

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tinjauan Umum**

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama makhluk hidup. Penerapan ilmu hidrologi dapat dijumpai dalam beberapa kegiatan seperti perencanaan dan operasi bangunan air, penyediaan air untuk berbagai keperluan (air bersih, irigasi, perikanan, peternakan), pembangkit listrik tenaga air, pengendalian banjir, pengendalian erosi dan sedimentasi, transportasi air, drainasi, pengendalian polusi, dan air limbah.

Hidrologi banyak dipelajari oleh para ahli di bidang teknik sipil dan pertanian. Ilmu hidrologi dapat dimanfaatkan untuk beberapa kegiatan berikut :

1. Memperkirakan besarnya banjir yang ditimbulkan oleh hujan deras, sehingga dapat digunakan untuk merancang bangunan-bangunan pengendali banjir seperti pembuatan tanggul banjir, saluran drainasi, dan gorong-gorong.
2. Memperkirakan jumlah air yang dibutuhkan oleh suatu jenis tanaman, sehingga dapat direncanakan bangunan untuk melayani kebutuhan tersebut,
3. Memperkirakan jumlah air yang tersedia di suatu sumber air (mata air, sungai, dan danau) untuk dapat dimanfaatkan guna berbagai keperluan seperti air baku (air untuk keperluan rumah tangga, perdagangan, industri), irigasi, pembangkit tenaga air, perikanan, dan peternakan.

Ilmu hidrologi lebih banyak didasarkan pada pengetahuan empiris daripada teoritis. Parameter yang berpengaruh pada kondisi hidrologi di suatu daerah, seperti kondisi klimatologi (angin, suhu udara, kelembaban udara, penyinaran matahari), kondisi lahan (daerah aliran sungai, DAS) seperti jenis tanah, tata guna lahan dan kemiringan lahan. Banyaknya parameter tersebut mengakibatkan analisis hidrologi

sulit diselesaikan secara analitis. Disamping itu kondisi hidrologi juga sangat dinamis yang tergantung pada perubahan/ kegiatan yang dilakukan manusia, seperti perubahan tata guna lahan (penggundulan hutan, penghijauan, perubahan sawah menjadi daerah permukiman atau industri, perubahan hutan menjadi sawah atau fungsi lainnya), perubahan penutup permukaan tanah (dari tanah, rumput, atau pepohonan menjadi permukaan aspal atau beton).

### 3.1.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi adalah sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer ke bumi dan kembali ke atmosfer melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Pemanasan air laut oleh sinar matahari merupakan kunci proses siklus hidrologi dapat berjalan secara terus menerus. Air berevaporasi, kemudian jatuh sebagai presipitasi dalam bentuk hujan, salju, hujan es, hujan gerimis atau kabut.

Proses presipitasi dapat berevaporasi kembali ke atas atau langsung jatuh yang kemudian diintersepsi oleh tanaman sebelum mencapai tanah. Setelah mencapai tanah, siklus hidrologi terus bergerak secara kontinyu dalam tiga cara yang berbeda yaitu :

#### 1. Evaporasi/transpirasi

Proses perubahan molekul air menjadi gas, seperti air yang ada di laut, daratan, sungai, dan tanaman. Kemudian akan menguap ke angkasa (atmosfer) dan kemudian akan menjadi awan.

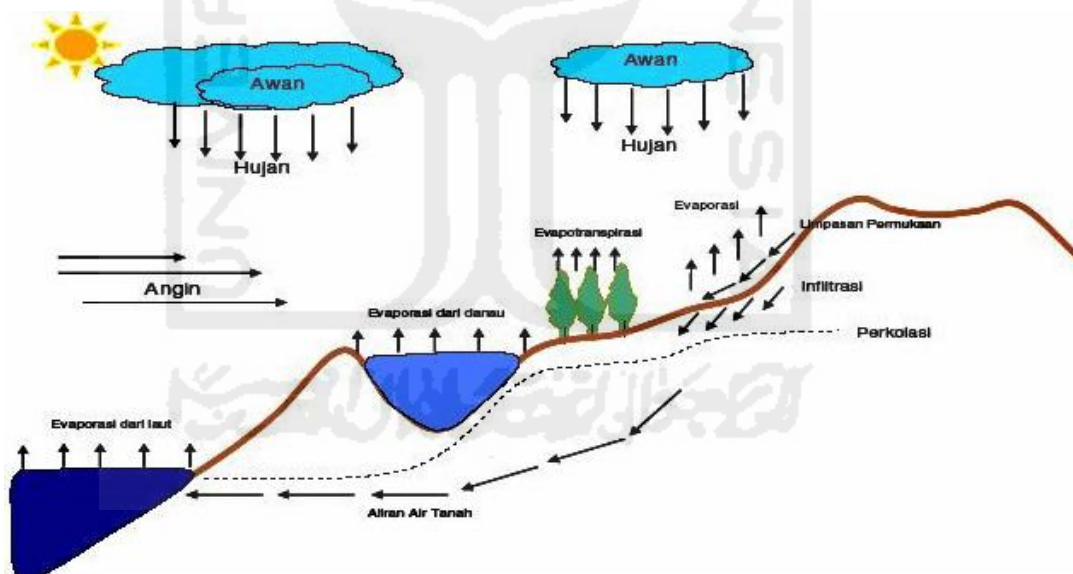
#### 2. Infiltrasi/perkolasi

Air bergerak ke dalam tanah melalui celah-celah dan pori-pori tanah dan batuan menuju muka air tanah. Air dapat bergerak akibat aksi kapiler atau air dapat bergerak secara vertikal atau horizontal di bawah permukaan tanah hingga air tersebut memasuki kembali sistem air permukaan.

### 3. Air Permukaan

Air bergerak di atas permukaan tanah dekat dengan aliran utama dan danau, semakin landai lahan dan semakin sedikit pori-pori tanah, maka aliran permukaan semakin besar. Aliran permukaan tanah dapat dilihat biasanya di daerah urban. Sungai-sungai bergabung satu sama lain dan membentuk sungai utama yang membawa seluruh air permukaan di sekitar daerah aliran sungai menuju laut.

Air permukaan, baik yang mengalir maupun yang tergenang (danau, waduk, dan rawa), dan sebagian air bawah permukaan akan terkumpul dan mengalir membentuk sungai dan berakhir ke laut. Proses perjalanan air di daratan itu terjadi dalam komponen-komponen siklus hidrologi yang membentuk sistem daerah aliran sungai (DAS). Jumlah air di bumi secara keseluruhan relatif tetap, yang berubah adalah wujud dan tempatnya. Untuk memperjelas pemahaman siklus hidrologi dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



