), (X_i - \bar{X})^2, (X_i - \bar{X})^3, (X_i - \bar{X})^4$$

Keterangan :

$X_i$  = Besarnya Curah Hujan daerah (mm);

$\bar{X}$  = Rata-rata curah hujan maksimum daerah (mm).

Macam-macam perhitungan parameter statistik:

a. Tendensi Sentral

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan : n = jumlah data

b. Deviasi Standar (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

S = Deviasi Standar

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata variat

$X_i$  = Nilai Variat ke-1

n = jumlah data

c. Koefisien *Skewness* (CS)

Koefisien kemencengan atau koefisien *skewness* dapat digunakan untuk mengetahui derajat ketidak simetrisan (asimetri, *asymmetry*) dari suatu bentuk distribusi. Kemencengan diberikan oleh bentuk berikut ini.

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \dots\dots\dots (2.6)$$

Koefisien asimetri diberikan oleh bentuk berikut

$$C_s = \frac{a}{s^3} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

$C_s$  = Koefisien Skewness

$S$  = Standar deviasi

$a$  = Koefisien asimetri

d. Koefisien *Kurtosis* ( $C_k$ )

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)ns^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \dots\dots\dots (2.8)$$

e. Koefisien Variasi ( $C_v$ )

Perhitungan koefisien variasi digunakan persamaan sebagai berikut.

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.9)$$

$C_v$  = Koefisien variasi

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata varian

$S$  = Standar deviasi

## 2. Uji Kebenaran Sebaran

Terdiri dari :

### a. Metode Chi-kuadrat

$$X^2 = \sum_{t=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

$X^2$  = Parameter Chi Kuadrat terhitung

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

$O_f$  = Frekuensi yng terbaca pada kelas yang sama.

$n$  = Jumlah sub kelompok dalam satu group.

Nilai  $X^2$  yang diperoleh harus lebih kecil dari nilai  $X^2_{cr}$  (Chi-Kuadrat kritik), untuk suatu derajat nyata tertentu, yang sering diambil 5%.

Derajat kebebasan dihitung dengan persamaan:

$$DK = K - (a + 1)$$

Keterangan:

$DK$  = Derajat Kebebasan

$K$  = Banyaknya kelas

$a$  = Banyaknya keterikatan (banyaknya parameter) = 2.

Nilai  $X^2_{cr}$  diperoleh table, disarankan agar banyakan kelas tidak kurang dari 5 dan frekuensi absolut tiap kelas tidak kurang dari 5 pula.

b. Metode Smirnov Kolmogorov

Uji pengujian ini tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu, namun dengan memperhatikan kurva dan penggambaran data pada kertas probabilitas. Dari gambar dapat diketahui jarak penyimpangan setiap data terhadap kurva. Jarak penyimpangan terbesar merupakan nilai  $\Delta_{\max}$  dengan kemungkinan nilai lebih kecil dari nilai  $\Delta_{\text{kritik}}$ , maka jenis distribusi yang dipilih dapat digunakan.

### 2.4.3 Koefisien pengaliran

Koefisien Limpasan / pengaliran adalah variable untuk menentukan besarnya suatu limpasan permukaan tersebut yang mana penentuannya didasarkan pada suatu kondisi daerah pengaliran karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut.

Koefisien pengaliran atau koefisien limpasan mempunyai 2 definisi yaitu:

(Suryono Sosrodarsono,144)

$$C1 = \frac{\text{besarnya puncak limpasan}}{\text{Intensitas curah hujan rata-rata selama waktu}} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$C1 = \frac{\text{Jumlah limpasan}}{\text{Jumlah curah hujan}} \dots\dots\dots (2.12)$$

**Dr.Kawani** menyusun sebuah rumus yang mengemukakan bahwa untuk sungai tertentu, koefisien ini tidak tetap, tergantung dari curah hujan.

$$C = 1 + \frac{X'}{Xt} 1 - f' \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

C = Koefisien pengaliran,

f' = Laju kehilangan,

$X_t$  = Jumlah curah hujan (mm),

$X'$  = Kehilangan curah hujan.

**Tabel 2.1** : Pendekatan angka koefisien pengaliran.

NO	DAERAH	KONDISI SUNGAI	CURAH HUJAN ( $X_t$ )	RUMUS KOEFISIEN PENGALIRAN
1	Hulu	Sungai Biasa		$C=1-15.7/X_t^{3/4}$
2	Tengah	Sungai Biasa		$C=1-5.65/X_t^{1/2}$
3	Tengah	Sungai Di Zona Lava		$C=1-7.2/X_t^{1/2}$
4	Tengah		>200mm	$C=1-3.14/X_t^{1/3}$
5	Hilir		< 200mm	$C=1-6.60/X_t^{1/2}$

Sumber: Suryono Sosrodarsono,1980.146

Koefisien aliran tergantung dari beberapa faktor yang mempengaruhinya, antara lain:

a. Curah hujan

Curah hujan ialah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm) diatas permukaan horizontal bila tidak terjadi evaporasi, runoff, dan ilfiltrasi. Jadi, curah hujan yang diukur, sebenarnya merupakan tebalnya atau tingginya permukaan air hujan yang menutupi suatu daerah luasan di permukaan bumi / tanah. Satuan curah hujan yang umumnya dipakai oleh BMKG adalah millimeter (mm). Curah hujan 1 (satu) millimeter artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi 1 (satu) millimeter

atau tertampung air sebanyak 1 (satu) liter atau 1000ml. Pada proses penelitian ini curah hujan kawasan dari stasiun curah hujan terdekat.

b. Tata guna lahan

Peta tata guna lahan menunjukkan pola serta intensitas penggunaan lahan perbedaan intensitas tata guna lahan mempengaruhi volume air hujan yang mengalir di permukaan dan yang kemudian masuk ke dalam badan sungai. Berdasarkan pertimbangan bahwa koefisien ini tergantung dari faktor-faktor fisik. Seperti keadaan diatas maka besarnya angka koefisien pengaliran pada suatu daerah dapat dilihat pada table berikut:

**Tabel 2.2** : Koefisien limpasan (Dr.Mononoboe)

<b>KONDISI DAS</b>	<b>C</b>
Pegunungan	0.75-0.90
Pegunungan tersier	0.70-0.80
Daerah bergelombang berat dan berhutan	0.50-0.75
Dataran yang ditanami	0.45-0.60
Persawahan yang diairi	0.70-0.80
Sungai di pegunungan	0.75-0.85
Sungai kecil didaerah dataran	0.45-0.75
Sungai besar yang sebagian alirannya berada di dataran rendah	0.50-0.75