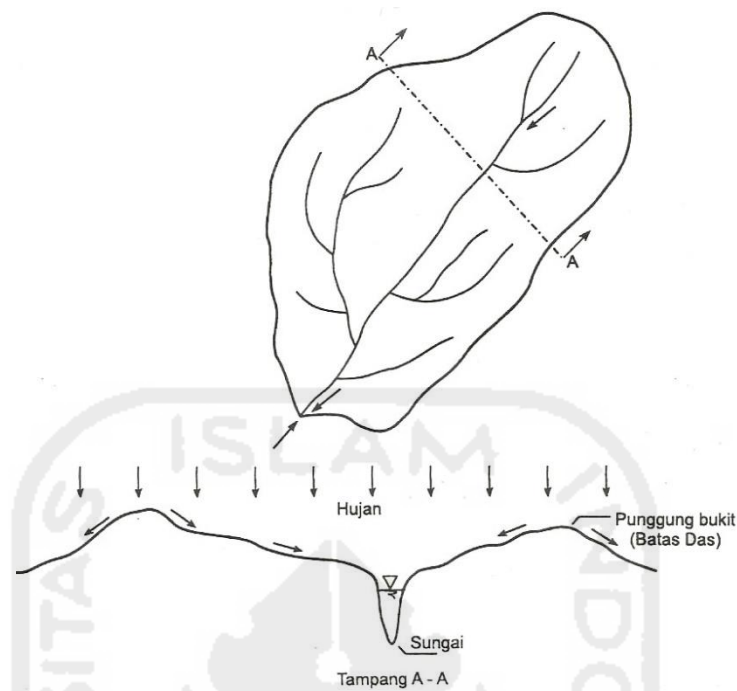
**Gambar 3.1 Siklus Hidrologi**

(Sumber : Soemarto, 1987)

### 3.1.2 Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (UU Republik Indonesia No 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, pasal 1).

Daerah aliran sungai ditentukan dengan menggunakan *peta digital elevation model* (DEM), kemudian dianalisis terlebih dahulu dengan *software* tertentu. Garis-garis kontur dipelajari untuk menentukan arah dari limpasan permukaan. Limpasan berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah dalam arah tegak lurus dengan garis-garis kontur. Daerah yang dibatasi oleh garis yang menghubungkan titik-titik tertinggi tersebut adalah DAS. Gambar 3.2 menunjukkan contoh bentuk DAS. Garis yang mengelilingi DAS tersebut ditunjukkan pula penampang pada keliling DAS. Garis yang mengelilingi DAS tersebut merupakan titik-titik tertinggi. Air hujan yang jatuh di dalam DAS akan mengalir menuju sungai utama yang ditinjau, sedang yang jatuh di luar DAS akan mengalir ke sungai lain di sebelahnya.



**Gambar 3.2 Daerah aliran sungai (DAS)**

(Sumber : Triatmodjo,2008)

Luas DAS diperkirakan dengan mengukur daerah itu pada peta topografi. Luas DAS sangat berpengaruh terhadap debit sungai. Pada umumnya semakin besar DAS semakin besar jumlah limpasan permukaan sehingga besar pula aliran permukaan atau debit sungai.

### 3.2 Tutupan Lahan

Penggunaan lahan berhubungan dengan kegiatan manusia pada sebidang lahan, sedangkan penutup lahan adalah perwujudan fisik obyek-obyek yang menutupi lahan tanpa mempersoalkan kegiatan manusia terhadap obyek-obyek tersebut. Satuan-satuan penutup lahan kadang-kadang juga memiliki sifat penutup lahan alami (Lillesand dan Kiefer, 1994).

Klasifikasi tutupan lahan dan klasifikasi penggunaan lahan adalah upaya pengelompokkan berbagai jenis tutupan lahan atau penggunaan lahan dalam suatu kesamaan sesuai dengan sistem tertentu. Klasifikasi tutupan lahan dan klasifikasi penggunaan lahan digunakan sebagai pedoman atau acuan dalam proses

interpretasi citra penginderaan jauh untuk tujuan pembuatan peta tutupan lahan maupun peta penggunaan lahan.

### 3.3 Citra Satelit Landsat

Citra Landsat merupakan gambaran permukaan bumi yang diambil dari luar angkasa dengan ketinggian kurang lebih 818 km dari permukaan bumi, dengan skala 1:250.000. Dalam setiap perekaman citra landsat mempunyai cakupan area 185 km x 185 km sehingga aspek dari objek tertentu yang cukup luas dapat diidentifikasi tanpa menjelajah seluruh daerah yang disurvei atau yang diteliti. Lna

1. Saluran empat dengan panjang gelombang 0,5 – 0,6 m pada daerah spektrum biru, baik untuk mendeteksi muatan sedimen ditubuh perairan, gosong endapan suspensi, dan terumbu.
2. Saluran lima dengan panjang gelombang 0,6 -0,7 m pada daerah spektrum hijau, baik untuk mendekteksi vegetasi dan budaya.
3. Saluran enam panjang gelombang 0,7 – 0,8 pada daerah spektrum merah, baik untuk mendeteksi relief permukaan bumi, batas air dan daratan.
4. Saluran tujuh dengan panjang gelombang 0,8 – 1,1 m pada daerah dengan infra merah, yang lebih kecil untuk mendekteksi relief permukaan bumi bila dibandingkan dengan saluran enam.

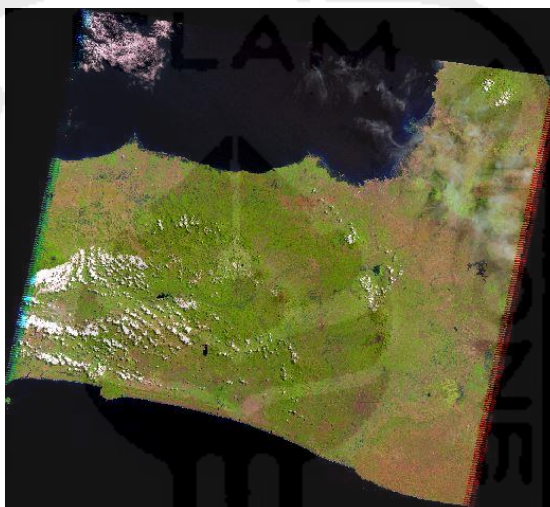
Setiap saluran dalam citra satelit memberikan makna tertentu. Warna pada citra nilai refleksi dari vegetasi, tubuh perairan dan atau tubuh batuan permukaan bumi. Oleh karena itu, interpretasi geologi melalui citra landsat lebih didasarkan pada perbedaan nilai refleksi tersebut.

#### 3.3.1 Citra Landsat 5

Landsat 5 beroperasi dengan orbit yang searah dengan matahari. Satelit ini memetakan bumi satu kali setiap 16 hari. Landsat 5 memiliki sensor *multispectral scanner* (MSS) dan *thematic mapper* (TM). *Thematic mapper* adalah sebuah kemajuan dari pengamatan *multispectral*, dirancang untuk mencapai citra yang mempunyai resolusi lebih tinggi, lebih tajam, memperbaiki kebenaran *geometric* dan akurasi *radiometric* yang lebih baik dibandingkan MSS. Sedangkan

*multispectral scanner* adalah sensor *multispectral* yang mengumpulkan data dalam dua atau lebih saluran *spectral* dari spectrum elektromagnetik.

Untuk interpretasi citra landsat perlu memilih saluran atau panduan saluran yang paling sesuai dengan tujuan. Saluran 4 (hijau) dan 5 (merah) biasanya paling baik untuk mendeteksi tutupan lahan yang ada seperti jalan dan perkotaan. Untuk analisis peta Landsat 5 menggunakan saluran 5, 4 dan 3. Gambar 3.3 dibawah ini merupakan contoh peta Landsat 5.



**Gambar 3.3 Citra satelit landsat 5**

(Sumber : <http://earthexplorer.usgs.gov/> , 2007)

### 3.3.2 Citra Landsat 7

Landsat 7 merupakan satelit dengan orbit yang selaras dengan matahari dan melintas di ekuator pada waktu lokal pukul 10.00. Satelit ini memiliki kemampuan meliputi wilayah setiap 16 hari. Citra landsat ETM (*Enhanced Thematic Mapper*) merupakan salah satu jenis citra *multispectral*. Citra landsat ETM merupakan citra penginderaan jauh yang sering digunakan pada saat ini, citra ini mempunyai 7 saluran yang terdiri dari spektrum tampak pada saluran 1, 2, dan 3. Spektrum infra merah dekat pada saluran 4, 5, dan 7 sedangkan spektrum infra merah termal pada saluran 6. Untuk analisis peta Landsat 7 menggunakan saluran 4, 3 dan 2.

**Tabel 3.1 Karakteristik Spektal**

No. Saluran	Nama Gelombang	Range Panjang Gelombang (um)
1	Biru	0,45 – 0,52
2	Hijau	0,53 – 0,61
3	Merah	0,63 – 0,69
4	Inframerah dekat	0,78 – 0,90
5	Inframerah gelombang pendek	1,55 – 1,75
6	Inframerah tengah	10,4 – 12,5
7	Inframerah gelombang pendek	2,09 – 2,35
8	Pankromatik	0,52 – 0,9

Sumber : Lillesand/Kiefer (1996)

Citra landsat ETM ini juga memiliki karakteristik spasial yang ditandai dengan resolusi spasial yang digunakan sensor untuk mendeteksi obyek. Resolusi spasial sendiri adalah daya pilah sensor yang diperlukan untuk bisa membedakan obyek-obyek yang ada dipermukaan bumi (Lillesand/Keifer, 1996). Gambar 3.4 berikut ini adalah contoh citra satelit Landsat 7.





**Gambar 3.4 Citra satelit landsat 7**  
(Sumber : <http://earthexplorer.usgs.gov/> , 2007)

### 3.3.3 Citra Landsat 8

Landsat 8 merupakan kelanjutan dari misi Landsat 7 dengan karakteristik yang mirip dengan Landsat 7, baik resoluisnya ( spasial, temporal, spektral), metode koreksi, ketinggian terbang maupun karakteristik sensor yang dibawa. Hanya saja ada beberapa tambahan yang menjadi titik penyempurnaan dari Landsat 7 seperti jumlah *band*, rentang spektrum gelombang elektromagnetik terendah yang dapat ditangkap sensor serta nilai bit (rentang nilai digital number) dari tiap piksel citra. Satelit Landsat 8 terbang pada ketinggian 705 km dari permukaan bumi dan memiliki area scan seluas 170 km x 183 km.

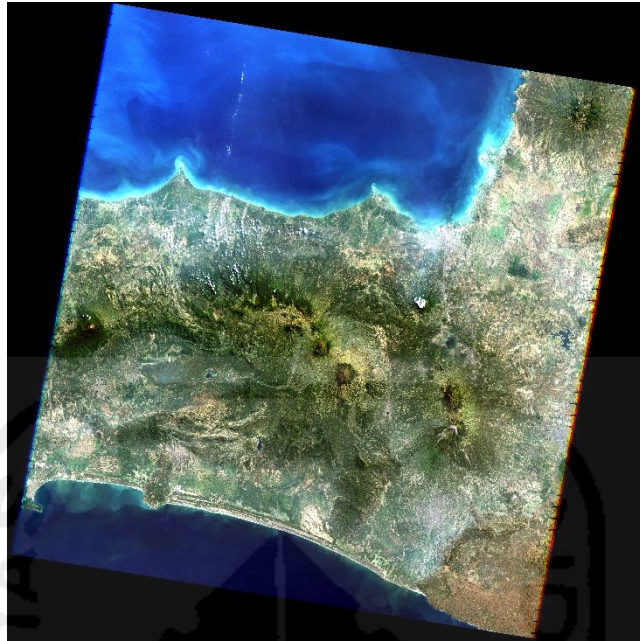
Satelit Landsat 8 memiliki sensor *onboard operational land imager* (OLI) dan *thermal infrared sensor* (TIRS) dengan jumlah kanal 11 buah. Diantara kanal-kanal tersebut, 9 kanal ( *band* 1-9) berada pada OLI dan 2 lainnya (*band* 10 dan 11) pada TIRS. Untuk analisis peta Landsat 8 menggunakan saluran 6, 5 dan 3. Sebagian besar kanal memiliki spesifikasi mirip dengan Landsat 7. Jenis kanal, panjang gelombang dan resolusi spasial setiap band pada Landsat 8 dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.2 Spesifikasi Kanal-kanal Spektral Sensor Pencitra LDCM**

No Kanal	Kanal	Kisaran Spektral (nm)	Penggunaan Data	GSD (resolusi spasial)	Radiance (W/m <sup>2</sup> srµm), typical	SNR (typical)
1	Biru	433-453	<i>Aerosol/coastal zone</i>	30 m	40	130
2	Biru	450-515	<i>Pigment/scatter/coastal</i>	30m (kanal-kanal wari-sanTM)	40	130
3	Hijau	525-600	<i>Pigments/coastal</i>		30	100
4	Merah	630-680	<i>Pigments/coastal</i>		22	90
5	Infra merah dekat (NIR)	845-885	<i>Foliage/ coastal</i>		14	90
6	SWIR 2	1560-1660	<i>Foliage</i>		4.0	100
7	SWIR 3	2100-2300	<i>Minerals/litter/no scatter</i>		1.7	100
8	PAN	500-680	<i>Image sharpening</i>	15 m	23	80
9	SWIR	1360-1390	<i>Cirruscloud detection</i>	30 m	6.0	130

Sumber : USGS (United States Geological Survey)

Untuk mempermudah pemahaman mengenai citra satelit Landsat 8, maka dapat dilihat pada contoh Gambar 3.5 berikut ini.