*Sumber: Suryono Sosrodarsono,1980.14*

Tabel 2.3: Harga koefisien pengaliran *Runoff* (C)

<b>TIPE DAERAH TANGKAPAN</b>	<b>KOEFISIEN ALIRAN (C)</b>
<b>Bisnis</b>	
Kawasan kota	0.70-0.95
Kawasan pinggiran	0.50-0.70
<b>Kawasan Pemukiman</b>	
Kawasan keluarga-tunggal	0.30-0.50
multi satuan,terpisah	0.40-0.60
multi satuan,berdempetan (rapat)	0.60-0.75
<b>Kawasan pemukiman pinggiran kota</b>	0.25-0.40
<b>Kawasan tempat tinggal berupa rumah susun</b>	0.50-0.70
<b>Perindustrian</b>	
Kawasan yang ringan	0.50-0.80
Kawasan yang berat	0.60-0.90
<b>Taman-taman dan kuburan</b>	0.10-0.25
<b>Lapangan bermain</b>	0.20-0.35
<b>Kawasan halaman rel kereta api</b>	0.20-0.40
<b>Kawasan yang belum di manfaatkan</b>	0.10-0.30

Sumber : Ir.Joesron Loebis 1984.IV-2

#### 2.4.4 Analisa hujan efektif

Curah hujan efektif atau hujan netto ialah suatu bagian hujan total yang menghasilkan limpasan langsung (*direct run-off*). Dengan asumsi bahwa proses transformasi hujan menjadi limpasan langsung mengikuti proses linier dan tidak berubah oleh waktu (*linear and time invariant process*), maka hujan netto ( $R_n$ ) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R_n = C \cdot R \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

$R_n$  = hujan netto (mm)

$C$  = koefisien limpasan

$R$  = intensitas curah hujan

#### 2.4.5 Analisis Aliran Permukaan

Menurut Goldman dkk., 1986 dalam Suripin, (2003 : 79) untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak (debit banjir) pada Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berukuran kecil, kurang dari 300 ha dan tidak mempunyai data debit, maka dapat menggunakan Metode Rasional USSCS (1973).

Menurut Goldman dkk, 1986 dalam Suripin, Perhitungan atau perkiraan besarnya debit banjir rencana yang akan terjadi dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut ini:

##### 2.4.5.1 Metode Rasional

Metode Rasional adalah salah satu dari metode yang paling lama dipakai dan hanya digunakan untuk memperkirakan aliran permukaan (Wanielista. 1990).

Metode ini berdasarkan asumsi bahwa hujan mempunyai intensitas yang seragam dan merata di seluruh DAS selama minimal sama dengan waktu konsentrasi ( $t_c$ ). Jika curah hujan dengan intensitas ( $I$ ) terjadi secara terus menerus, maka laju limpasan langsung bertambah sampai mencapai  $t_c$ , sedangkan  $t_c$  tercapai ketika seluruh bagian DAS telah memberikan kontribusi aliran di muara (*outlet*). Sehingga perhitungan debit banjir dengan metode Rasional ini memerlukan data intensitas curah hujan ( $I$ ), yaitu ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut terkonsentrasi dengan satuan mm/jam (Loebis 1992).

Pada sistem aliran, laju masukan ( $IA$ ) adalah hasil dari curah hujan dengan intensitas ( $I$ ) pada suatu DAS dengan luasan ( $A$ ), sedang nilai perbandingan antara laju masukan ( $IA$ ) dengan laju debit puncak ( $Q_p$ ) yang terjadi saat mencapai waktu konsentrasi ( $t_c$ ) dinyatakan sebagai koefisien limpasan ( $C$ ) dimana nilainya 0 sampai 1 sekon (Chow 1988). Artinya bahwa curah hujan selama satu jam dengan intensitas hujan 1 mm/jam di daerah seluas 1 ha menghasilkan  $Q_p$  sebesar 0.002778 m<sup>3</sup>/dt yang melimpas merata selama satu jam, sehingga dapat disajikan dibawah ini (Goldman et.al., 1986 dalam Suripin, 2004, hal.79).

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \times C \times I \times A = 0.002778 \times C \times I \times A \dots\dots\dots (2.15)$$

$$I = \frac{R}{24} \times \left(\frac{24}{t_c}\right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

Q = debit ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

C = koefisien aliran/limpasan (*run off*) air hujan

I = intensitas curah hujan ( $\text{mm}/\text{jam}$ )

A = luas daerah aliran ( $\text{km}^2$ )

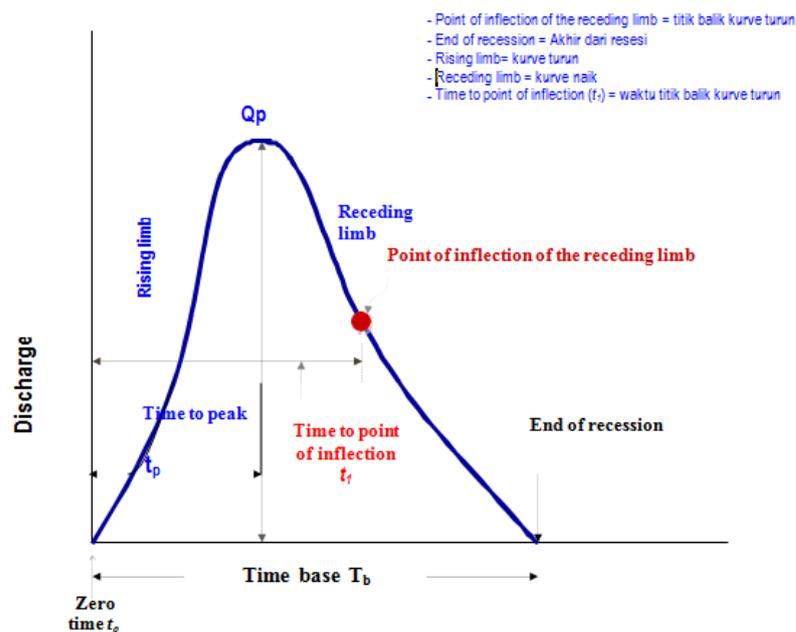
R = hujan maksimum ( $\text{mm}$ )

$t_c$  = waktu konsentrasi (menit)

Menurut Wanielista (1990) asumsi dasar untuk menggunakan metode Rasional adalah sebagai berikut:

- a. Curah hujan yang terjadi dengan intensitas ( $I$ ) yang tetap dalam satu jangka waktu tertentu, setidaknya sama dengan waktu konsentrasi ( $t_c$ ).
- b. Ketika lama hujan (*durasi*) dengan intensitas ( $I$ ) yang tetap atau sama dengan waktu konsentrasi ( $t_c$ ), maka Limpasan langsung akan mencapai maksimum.
- c. Nilai C atau koefisien aliran (*surface runoff*) dianggap tetap selama durasi hujan.
- d. Luasan DAS tidak berubah selama durasi hujan.