**Gambar 3.5 Citra satelit Landsat 8**  
 ( Sumber : <http://earthexplorer.usgs.gov/>, 2013)

**Tabel 3.3 Perbandingan Parameter-parameter Spektral Sensor Pecindra  
 OLI/LDCM (Landsat-8) dan ETM+/Landsat-7**

OLI (LDCM)			ETM+ (Landsat-7)		
No. Kanal spectral	Panjang gelombang ( $\mu\text{m}$ )	GSD (m)	No. Kanal spectral	Panjang Gel ( $\mu\text{m}$ )	GSD (m)
8 (PAN)	0.500 - 0.680	15	8 (PAN)	0.52 - 0.90	15
1	0.433 - 0.453	30			
2	0.450 - 0.515	30	1	0.45 - 0.52	30
3	0.525 - 0.600	30	2	0.53 - 0.61	30
4	0.630 - 0.680	30	3	0.63 - 0.69	30
			4	0.78 - 0.90	30
5	0.845 - 0.885	30			
9	1.360 - 1.390	30			
6	1.560 - 1.660	30	5	1.55 - 1.75	30

**Lanjutan Tabel 3.3 Perbandingan Parameter-parameter Spektral Sensor  
Pecitra OLI/LDCM (Landsat-8) dan ETM+/Landsat-7**

OLI (LDCM)			ETM+ (Landsat-7)		
No. Kanal spectral	Panjang gelombang ( $\mu\text{m}$ )	GSD (m)	No. Kanal spectral	Panjang Gel ( $\mu\text{m}$ )	GSD (m)
7	2.100 - 2.300	30	7	2.09 - 2.35	30
Kemampuan pencitraan OLI tidak termasuk thermal			6 (TIR)	10.40 - 12.50	60

### 3.4 Klasifikasi Citra

Ini merupakan tahap terakhir dalam pengolahan citra. Proses ini bertujuan untuk membagi daerah cakupan berdasarkan jenis objeknya dengan cara menginterpretasi kenampakannya di atas citra dan menyatakannya dengan simbol tertentu. Dari proses ini dapat dihasilkan suatu peta tematik yang sangat berarti bagi keperluan perencanaan selanjutnya (Soernamo, 2009)

Proses pengklasifikasian citra satelit biasa dilakukan secara terawasi (*supervised classification*) dan tak terawasi (*unsupervised*). Pada metode yang pertama, identitas dan lokasi dari suatu liputan lahan seperti lahan pertanian, hutan, dan perkotaan telah diketahui melalui pemeriksaan lapangan atau interpretasi dari foto udara. Analisa diarahkan untuk melokalisasi tempat spesifiknya di citra dengan mencari sampel areanya (*training site*). Pemilihan metode yang cocok untuk penentuan kelas dari piksel tergantung sifat dari masukan data dan keluaran yang diharapkan. Metode yang umum digunakan adalah sebagai berikut.

1. Paralel-Epipedum

Metode ini merupakan metode yang sering digunakan. Harga rata-rata nilai numerik piksel dari suatu *training site* dan harga titik tengahnya merupakan informasi yang sangat penting. Harga ini didapat dari setiap *training site* pada setiap *band* yang disertakan.

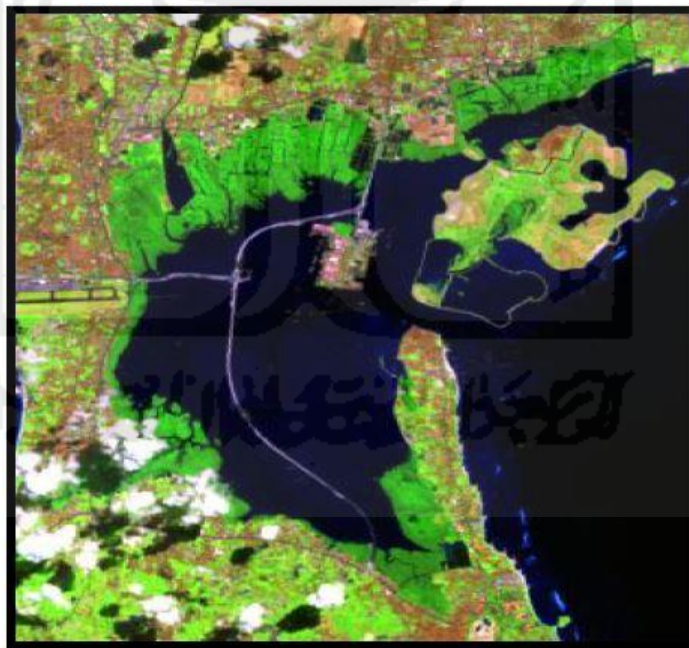
2. Jarak terdekat

Keputusan mengenai kelas setiap piksel didasarkan pada selisih nilai pikselnya (jarak) terhadap nilai piksel rata-rata kelas yang diketahui. Jarak cukup dihitung dengan rumus *pythagoras*.

### 3. Kemiripan maksimum

Cara ini membandingkan nilai piksel dengan nilai *training site* dengan asumsi bahwa sebaran pikselnya terdistribusi secara normal. Bila kemiripan nilai maksimum, maka piksel tersebut akan dikelompokkan pada kelas tersebut.

Pada metode tak terawasi, sebagai cara alternatif piksel dengan nilai sejenis atau saling mempunyai kedekatan tertentu akan bergabung menjadi satu kelas. Dengan demikian akan terjadi beberapa kelas dengan nilai spektral tertentu. Pada cara ini, *training site* ditentukan secara otomatis. Proses klasifikasi tak terawasi dilakukan dengan mengelompokkan piksel berdasarkan kedekatannya (jarak spektral) antar piksel. Bila jarak spektral kurang dari harga yang ditentukan, maka piksel tersebut akan digabungkan menjadi satu kelompok. Untuk memperjelas pengetahuan mengenai klasifikasi citra, maka dapat dilihat pada contoh Gambar 3.6 sebagai berikut.

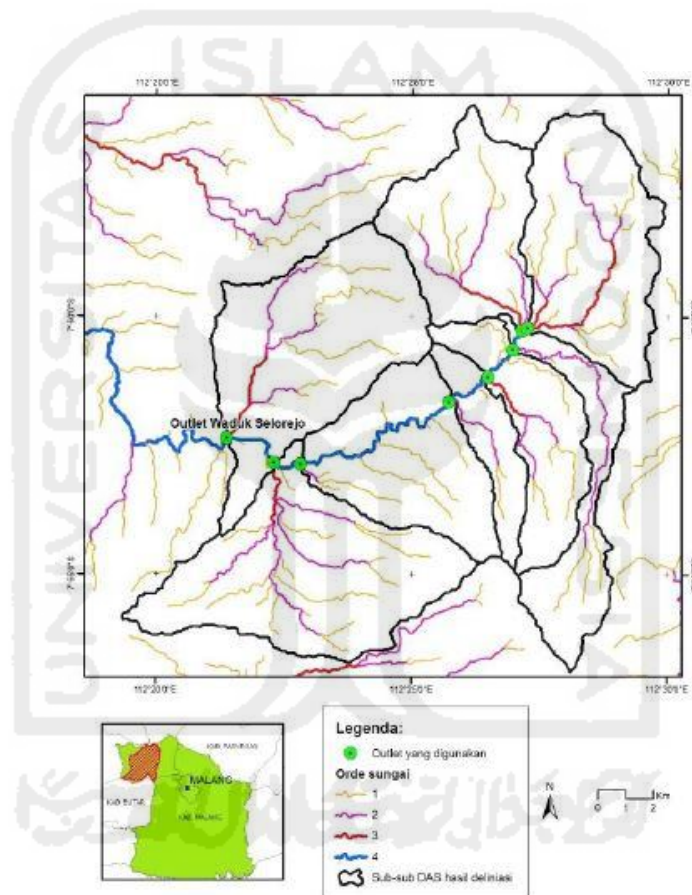


**Gambar 3.6 Hasil analisis dan Interpretasi Citra Landsat 8 Komposit 653 (RGB)**

( Sumber : Amrullah dkk, 2015)

### 3.5 Analisis Delineasi DAS

Analisa DAS mengacu pada proses menggunakan DEM (*Digital Elevation Model*) dan operasi data raster untuk menggambarkan daerah aliran sungai dan untuk mendapatkan fitur seperti sungai, jaringan sungai, daerah resapan, dan cekungan. Delineasi DAS dapat terjadi pada skala spasial berbeda. Sebuah DAS besar dapat mencakup seluruh sistem sungai dan dalam DAS mungkin ada aliran sungai kecil. Gambar 3.7 berikut ini merupakan contoh delineasi daerah aliran sungai.