Metode ini menggambarkan hubungan antara hujan dan aliran dalam bentuk hidrograf dengan asumsi bahwa hujan mempunyai intensitas ( $I$ ) yang seragam dan merata di seluruh DAS selama minimal sama dengan waktu konsentrasi ( $t_c$ ), sehingga dapat dilihat pada **Gambar 2.7** dibawah ini.



**Gambar 2.7** Grafik Hidrograf Aliran (Ponce, 1989, hal. 72)

#### 2.4.5.2 Koefisien aliran permukaan (C)

Koefisien aliran permukaan (*runoff coefficient*) yang dinotasikan dengan huruf C didefinisikan sebagai nisbah antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan ( $I$ ) atau nilai perbandingan antara laju masukan dengan laju debit puncak ( $Q_p$ ) yang terjadi pada saat Waktu konsentrasi ( $T_c$ ), dan menurut Chow (1988) nilai koefisien aliran permukaan ( $C$ ) berkisar antara 0 – 1 ( $0 \leq C \leq 1$ ). Faktor utama yang mempengaruhi nilai C adalah laju infiltrasi tanah atau prosentase lahan kedap air, kemiringan lahan (*slope*) yang dipengaruhi oleh tutupan lahan permukaan tanah suatu DAS serta intensitas hujan ( $I$ ) dari suatu kejadian hujan DAS. Sehingga DAS yang terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan, nilai koefisien aliran permukaan ( $C$ ) akan beragam pula.

Maka untuk menganalisa nilai koefisien aliran permukaan suatu DAS menggunakan persamaan (Suripin, 2004, hal.81) :

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i.C_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

$C_{DAS}$  = koefisien aliran permukaan suatu DAS

$A_i$  = luas lahan dengan jenis penutup lahan i

$C_i$  = koefisien aliran permukaan jenis penutup lahan i

n = jumlah jenis penutup lahan

Sedangkan nilai koefisien  $C$  beserta penggunaannya dalam beberapa tata guna lahan dapat disajikan dalam **Tabel 2.4.** di bawah ini (U.S. Forest Service.,1980 dalam Asdak, 2004 : 154-155)

**Tabel 2.4.** Koefisien limpasan untuk metode Rasional.

<b>Tata Guna Lahan</b>	<b>C</b>	<b>Tata Guna lahan</b>	<b>C</b>
<u>Perkantoran</u>		Daerah beratap	0,75 - 0,95
Daerah pusat kota	0,70 - 0,95	<u>Tanah Pertanian, 0-30%</u>	
Daerah sekitar kota	0,50 - 0,70	Tanah Kosong	
<u>Perumahan</u>		Rata	0,30 - 0,60
Rumah tunggal	0,30 - 0,50	Kasar	0,20 - 0,50
Rumah susun, terpisah	0,40 - 0,60	Ladang Garapan	
Rumah susun, bersambung	0,60 - 0,75	Tnh. berat, tanpa vegetasi	0,30 - 0,60
Pinggiran kota	0,25 - 0,40	Tnh. berat, dgn. vegetasi	0,20 - 0,50
<u>Daerah Industri</u>		Berpasir, tanpa vegetasi	0,20 - 0,25
Kurang padat industri	0,50 - 0,80	Berpasir, dgn. vegetasi	0,10 - 0,25
Padat industri	0,60 - 0,90	Padang Rumput	
		Tanah berat	0,15 - 0,45
Taman, Kuburan	0,10 - 0,25	Berpasir	0,05 - 0,25
Tempat Bermain	0,20 - 0,35	Hutan/bervegetasi	0,05 - 0,25
Daerah Stasiun KA	0,20 - 0,40	Tanah tidak produktif, > 30 %	
Daerah Tak Berkembang	0,10 - 0,30	Rata, kedap air	0,70 - 0,90
		Kasar	0,50 - 0,70

Sumber : U.S. Forest Service (1980) dalam Asdak, C (2004)

Harga C dalam Tabel 2.4 diatas belum memberikan rincian faktor topografi permeabilitas tanah, penutup lahan, dan tata guna tanah yang mempengaruhi nilai C, maka Hassing (1995) menyajikan nilai C dengan mengintegrasikan nilai yang merepresentasikan beberapa faktor tersebut dalam Tabel 2.5. (Suripin, 2004, hal.81).

**Tabel 2.5.** Koefisien aliran untuk metode Rasional menurut Hassing (1995)

Koefisien Aliran $C = C_t + C_s + C_v$					
Topografi, $C_t$		Tanah, $C_s$		Vegetasi, $C_v$	
Datar (<1 %)	0,03	Pasir dan gravel	0,04	Hutan	0,04
Bergelombang (1-10 %)	0,08	Lempung berpasir	0,08	Pertanian	0,11
Perbukitann (10-20 %)	0,16	Lempung dan lanau	0,16	Padang rumput	0,21
Pegunungan (>20 %)	0,26	Lapisan batu	0,26	Tanpa tanaman	0,28

Sumber : Hassing (1995) dalam Suripin (2004) hal.81

### 2.4.5.3 Analisa Frekuensi curah hujan maksimum

Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampoi, sedangkan kala ulang (periode ulang) adalah waktu hipotetik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampoi.

Analisa Frekuensi curah hujan adalah suatu prosedur untuk memperkirakan frekuensi suatu kejadian hujan pada masa lalu dan masa mendatang. Dengan analisa Frekuensi curah hujan, dapat diketahui jenis distribusi hujan yang dapat mewakili persebaran dari data hujan harian, sehingga dapat ditetapkan *Hujan Rancangan* dengan berbagai periode ulang. Ada beberapa metode analisa frekuensi curah hujan antara lain Distribusi Normal, Log Normal, Log-Person III dan Gumbel. Dalam penelitian ini, digunakan metode distribusi

Gumbel, dimana langkah analisisnya sebagai berikut ini :

- 1) Menentukan hujan harian maksimum rerata untuk tiap-tiap tahun data.
- 2) Menentukan parameter statistik dari data yang telah diurutkan dari besar ke kecil, yaitu: *Mean*, *Standard Deviation*, *Coeffisient of Variation*, *Coeffisient of Skewness*, *Coeffisient of kurtosis*.
- 3) Menentukan jenis distribusi yang sesuai berdasarkan parameter statistik yang ada, yaitu distribusi Gumbel, dengan ciri khas statistik  $C_s = 1,396$  dan  $C_k = 5,4002$ .

Dalam ilmu statistic dikenal beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi adalah:

a. Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistic dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan. Distribusi tipe normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau  $C_s=0$ .

b. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal merupakan hasil transformasi dari Distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian  $X$  menjadi nilai logaritmik varian  $X$ . Distribusi ini dapat diperoleh juga dari distribusi log-person III, apabila nilai koefisien kemencengan  $C_s = 0$ . Distribusi tipe log normal mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau  $C_s= 3 C_v + C_v$ .

c. Distribusi Log-Person III

Distribusi Log-Person III atau Distribusi Ekstrim Tipe III digunakan untuk analisis variable hidrologi dengan nilai varian minimum, misalnya analisis frekuensi distribusi dari debit minimum (*low flows*). Distribusi ini mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau  $C_s \neq 0$ .

Langkah-langkah dalam metode distribusi *log-person tipe III* yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Mengganti data  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  menjadi data dalam logaritma, yaitu:  $\ln X_1, \ln X_2, \ln X_3, \dots, \ln X_n$ .
- Menghitung rata-rata dari logaritma data tersebut:

$$\ln X = \frac{\sum_{i=1}^n \ln X_i}{n} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

$X$  = Curah hujan rata-rata (mm)

$X_i$  = Curah hujan rata-rata maksimum harian (mm)

$n$  = Jumlah data curah hujan

- Menghitung standar deviasi (*deviation standard*)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln X_i - \ln X)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.19)$$

- Menghitung koefisien kemencengan (*skewness coefficient*)

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln X_i - \ln X)^3}{(n-1) x (n-2) x S^3} \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

Cs = Koefisien kemencengan (*skewness coefficient*)

S = Standar deviasi (*deviation standard*)

n = Jumlah data curah hujan

Xi = Hujan rata-rata maksimum harian (mm)

X = Hujan rata-rata (mm)

- Menghitung logaritma data pada interval pengulangan atau kemungkinan presentase yang dipilih.

$$\ln R = (\ln X) + G_s$$

Harga G<sub>s</sub> adalah harga untuk setiap nilai harga g dan interval pengulangan atau kemungkinan presentase yang dipilih dan dapat diambil dari table. Sedangkan R adalah logaritma curah hujan rencana yang mempunyai interval pengulangan atau kemungkinan presentase yang sama.

#### d. Distribusi Gumbel

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Ekstrim Tipe I digunakan untuk analisis data maksimum, misalna untuk analisis frekuensi banjir. Distribusi Tipe I Gumbel, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau  $C_s \leq 1,139$ .

$$X_t = X + S \times K_r \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan :

$X_t$  = Curah hujan rencana dengan periode ulang t tahun

$X$  = Curah hujan rata-rata (mm)

$S$  = Standar deviasi (*deviation standard*)

$K_r$  = Faktor frekuensi Gumbel =  $\frac{1}{S_n} \times (Y_t - Y_n)$

#### 2.4.5.4 Intensitas Curah Hujan (I)

Dalam perhitungan  $Q_{maks}$  dengan Metode Rasional diperlukan data intensitas curah hujan, yaitu kedalaman air hujan per satuan waktu atau curah hujan jangka pendek dalam satuan mm/jam dan dinotasikan dengan huruf *I*. Sedangkan menurut Loebis (1992) intensitas hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi.

Intensitas hujan (*I*) dipengaruhi oleh lamanya suatu kejadian hujan (*durasi*) atau waktu konsentrasi ( $t_c$ ) serta curah hujan maksimum selama 24 jam. Intensitas hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dengan durasi

pendek dan meliputi daerah yang tidak luas. Hujan yang meliputi daerah luas, jarang sekali dengan intensitas tinggi, tetapi dapat berlangsung dengan durasi cukup panjang. Kombinasi dari intensitas hujan yang tinggi dengan durasi panjang jarang terjadi, jika terjadi berarti sejumlah besar volume air bagaikan dicurahkan dari langit (Sudjarwadi 1987).

Hubungan antara intensitas, lama hujan (*durasi*) dan frekuensi biasanya dinyatakan dengan lengkung Intensitas–Durasi–Frekuensi (*Intensity-Duration-Frequency = IDF*) yang dibuat dengan data hujan jangka pendek (jam-jaman) dari penakar hujan otomatis. Menurut Sri Harto (1993), analisis IDF memerlukan analisis frekuensi dengan menggunakan seri data yang diperoleh dari rekaman data hujan. Jika tidak dapat mengamati besarnya intensitas hujan (*I*) karena alatnya tidak ada, maka intensitas hujan (*I*) dapat analisa secara empiris dengan rumus-rumus eksperimental seperti rumus Talbot, Mononobe, Sherman dan Ishiguro (Suyono dan Takeda 1993).

Curah hujan jangka pendek dinyatakan dalam intensitas per jam yang disebut intensitas curah hujan (mm/jam). Intensitas hujan untuk  $t_c$  tertentu dapat dihitung dengan rumus Mononobe dibawah ini (Kirpich, 1940 dalam Suripin, 2004, hal.82) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} * \left(\frac{24}{t_c}\right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan :

$I$  = intensitas curah hujan (mm/jam);

$t_c$  = lamanya curah hujan (jam);

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

Sedangkan menurut Sobriyah (2003), dalam disertasinya menyatakan bahwa hujan efektif diasumsikan terjadi selama 4 jam dengan prosentase hujan sebagaimana dalam **Tabel 2.6** dibawah ini.

**Tabel 2.6.** Tabel Prosentase hujan jam-jaman menurut Sobriyah (2003).

No.	Hujan Jam-jaman	Prosentase
1	Hujan ke-1	38,70 %
2	Hujan ke-2	32,30 %
3	Hujan ke-3	18,70 %
4	Hujan ke-4	10,30 %

Sumber : Sobriyah, 2003

#### 2.4.5.5 Waktu Konsentrasi ( $t_c$ )

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. Dalam hal ini diasumsikan bahwa jika lama hujan (*durasi*) sama dengan waktu konsentrasi ( $t_c$ ), maka setiap bagian DAS secara serentak telah menyumbangkan aliran terhadap tempat keluaran DAS (*outlet*), atau dengan kata lain bahwa waktu konsentrasi ( $t_c$ ) tercapai ketika seluruh bagian DAS telah memberikan kontribusi aliran di tempat keluaran (*outlet*) DAS tersebut. Salah satu metode yang sering dipakai adalah persamaan yang dikembangkan oleh Kirpich (1940), sehingga berikut (Suripin, 2004, hal 82) :

$$t_c = \left( \frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :

L = panjang sungai (km)

S = kemiringan sungai (%)

#### 2.4.5.6 Luas DAS

Luas suatu daerah aliran sungai (DAS) adalah luas daerah tangkapan air hujan yang dibatasi oleh pemisah alam topografi antara lain punggung bukit atau pegunungan dan dan dinotasikan dengan huruf A. Luas dan kemiringan DAS akan mempengaruhi kecepatan dan volume aliran air/debit (Q) permukaan, sehingga semakin luas suatu daerah aliran sungai (DAS) maka volume aliran permukaan atau debit (Q) dalam satuan m<sup>3</sup>/sekon akan semakin besar.