**Gambar 3.7 Delineasi sub-sub DAS hulu Konto**  
( Sumber : Rumada dkk, 2015)

#### 3.5.1 Digital Elevation Model (DEM)

*Digital elevation model* merupakan suatu sistem, model, metode, dan alat dalam mengumpulkan, prosesing, dan penyajian informasi medan. Susunan nilai-nilai digital yang mewakili distribusi spasial dari karakteristik medan, distribusi spasial diwakili oleh nilai-nilai pada sistem koordinat horizontal X, Y, dan

karakteristik medan mewakili oleh ketinggian medan dalam sistem koordinat Z (Frederic J. Doyle, 1991). Berikut ini aplikasi penggunaan *Digital Elevation Model*.

#### 1. Klasifikasi penggunaan lahan

*Digital elevation model* membantu klasifikasi penutup lahan dengan mengaitkan data kemiringan dan aspek yang dilakukan pada data Landsat MSS. Akurasi pengenalan meningkat dari 46% menjadi 75% dengan kombinasi citra landsat MSS dan DEM. Penentuan penutup lahan (jenis tanaman) berdasarkan ketinggian, serta membuat rekayasa pembuatan sawah terasering pada lahan yang berlereng miring sampai curam.

#### 2. Hidrologi

Untuk keperluan hidrologi, DEM digunakan untuk analisis sebagai berikut.

- a. Aliran *run off*
- b. Estimasi volume reservoir
- c. Pemodelan banjir dan sedimentasi
- d. Batas daerah aliran sungai
- e. Pola aliran

#### 3.5.2 Langkah-langkah Pembuatan Batas DAS

Langkah pembuatan batas pada suatu DAS adalah sebagai berikut.

##### 1. Akuisi *Digital Elevation Model* (DEM)

Masukan pertama yang diperlukan untuk analisis DAS adalah data DEM. Dalam DEM, setiap sel dari lapisan raster GIS memiliki nilai sesuai dengan elevasi (z-nilai pada interval jarak teratur). Data DEM berisi ketinggian medan di wilayah tertentu, biasanya pada *interval grid* yang tetap selama "*Bare Earth*".

##### 2. Arah aliran air

Penentuan arah aliran antar *pixel* dilakukan dengan membandingkan ketinggian relatif satu *pixel* terhadap 8 *pixel* disekelilingnya. Selanjutnya, arah aliran ditentukan dari kemiringan tercuram terhadap *pixel* disekelilingnya.



### 3. Akumulasi aliran air

Langkah ini untuk menentukan akumulasi aliran air yang merupakan lokasi di mana beberapa arah air bergabung menjadi arah aliran baru atau membentuk daerah yang diprediksi menjadi sungai.

### 4. Menentukan garis sungai (DAS)

Menentukan garis sungai yang sebenarnya dari lapisan akumulasi aliran dengan *spatial analyst raster calculator*. Daerah aliran sungai (DAS) adalah air yang mengalir pada suatu kawasan yang dibatasi oleh titik-titik tertinggi. Di mana air tersebut berasal dari air hujan yang jatuh kemudian mengalir dan mengumpul pada aliran yang sama.

## 3.6 Analisis Hujan

Dalam sebuah analisis tentunya diperlukan data-data yang mendukung penelitian sehingga data yang diperlukan harus terlebih dahulu dikumpulkan dari instansi-instansi terkait. Setelah data tersedia maka langkah selanjutnya dilakukan analisis, dalam penentuan banjir rancangan analisis dimulai dari data hujan, penentuan hujan kawasan, analisis frekuensi, dan analisis intensitas hujan.

### 3.6.1 Hujan Kawasan

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat atau titik saja (*point rainfall*). Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat, maka untuk kawasan yang luas, satu alat penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan wilayah tersebut. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam dan atau di sekitar kawasan tersebut. Untuk menghitung hujan rata-rata kawasan dapat digunakan metode *Thiessen*.

Metode *Thiessen* memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Metode *Thiessen* mempunyai bentuk sebagai berikut.



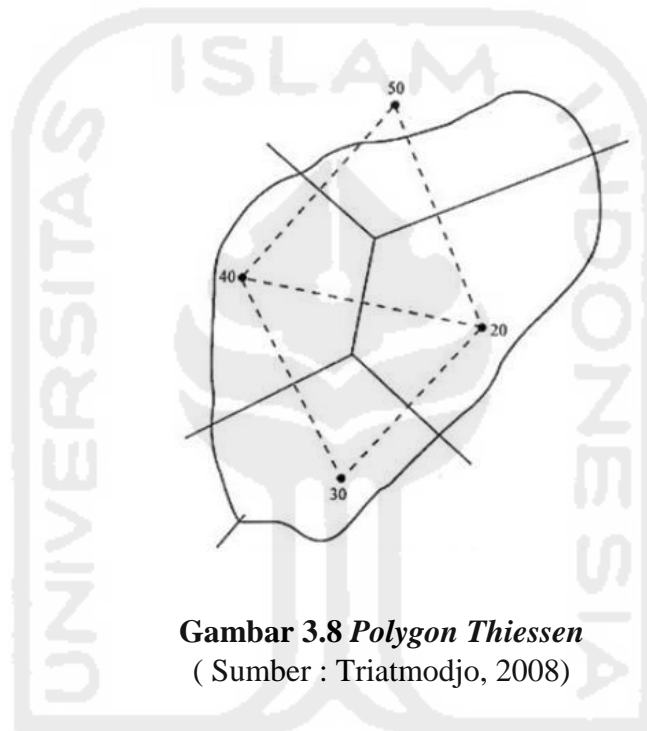
$$\bar{P} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3.1)$$

Keterangan :

$\bar{P}$  = hujan rerata kawasan

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  = hujan di stasiun 1,2,3,...,n

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas daerah yang mewakili stasiun 1,2,3,...,n



**Gambar 3.8 Polygon Thiessen**  
( Sumber : Triatmodjo, 2008)

### 3.7 Analisis Frekuensi

Dalam melakukan analisis hidrologi sering dihadapkan kejadian-kejadian ekstrim seperti banjir dan kekeringan. Tujuan dari analisis frekuensi data hidrologi adalah mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Besarnya kejadian ekstrim mempunyai hubungan terbalik dengan probabilitas kejadian, misalnya frekuensi kejadian debit banjir besar adalah lebih kecil dibanding dengan frekuensi debit-debit sedang atau kecil.

Dengan analisis frekuensi akan diperkirakan besarnya banjir dengan interval kejadian tertentu seperti 10 tahunan, 100 tahunan atau 1000 tahunan.