#### 2.4.5.7 Analisa Debit Banjir Rencana

##### 1. Metode *Weduwen*

Metode *Weduwen* biasa digunakan jika suatu luas DAS kurang dari atau sama dengan 100 km<sup>2</sup> ( $\leq 100 \text{ km}^2$ ). Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$Q_t = \alpha \times \beta \times q_n \times f \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana:

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta \times q_n + 7} \qquad q_n = \frac{67,65}{t + 1,45}$$

$$\beta = \frac{120 + \frac{(t+1)}{(t+9)} \times f}{120 + f} \qquad t = \frac{0,476 \times f^{3/8}}{(\alpha \times \beta \times \frac{q}{n})^{1/8} \times 11^{1/4}}$$

Keterangan :

$Q_t$  = debit banjir periode ulang tertentu (m<sup>3</sup>/detik)

$\alpha$  = koefisien pengaliran

$\beta$  = koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

$t$  = lamanya konsentrasi aliran (jam)

$f$  = luas daerah pengaliran (m<sup>2</sup>)

$q_n$  = curah hujan maksimum (mm)

## 2. Metode Haspers

Metode Haspers digunakan pada luas DAS <300 km<sup>2</sup>

Rumus :

$$Q = \alpha \times \beta \times q \times A \dots\dots\dots (2.25)$$

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

$$\alpha = \frac{1+(0,012 \times A^{0,7})}{1+(0,075 \times A^{0,7})}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t+(3,70 \times 10^{0,40t})}{t^2+15} \times \frac{A^{0,75}}{12}$$

Keterangan :

$Q$  = debit banjir rencana pada periode ulang tertentu ( m<sup>3</sup>/det)

$\alpha$  = koefisien limpasan air hujan

$\beta$  = koefisien pengurangan luas daerah hujan

$q$  = intensitas maksimum jatuhnya hujan rata-rata (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/det)

$A$  = luas daerah pengaliran hujan (jam)

$t$  = waktu konsentrasi hujan (jam)

$L$  = panjang sungai (km)

$i$  = kemiringan sungai

### 3. Analisis Hidrograf Satuan

Hidrograf adalah grafik yang menggambarkan suatu hubungan antara unsur-unsur aliran (tinggi dan debit) dengan waktu (stage hydrograph, discharge, hydrograph). Hidrograf merupakan diri response dari hujan yang terjadi. Kurva ini memberikan gambaran mengenai berbagai kondisi yang ada di suatu daerah pada kurun waktu yang bersamaan. Apabila karakteristik daerah tersebut berubah-ubah, maka bentuk hidrograf juga pasti akan berubah. Teori hidrograf ini merupakan penerapan pertama dari system linier dalam hidrologi.

Metode hydrograph satuan sintesis telah banyak digunakan untuk memperkirakan banjir rancangan dan memberkan hasil rancangan yang cukup teliti. Metoda analisis hidrograf satuan sintesis yang umum digunakan di Indonesia ialah :

#### 1. Metoda Snyder-Alexeyev

Empat parameter yaitu waktu kelambatan, aliran puncak, waktu dasar, dan durasi standar dari hujan efektif untuk hidrograf satuan dikaitkan dengan geometri fisik dari DAS dengan hubungan berikut ini (Gupta, 1989).

$$t_p = C_t (L L_c)^{0,3}$$

$$Q_p = \frac{C_p A}{t_p} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$T = 3 + \frac{t_p}{8}$$

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

Apabila durasi hujan efektif  $t_x$  tidak sama dengan durasi standar  $t_D$ , maka:

$$t_p R = t_p + 0,25 (t_r - t_p) \dots\dots\dots (2.27)$$

$$Q_p R = Q_p \frac{t_p}{t_p R} \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan :

$t_D$  = durasi standar dari hujan efektif (jam)

$t_r$  = durasi hujan efektif (jam)

$t_p$  = waktu dari titik berat durasi hujan efektif  $t_D$  ke puncak hidrograf satuan (jam)

$t_p R$  = waktu dari titik berat durasi hujan  $t_D$  ke puncak hidrograf satuan (jam)

$T$  = waktu dasar hidrograf satuan (hari)

$Q_p$  = debit puncak untuk durasi  $t_D$

$Q_p R$  = debit puncak untuk durasi  $t_r$

$L$  = panjang sungai utama terhadap titik control yang ditinjau (km)

$L_c$  = jarak antara titik control ke titik terdekat dengan titik berat DAS (km)

$A$  = luas DAS (km<sup>2</sup>)

$C_t$  = koefisien yang tergantung kemiringan DAS, yang bervariasi dari 1,4-1,7

$C_p$  koefisien yang tergantung pada karakteristik DAS, yang bervariasi dari 0,15-0,19

Dengan menggunakan rumus-rumus tersebut diatas dapat digambarkan hidrograf satuan. Untuk memudahkan penggambaran, berikut ini diberikan beberapa rumus:

$$W_{75} = \frac{0,13A^{1,08}}{Q_{pR}^{1,08}} \quad W_{50} = \frac{0,23A^{1,08}}{Q_{pR}^{1,08}} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan  $W_{50}$  dan  $W_{75}$  ialah lebar unit hidrograf pada debit 50% dan 75% dari debit puncak, yang dinyatakan dalam satuan jam. Sebagai acuan, lebar  $W_{50}$  dan  $W_{75}$  dibuat dengan perbandingan 1:2, dengan sisi pendek di sebelah kiri dari hidrograf satuan.

## 2. Metoda Nakayasu

Hidrograf satuan sintesis Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang (Soemarto, 1987).

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left( \frac{A Re}{0,3 T_p + T_{0,3}} \right) \dots\dots\dots (2.30)$$

$$T_p = t_g + 0,8 T_r$$

$$t_g = 0,4 + 0,058L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km}$$

$$t_g = 0,21 L^{0,7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ km}$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g$$

$$t_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g$$

Keterangan:

$Q_p$  = debit puncak banjir

$A$  = luas DAS ( $\text{km}^2$ )

- $Re$  = curah hujan efektif ( 1mm)  
 $T_p$  = waktu permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)  
 $T_{0,3}$  = waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)  
 $t_g$  = waktu konsentrasi  
 $T_r$  = satuan waktu dari curah hujan (jam)  
 $\alpha$  = karakteristik DAS biasanya diambil 2  
 $L$  = panjang sungai utama (km)

Bentuk hidrograf satuan diberikan oleh persamaan berikut ini:

- a. Pada kurva naik ( $0 < t < T_p$ )

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

- b. Pada kurva turun ( $T_p < t < T_p + T_{0,3}$ )

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{\left( \frac{t - T_p}{T_{0,3}} \right)}$$

- c. Pada kurva turun ( $T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$ )

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\left[ \frac{(t - T_p) + (0,5 T_{0,3})}{(1,5 T_{0,3})} \right]}$$

- d. Pada kurva turun ( $t > T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$ )

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\left[ \frac{(t - T_p) + (0,5 T_{0,3})}{(1,5 T_{0,3})} \right]}$$

## 2.5 Perubahan Tata Guna Lahan (*Land Use Change*)

Perubahan tata guna lahan ialah berubahnya penggunaan lahan dari satu sisi penggunaan ke penggunaan yang lain diikuti dengan berkurangnya tipe penggunaan lahan yang lain dari suatu waktu ke waktu berikutnya atau berubahnya fungsi lahan suatu daerah pada kurun waktu yang berbeda (Wahyunto

*dkk*, 2001). Perubahan fungsi tutupan lahan dari kawasan konservasi (lahan hijau) menjadi kawasan terbangun (permukiman) akan memperberat tekanan terhadap kondisi lingkungan antara lain pengaruhi besarnya laju erosi dan sedimentasi di wilayah hulu, menimbulkan banjir dan genangan di wilayah hilir, serta tanah longsor dan kekeringan.

Pergeseran fungsi lahan di kawasan pinggrian, dari lahan pertanian dan tegalan atau kawasan hutan yang juga berfungsi sebagai daerah resapan air, berubahnya menjadi kawasan perumahan, industri dan kegiatan usaha non pertanian lainnya, berdampak pada ekosistem alami setempat. Fenomena ini memberikan konsekuensi logis terjadinya penurunan jumlah dan mutu lingkungan, baik kualitas maupun kuantitasnya, yaitu menurunnya sumberdaya alam seperti, tanah dan keanekaragaman hayati serta adanya perubahan perilaku tata air (*siklus hidrologi*) dan keanekaragaman hayati.

Perubahan siklus hidrologi ialah terjadinya perubahan perilaku dan fungsi air permukaan, yaitu menurunnya aliran dasar (*base flow*) dan meningkatnya aliran permukaan (*surface runoff*), yang menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan tata air (hidrologi) dan terjadinya banjir serta genangan di daerah hilir (Tim Kerja Manajemen Sungai Terpadu Ditjen Sumber Daya Air Kimpraswil, 2002). Perubahan fungsi lahan dalam suatu DAS juga dapat menyebabkan peningkatan erosi, yang mengakibatkan pendangkalan dan penyempitan sungai atau saluran air (Suripin, 2003 : 223).

Urbanisasi yang terjadi di hampir diseluruh kota besar Indonesia akhir-akhir ini kian menambah beban daerah perkotaan menjadi lebih berat. Hal ini dikarenakan kebutuhan akan lahan, baik untuk permukiman penduduk maupun kegiatan

perekonomian meningkat begitu tajam, sehingga lahan-lahan yang biasanya berfungsi sebagai retensi dan resapan semakin menurun.

## **2.6 Analisa dengan Perangkat Lunak Sistem Informasi Geografis ArcGIS**

Geographic Information System atau sering disingkat dengan SIG / GIS merupakan sebuah system manajemen informasi yang menyeluruh mengenai ruang geografis dengan komputerisasi untuk mengelola data mengenai ruang geografis, antara lain kegiatan survey, pemetaan, kartografi, fotogrametri, penginderaan jarak jauh dan ilmu computer (Glenn dan Schwab, 1996 dalam Prahasta, 2002). System ini memungkinkan pengguna untuk memasukkan data, mengatur, menganalisis, memanipulasi dan menampilkan data spasial. Serta mampu menyimpan, mengelola dan memproses dalam lingkungan pemodelan. Model *Builder* data-data spasial dalam bentuk table, peta dan citra ( ESRI, 2004 ), sehingga GIS dapat mendukung beberapa aspek kerja informasi geografis :

1. Menampilkan *geodatabase*. GIS adalah database spasial yang menggambarkan informasi geografis dalam arti model data GIS (*feature, raster, topologi, network*)
2. *Geovisualisasi*. GIS adalah sekumpulan peta dan tampilan lainnya yang menunjukkan feature di permukaan bumi dan hubungan antar feature. Berbagai tampilan peta dapat dibuat dan digunakan sebagai jendela bagi database untuk mendukung query, analisis dan pengeditan informasi.
3. *Geoprocessing*. GIS adalah sekumpulan tools untuk mengubah informasi dari dataset yang ada menjadi dataset geografi yang baru. Fungsi geoprocessing ini mengambil informasi dari dataset yang ada, memaparkan

fungsi analitis, dan menuliskan hasilnya menjadi dataset yang baru, (ESRI, 2004).

Model Builder merupakan suatu pemodelan dan pemrograman visual yang mudah dibuat menggunakan aneka yaitu program *extension* yang disediakan *Software ArcGIS*. GIS meliputi sekumpulan tool yang lengkap untuk bekerja dengan data-data geografis, sedang tool-tool yang tersedia bias disusun ulang untuk membentuk tool-tool baru sesuai kebutuhan pengguna. Ada tingkatan dalam suatu GIS, antara lain :

- a. Persiapan dan Input Data : data dikumpulkan dan dipersiapkan untuk dimasukkan ke dalam system.
- b. Analisis Data : koleksi data direview dan mencoba menemukan polanya.
- c. Presentasi Data : tahap akhir dimana hasil analisis disajikan dengan cara yang sesuai.