Analisis frekuensi dapat diterapkan untuk data debit sungai atau data hujan. Data yang digunakan adalah data debit atau hujan maksimum tahunan, yaitu data terbesar yang terjadi selama satu tahun, yang terukur selama beberapa tahun. Ada dua macam seri data yang digunakan dalam analisis frekuensi yaitu :

1. Data maksimum tahunan

Pada pengambilan data ini diambil setiap tahun hanya satu besaran maksimum yang dianggap berpengaruh pada analisis selanjutnya. Dalam cara ini, besaran data maksimum kedua dalam suatu tahun yang mungkin lebih besar dari besaran data maksimum dalam tahun yang lain tidak diperhitungkan pengaruhnya terhadap analisis.

2. Seri parsial

Dengan menetapkan suatu besaran tertentu sebagai batas bawah, selanjutnya semua besaran data yang lebih besar dari batas bawah tersebut diambil dan dijadikan bagian seri data untuk kemudian dianalisis seperti biasa. Besaran data diurutkan dari besar ke kecil.

3.7.1 Tedensi sentral

Nilai rerata (*average*) merupakan nilai yang cukup representatif dalam suatu distribusi. Nilai rerata dapat digunakan untuk pengukuran suatu distribusi dan mempunyai bentuk berikut ini.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \tag{3.2}$$

keterangan :

$\bar{x}$  = rerata

$x_i$  = variable random

$N$  = jumlah data

3.7.2 Dispersi

Tidak semua variat dari variabel hidrologi sama dengan nilai reratanya, ada yang lebih besar atau lebih kecil. Penyebaran data dapat diukur dengan deviasi standar dan varian. Varian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.3)$$

di mana  $s^2$  adalah varian. Akar dari varian  $s$  adalah deviasi standar.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.4)$$

Koefisien varian adalah nilai perbandingan dengan deviasi standar dan nilai rerata, yang mempunyai bentuk sebagai berikut.

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (3.5)$$

Kemencengan (*skewness*) dapat digunakan untuk mengetahui derajat ketidak-simetrikan dari suatu bentuk distribusi. Kemencengan diberikan oleh bentuk berikut:

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad (3.6)$$

Koefisien asimetri diberikan oleh bentuk berikut.

$$C_s = \frac{a}{s^3} \quad (3.7)$$

Koefisien kurtosis diberikan oleh persamaan berikut.

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \quad (3.8)$$

### 3.7.3 Periode Ulang

Periode ulang didefinisikan sebagai waktu hipotetik di mana debit atau hujan dengan suatu besaran tertentu ( $X_T$ ) akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut dan dikenal sebagai debit/hujan dengan periode  $T$  tahun atau debit/hujan  $T$  tahunan. Curah hujan rancangan adalah curah hujan harian maksimum yang mungkin terjadi dalam periode waktu tertentu misal 5 tahunan, 10 tahunan dan seterusnya. Ada banyak banyak cara untuk analisis periode ulang hujan maksimum antara lain distribusi Gumbel, Log Pearson III, Lognormal, dan normal.

## 3.8 Distribusi Probabilitas Kontinyu

Hasil yang diperoleh dari analisis frekuensi tergantung kualitas dan panjang data. Makin pendek data yang tersedia, makin besar penyimpangan yang terjadi. Ada empat macam distribusi frekuensi yang sering digunakan dalam bidang hidrologi yaitu distribusi normal, log normal, *Gumbel*, Log Pearson III.

### 3.8.1 Distribusi Normal

Distribusi normal adalah simetris terhadap sumbu vertikal dan berbentuk lonceng disebut juga distribusi Gauss. Sri Harto (1993) memberikan sifat-sifat distribusi normal, yaitu nilai koefisien kemencengan (*skewness*) sama dengan nol ( $C_s \approx 0$ ) dan nilai koefisien kumulatif berikut ini.

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

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

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

### 3.8.2 Distribusi Log Normal

Distribusi log normal digunakan apabila nilai-nilai dari variabel random tidak mengikuti distribusi normal, tetapi nilai logaritmanya memenuhi distribusi normal. Sri Harto (1993) memberikan sifat-sifat distribusi log normal sebagai berikut.

$$\text{Nilai kemencengan} : C_s = C_v^3 + 3C_v \quad (3.9)$$

$$\text{Nilai kortosis} : C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3 \quad (3.10)$$

### 3.8.3 Distribusi Gumbel

Metode ini digunakan untuk analisis data maksimum, seperti untuk analisis banjir. Distribusi Gumbel mempunyai sifat bahwa :

$$\text{Koefisien } skewness : C_s = 1,14$$

$$\text{Koefisien } kurtosis : C_k = 5,4$$

Berikut ini bentuk lain dari persamaan Gumbel

$$x = \bar{x} + Ks \quad (3.11)$$

dengan K adalah frekuensi faktor yang bisa dihitung dengan persamaan berikut :

$$y = y_n + K\sigma_n \quad (3.12)$$

dengan y adalah faktor reduksi Gumbel,  $y_n$  dan  $\sigma_n$  adalah nilai rerata dan deviasi standar dari variat Gumbel.

### 3.8.4 Distribusi Log Pearson III

Bentuk distribusi log Pearson III merupakan hasil transformasi dari Pearson III dengan transformasi variat menjadi nilai log. Distribusi log Pearson III digunakan apabila parameter statistik  $C_s$  dan  $C_k$  mempunyai nilai selain dari parameter statistik untuk distribusi yang lain (normal, log normal, dan Gumbel). Penggunaan metode log Pearson III dilakukan dengan menggunakan langkah-langkah berikut ini.

1. Data debit banjir maksimum tahunan disusun dalam tabel.
  2. Hitung nilai logaritma dari data debit banjir tersebut dengan transformasi :
3. Hitung nilai rerata  $\bar{y}$ , deviasi standar  $s_y$ , koefisien kemencengan  $C_s$  dari nilai logaritma  $y_i$ .
4. Dihitung nilai  $y_j$  untuk berbagai periode ulang yang dikehendaki dengan menggunakan persamaan :

$$y_i = \log x_i \quad (3.13)$$

$$y_T = \bar{y} + K_T S_y \quad (3.14)$$

dengan :

$y_T$  = nilai logaritmik dari x dengan periode ulang  $T$

$\bar{y}$  = nilai rerata dari  $y_i$

$S_y$  = deviasi standar  $y_i$

$K_T$  = faktor frekuensi

5. Hitung debit banjir  $X_T$  untuk setiap periode ulang dengan menghitung nilai anti lognya.

$$X_T = \text{arc ln } y \quad (3.15)$$

atau

$$X_T = \text{arc log } y \quad (3.16)$$

### 3.8.5 Penentuan Jenis Distribusi

Penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter statistik dengan syarat masing-masing jenis distribusi. Berikut ini adalah parameter statistik yang ditunjukkan dalam Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi**

No	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	$(\bar{x} \pm s) = 68,27\%$ $(\bar{x} \pm 2s) = 95,44\%$ $C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
4	Log Pearson III	Selain dari nilai di atas

Sumber : Triatmodjo (2008)

### 3.9 Hujan Rancangan

Air hujan yang turun dari atmosfer, jika tidak ditangkap oleh vegetasi atau oleh permukaan-permukaan buatan seperti atap bangunan atau lapisan kedap air lainnya maka air akan mengalir menjadi limpasan. Limpasan merupakan gabungan antara aliran permukaan, aliran yang tertunda dalam cekungan, dan aliran bawah permukaan. Persamaan berikut ini untuk menghitung hujan rancangan.