### **2.6.1 ArcGIS Desktop**

Aplikasi dasar yang terdapat di ArcGIS Desktop ialah :

#### **1. Aplikasi ArcMap**

ArcMap adalah aplikasi utama untuk kebanyakan proses GIS dan pemetaan dengan komputer. ArcMap memiliki kemampuan utama untuk visualisasi, membangun database spasial yang baru, memilih (query), editing, menciptakan desain-desain peta, analisis dan pembuatan tampilan akhir dalam laporan-laporan kegiatan. Beberapa hal yang dapat dilakukan

oleh ArcMap diantaranya yaitu penjelajahan data (exploring), analisa sig (analyzing), presenting result, customizing data dan programming.

## 2. Aplikasi ArcCatalog

ArcCatalog adalah tool untuk menjelajah (browsing), mengatur (organizing),

membagi (distribution) mendokumentasikan data spasial maupun metadata dan

menyimpan (documentation) data – data SIG. ArcCatalog membantu dalam proses eksplorasi dan pengelolaan data spasial. Setelah data terhubung, ArcCatalog dapat digunakan untuk melihat data. Bila ada data yang akan digunakan, dapat langsung ditambahkan pada peta. Seringkali, saat memperoleh data dari pihak lain, data tidak dapat langsung digunakan. Data tersebut mungkin masih perlu diubah sistem koordinat atau proyeksinya, dimodifikasi atributnya, atau dihubungkan antara data geografis dengan atribut yang tersimpan pada tabel terpisah. Pada saat data siap, isi dan struktur data sebagaimana halnya perubahan-perubahan yang dilakukan, harus di dokumentasikan. Berbagai aktivitas pengelolaan data ini dapat dilakukan menggunakan fasilitas yang tersedia pada ArcCatalog.

## 3. Aplikasi ArcToolbox

Sebagai inti dari semua proses analisis data dalam ArcGIS, ArcToolbox memegang peranan penting. Dalam ArcToolbox, tools atau perintah-

perintah untuk melakukan analisis dikelompokkan sesuai dengan kelompok fungsinya. Beberapa kelompok yang terpenting adalah:

Analysis Tools, yang berisi perintah:

- Extract (Clip, Select, Split, Table Select)
- Overlay (Erase, Identity, Intersect, Spatial Joint, Union, Update)
- Proximity (Buffer, Create Thiessen Polygon)

Conversion Tools yang berisi antara lain:

- Konversi raster ke vektor atau sebaliknya

Data Management Tools yang berisi antara lain:

- Add XY koordinat
- Multipart to single part
- Projections and Transformations untuk menentukan sistem koordinat dan proyeksi
- Generalization (dissolve, smooth line, simplify)
- Konversi data line ke polygon atau titik, dan sebaliknya
- Membuat field, delete field dan Kalkulasi field
- Merger data
- Raster (mosaic, resample, composit band).

#### 4. Aplikasi ArcGlobe

ArcGlobe adalah Sebuah Aplikasi yang digunakan untuk Menampilkan Peta-peta secara 3D ke dalam bola dunia dan dapat dihubungkan langsung dengan Internet.

Aplikasi ini umumnya dirancang untuk digunakan dengan dataset yang sangat besar dan memungkinkan untuk visualisasi yang tidak terputus untuk data raster dan fitur peta lainnya. View dalam ArcGlobe didasarkan pada pandangan global, dengan semua data diproyeksikan ke proyeksi Cube global dan ditampilkan pada berbagai tingkat detail (LODs).

## 5. Aplikasi ArcScene

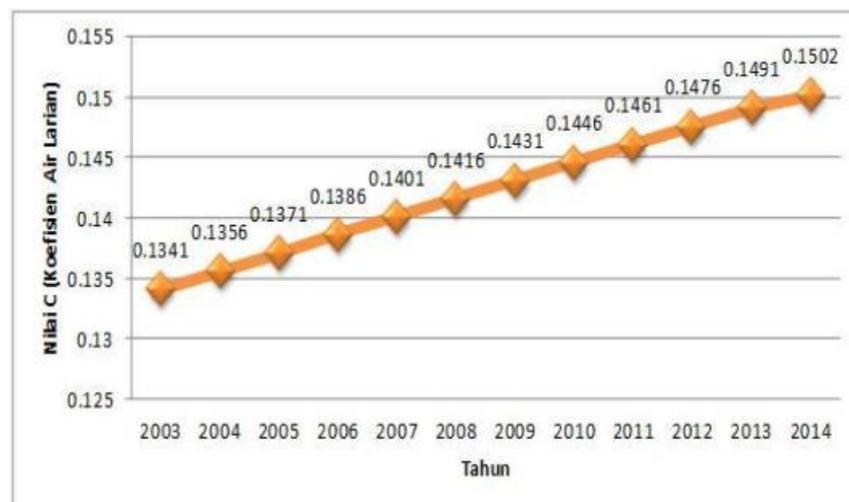
ArcScene adalah Sebuah Aplikasi yang digunakan untuk mengolah dan menampilkan peta-peta ke dalam 3D.

## 2.7 Studi Terdahulu

### 2.7.1 Kajian Sistem Hidrologi akibat Perubahan Tata guna Lahan di Kawasan Bandung Utara

Pada studi terdahulu ini, dengan judul tersebut yang ditulis oleh Edi Nurrochman, merupakan fenomena banjir, genangan dan suatu krisis air yang terjadi diakibatkan adanya suatu perubahan tata guna lahan serta intensitas curah hujan yang tinggi setiap tahunnya di sebagian besar wilayah Indonesia, terutama di wilayah perkotaan selalu saja terjadi. Perubahan tata guna lahan dari lahan non terbangun menjadi lahan terbangun di kawasan konservasi air khususnya di Kawasan Bandung Utara mengakibatkan peningkatan koefisien air larian (surface run-off). Hasil dari penelitian dengan metode analisis spasial ini menunjukkan bahwa Kawasan Bandung Utara dalam kurun waktu 10 (sepuluh) tahun yaitu; tahun 2003 sampai 2014 perubahan suatu lahan resapan menjadi lahan kedap air mencapai angka 32% (8.618,88 Ha) dari luas tangkapan yang ada sebesar 26.934 ha, berdasarkan metode analisis MIKE SHE perubahan tata guna lahan ini

menyebabkan trend dari peningkatan nilai koefisien aliran permukaan (C), yaitu dari 0,1341 pada tahun 2003 menjadi 0,1502 pada tahun 2014. Perhitungan debit banjir puncak dengan metode Hidrograf Satuan Sintesis ITB-1 untuk periode ulang 25 tahun debit banjir Sungai Cimeta 85,42 M<sup>3</sup>/detik, Sungai Cikapundung 77,06 M<sup>3</sup>/detik, Sungai Cihaur 41,77 M<sup>3</sup>/detik, Sungai Citepus 35,40 M<sup>3</sup>/detik, Sungai Cimahi 29,78 M<sup>3</sup>/detik, dan Sungai Cibaligo 14,05 M<sup>3</sup>/detik. Perubahan tataguna lahan di Kawasan Bandung Utara telah memicu erosivitas tanah, berdasarkan suatu analisis metode USLE laju erosivitas tanah sebesar 22,86 ton/ha/tahun.



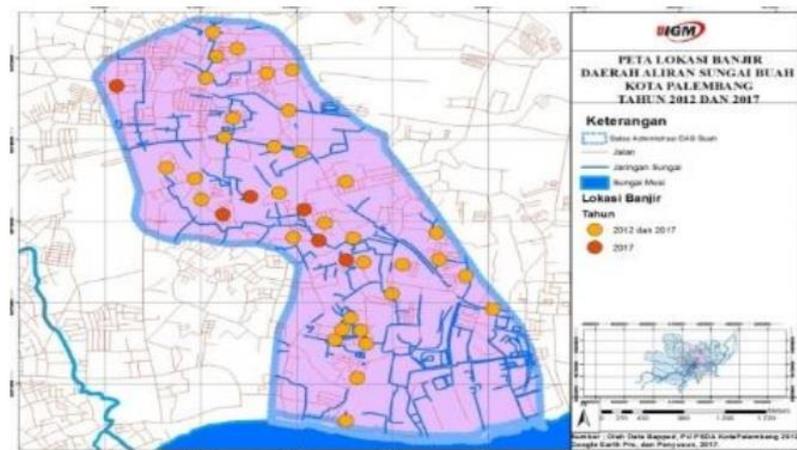
**Gambar 2.8** Trend Kenaikan Nilai C dari Tahun 2003 - 2014

## 2.7.2 Pengaruh Perubahan Pola Penggunaan Lahan terhadap Banjir di DAS

### Buah Kota Palembang

Dampak yang ditimbulkan dari perubahan tataguna lahan suatu ruang terbuka hijau menjadi kawasan terbangun akan mempengaruhi kemampuan dari resapan air oleh tanah, dan kualitas air di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) sehingga menyebabkan terjadinya suatu banjir. Kota Palembang memiliki 22 titik ruas jalan dan 43 titik daerah yang menjadi rawan banjir, salah satunya ialah DAS Buah.

Daerah Aliran Sungai Buah rawan terhadap banjir dan termasuk DAS kritis di Kota Palembang. Penyebab banjir di DAS Buah karena alih fungsi suatu lahan ruang terbuka hijau menjadi kawasan permukiman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari perubahan pola penggunaan lahan dari tahun 2000-2017 yang dapat mempengaruhi banjir di DAS Buah Kota Palembang. Metode deskriptif kuantitatif yang digunakan dengan analisis overlay dan didukung data dari observasi lapangan. Hasil analisis overlay menunjukkan bahwa efek dari perubahan penggunaan lahan pada DAS Buah ialah 25,74%. Lokasi titik banjir di Sungai Buah pada tahun 2012 sebanyak 34 titik lokasi dan meningkat pada tahun 2017 sebanyak 38 titik lokasi banjir dengan frekuensi yang berbeda.



**Gambar 2.9** Peta Indikatif Perbandingan Titik Lokasi Banjir

### **2.7.3 Hubungan Perubahan Penggunaan Lahan dengan Limpasan Air Permukaan**

Perubahan yang cepat pada daerah Bogor dari lahan penyerapan air menjadi lahan permukiman dan sebagainya dapat mengurangi kapasitas untuk menyerap air dan meningkatkan air limpasan permukaan. Posisi Kota Bogor terletak di bagian tengah DAS Ciliwung dan memberikan suatu kontribusi yang signifikan untuk

meningkatkan laju aliran air sungai. Pengendalian run-off sangat penting untuk dikurangi ancaman banjir daerah Jakarta serta meningkatkan komposit air tanah untuk Kota Bogor itu sendiri. Metode analisis shift-share membandingkan jenis dan lahan penggunaan lahan dalam waktu yang berbeda. Hasil dari penelitian inipun menggambarkan bahwa suatu perubahan penggunaan lahan akan banyak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan itu sendiri.

#### **2.7.4 Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Perubahan Debit Puncak Banjir**

Bencana banjir yang terjadi pada suatu tempat dapat disebabkan oleh dua faktor antara lain; perubahan tataguna lahan yang signifikan atau intensitas curah hujan yang terjadi secara terus-menerus. Perubahan penggunaan lahan menyebabkan adanya perubahan kondisi debit banjir DAS. Akibat dari alih fungsi lahan yang ada, air hujan yang jatuh lebih berpotensi menjadi aliran permukaan daripada terserap oleh permukaan tanah. Peningkatan secara signifikan di Sub DAS Brantas hulu pada luas lahan permukiman sebesar 9% dari 29,18 km<sup>2</sup> menjadi 31,81 km<sup>2</sup> dan perkebunan sebesar 7%. Dari perubahan tersebut mempunyai dampak yaitu berubahnya respond DAS terhadap hujan dengan debit puncak banjir tahun 2003 rata-rata debit puncak banjir sebesar 96,79 m<sup>3</sup>/detik menjadi 189,19 m<sup>3</sup>/detik pada tahun 2007.

#### **2.7.5 Analisis Intensitas Curah Hujan Wilayah Bandung**

Pada awal 2010 di wilayah Bandung telah terjadi hujan dengan intensitas yang sangat tinggi, serta berlangsung dalam kurun waktu yang cukup lama. Kondisi ini telah mengakibatkan kerugian materil dan immateril akibat terjadinya beberapa bencana seperti banjir, tanah longsor, serta meluapnya suatu bendungan.

Berdasarkan hasil analisis intensitas curah hujan diketahui bahwa jumlah curah hujan yang terjadi pada bulan Januari, Februari dan Maret 2010, seluruhnya berada diatas normal demikian pula dengan jumlah hari hujannya. Tingginya intensitas curah hujan yang terjadi selama 3 bulan berturut-turut dengan kondisi di atas normal jarang sekali terjadi di wilayah Bandung. Berdasarkan catatan yang dimiliki oleh BMKG Stasiun Geofisika Bandung hal serupa pernah terjadi pada tahun 1952 dan 1966, namun demikian intensitas curah hujan bulanan yang terjadi pada awal 2010 tersebut yang terjadi selama 3 bulan berturut-turut merupakan yang tertinggi dari yang sebelumnya pernah terjadi.



**Gambar 2.10** Kejadian Hujan dengan Intensitas Tinggi di Wilayah Bandung