$$X_T = \bar{X} + K.S \quad (3.17)$$

Keterangan :

$X_T$  = intensitas hujan maksimum dengan kala ulang T tahun

$\bar{X}$  = nilai rerata dari  $x$

K = faktor frekuensi

S = deviasi standar

#### 3.9.1 Metode SCS (*Soil Conservation Service*) untuk Menghitung Hujan Efektif

*The Soil Conservation Service* (SCS, 1972, dalam Chow 1988) telah mengembangkan metode untuk menghitung hujan efektif dari hujan deras, dalam bentuk persamaan berikut.

$$P_e = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \quad (3.18)$$

Keterangan :

$P_e$  = kedalaman hujan efektif (mm)

$P$  = kedalaman hujan (mm)

$S$  = retensi potensial maksimum air oleh tanah, yang sebagian besar adalah karena infiltrasi

Persamaan (3.18) merupakan persamaan dasar untuk menghitung kedalaman hujan efektif. Retensi potensial maksimum mempunyai bentuk sebagai berikut.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.19)$$

Dengan CN adalah *curve number* yang merupakan fungsi dari karakteristik DAS seperti tipe tanah, tanaman penutup, tata guna lahan, kelembaban dan cara pengerjaan tanah. Nilai CN untuk berbagai jenis tata guna lahan diberikan dalam Tabel 3.5.

**Tabel 3.5 Nilai *curve number* untuk beberapa tata guna lahan**

No	Nama Unsur	Kondisi Hidrologi	Kelompok Tanah	Nilai CN	No	Nama Unsur	Kondisi Hidrologi	Kelompok Tanah	Nilai CN
1	Rumput	Poor	A	68	6	Belukar	Poor	A	63
			B	79				B	77
			C	86				C	85
			D	89				D	88
		Fair	A	49			Fair	A	55
			B	69				B	72
			C	79				C	81
			D	84				D	86
		Good	A	39			Good	A	49
			B	61				B	68
			C	74				C	79
			D	80				D	84
2	Perkebunan	Poor	A	57	7	Tegalan	Poor	A	66
			B	73				B	77
			C	82				C	85
			D	86				D	89
		Fair	A	43			Fair	A	62
			B	65				B	74
			C	76				C	83
			D	82				D	87
		Good	A	32			Good	A	58



Lanjutan Tabel 3.5 Nilai *curve number* untuk beberapa tata guna lahan

			B	58				B	72
			C	72				C	81
			D	79				D	85
3	Sawah Irigasi	Poor	A	65	8	Hutan	Poor	A	45
			B	76				B	66
			C	84				C	77
			D	88				D	83
		Fair	A	64			Fair	A	36
			B	75				B	60
			C	83				C	73
			D	87				D	79
		Good	A	63			Good	A	30
			B	75				B	55
			C	83				C	70
			D	83				D	77
4	Sawah Tadah Hujan	Poor	A	65	9	Lahan Kosong	Poor	A	77
			B	76				B	86
			C	84				C	91
			D	88				D	94
		Fair	A	64			Fair	A	76
			B	75				B	85
			C	83				C	90
			D	87				D	93
		Good	A	63			Good	A	74
			B	75				B	83

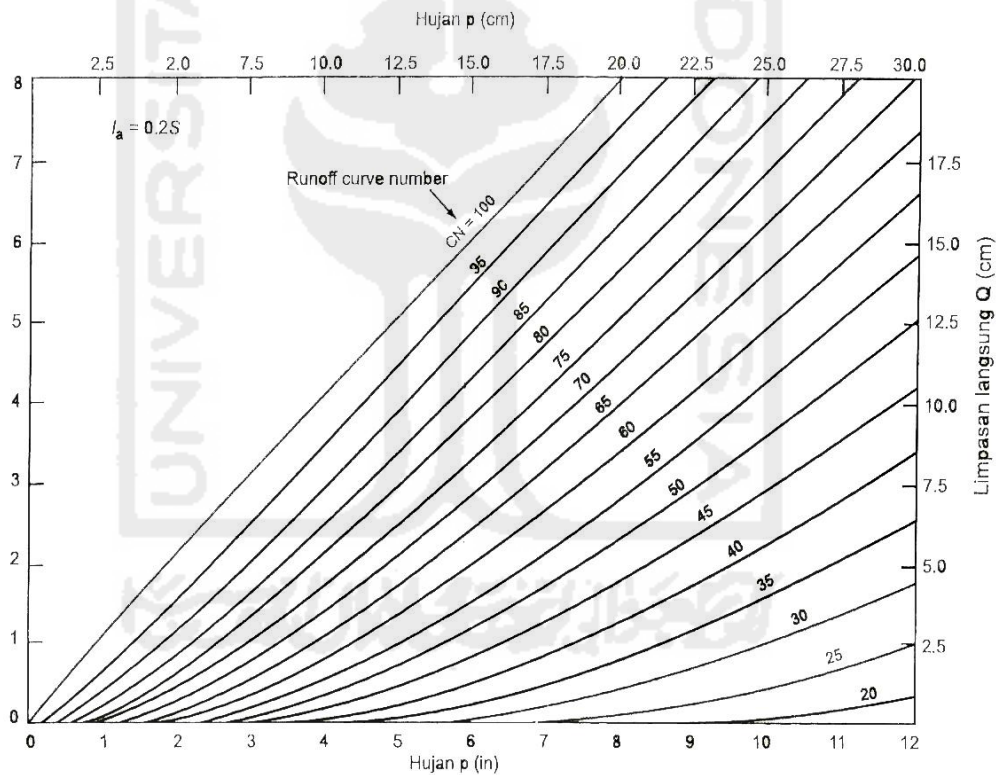
**Lanjutan Tabel 3.5 Nilai *curve number* untuk beberapa tata guna lahan**

			C	83				C	88
			D	83				D	90
5	Pemukiman	-	A	89	10	Tubuh Air	-	-	100
			B	92					
			C	94	11	Bangunan/Gedung	-	-	98
			D	95					

Sumber : Sekolah Pascasarjana Program Studi Teknik Sipil FT UGM (2009)



Gambar 3.9 memberikan hubungan antara hujan kumulatif dan hujan efektif untuk berbagai nilai  $CN$ . Nilai  $CN$  bervariasi antara 0 sampai 100. Untuk  $CN = 100$  (permukaan lahan kedap air), dari persamaan (3.19) diperoleh nilai  $S = 0$  dan dari persamaan (3.18) diperoleh  $P_e = P$ . Artinya hujan efektif sama dengan hujan total yang selanjutnya berubah menjadi limpasan langsung. Nilai  $CN$  dalam Tabel 3.5 diperoleh dari penelitian di daerah yang beriklim sedang. Namun nilai tersebut dapat digunakan apabila nilai  $CN$  di daerah diteliti belum tersedia. Apabila lahan terdiri dari beberapa tataguna lahan dan tipe tanah maka dihitung dengan nilai  $CN$  komposit.



**Gambar 3.9 Hujan efektif sebagai fungsi hujan dan  $CN$**

(Sumber : Triatmodjo,2008)

Nilai  $CN$  dalam Gambar 3.9 berlaku untuk *antecedent moisture conditions* (kondisi kelengasan awal) normal ( $AMC$  II). Untuk kondisi kering ( $AMC$  I) atau kondisi

basah (*AMC III*), nilai *CN* ekuivalen dapat dihitung dengan persamaan (3.20) dan (3.21).  
Tabel 3.6 memberikan *AMC* untuk masing-masing kelas.

$$CN(I) = \frac{4,2 CN(II)}{10 - 0,058CN(II)} \quad (3.20)$$

dan

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0,13CN(II)} \quad (3.21)$$

**Tabel 3.6 Memberikan *AMC* untuk masing-masing kelas**

Kelas <i>AMC</i>	Jumlah hujan selama 5 hari terdahulu (cm)	
	Musim kering	Musim semi
I	Kurang dari 1,3	Kurang dari 3,6
II	1,3 sampai 2,8	3,6 sampai 5,3
III	Lebih dari 2,8	Lebih dari 5,3

Sumber : Triatmodjo (2008)

Selain itu jenis tanah juga sangat berpengaruh terhadap nilai hujan efektif. Tanah berpasir mempunyai nilai infiltrasi tinggi sehingga hujan efektif kecil. Sebaliknya nilai infiltrasi tanah lempung sangat kecil sehingga sebagian besar hujan yang jatuh di permukaan tanah menjadi limpasan permukaan. Jenis tanah dibagi dalam empat kelompok yaitu :

1. Kelompok A : terdiri dari tanah dengan potensi limpasan rendah, mempunyai laju infiltrasi tinggi. Terutama pada tanah pasir (*deep sand*) dengan *silty* dan *clay* sangat sedikit; juga kerikil (*gravel*) yang sangat lulus air.
2. Kelompok B : terdiri dari tanah dengan potensi limpasan agak rendah, laju infiltrasi sedang. Tanah berbutir sedang (*sandy soils*) dengan laju meloloskan air sedang.

3. Kelompok C : terdiri dari tanah dengan potensi limpasan agak tinggi, laju infiltrasi lambat jika tanah tersebut sepenuhnya basah. Tanah berbutir sedang sampai halus (*clay* dan *colloids*) dengan laju meloloskan air lambat.
4. Kelompok D : terdiri dari tanah dengan potensi limpasan tinggi, mempunyai laju infiltrasi sangat lambat. Terutama tanah liat (*clay*) dengan daya kembang (*swelling*) tinggi, tanah dengan muka air tanah permanen tinggi, tanah dengan lapis lempung di dekat permukaan dan tanah yang dilapisi dengan bahan kedap air sangat lambat.

Tabel 3.7 memberikan klasifikasi tanah untuk berbagai jenis tanah. Dalam tabel tersebut juga diberikan perkiraan laju infiltrasi minimumnya.

**Tabel 3.7 Klasifikasi tanah secara hidrologi berdasar tekstur tanah**

Tekstur tanah	Laju Infiltrasi Minimum (mm/jam)	Pengelompokkan Tanah Secara Hidrologi
<i>Sand</i>	210	A
<i>Loamy Sand</i>	61	A
<i>Sandy Loam</i>	26	B
<i>Loam</i>	13	B
<i>Silty Loam</i>	6,9	C
<i>Sandy Clay Loam</i>	4,3	C
<i>Silty Clay Loam</i>	2,3	D
<i>Clay Loam</i>	1,5	D
<i>Sandy Clay</i>	1,3	D
<i>Silty Clay</i>	1,0	D
<i>Clay</i>	0,5	D

Sumber : Triatmodjo (2008)

Kondisi lahan ditentukan dari kemiringan/kelerengan lahan. Kondisi *poor* menunjukkan bahwa keadaan lahan pada saat terjadinya hujan memberikan volume limpasan yang besar. Kondisi *fair* memberikan volume limpasan sedang. Kondisi *good* memberikan volume limpasan yang kecil. Berikut ini adalah kemiringan/kelerengan dari berbagai kondisi lahan.

1. *Good* = kemiringan lahan 0 – 15%
2. *Fair* = kemiringan lahan 15 – 40%
3. *Poor* = kemiringan lahan > 40%

Namun untuk kondisi sawah, tegalan/ladang dan tanah kosong digunakan kondisi lahan sebagai berikut.

1. *Good* = kemiringan lahan 0 – 25%
2. *Poor* = kemiringan lahan > 25%

### 3.10 Hidrograf Satuan Sintetis

Di daerah dengan data hidrologi tidak tersedia untuk menurunkan hidrograf satuan, maka dibuat hidrograf satuan sintetis yang didasarkan pada karakteristik fisik DAS. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode SCS (*Soil Conservation Service*).

#### 3.10.1 Metode SCS (Soil Conservation Service)

*Soil conservation service* menggunakan hidrograf tak berdimensi yang dikembangkan dari analisis sejumlah besar hidrograf satuan dari data lapangan dengan berbagai ukuran DAS dan lokasi berbeda.

Ordinat hidrograf satuan untuk periode waktu berbeda dapat diperoleh dari tabel berikut, dengan nilai ( Gupta, 1989) dalam Triatmodjo (2008).

$$Q_p = \frac{0,208A}{Pr} \quad (3.22)$$

$$P_r = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (3.23)$$

Keterangan :

$Q_p$  = debit puncak ( $m^3/detik$ )

$P_r$  = waktu puncak (jam)

$t_p$  = lag time

$A$  = luas DAS ( $km^2$ )

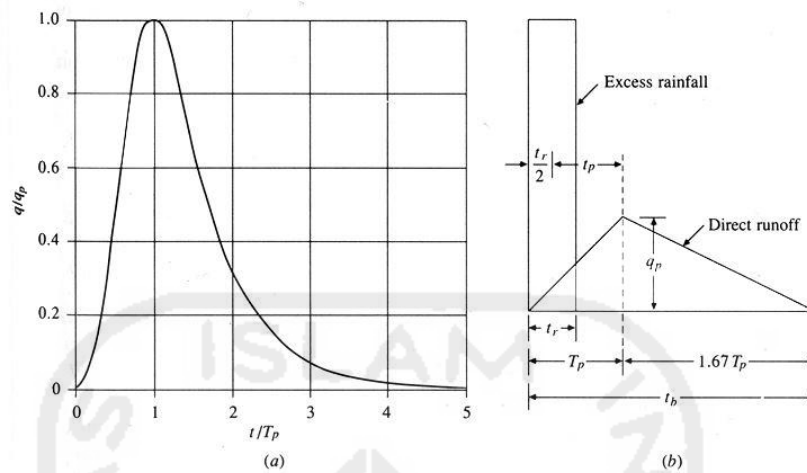
$t_r$  = durasi hujan efektif

**Tabel 3.8 Hidrograf satuan metode SCS**

$t/p_r$	$Q/Q_p$	$t/p_r$	$Q/Q_p$	$t/p_r$	$Q/Q_p$
0	0	1,0	1,0	2,4	0,18
0,1	0,015	1,1	0,98	2,6	0,13
0,2	0,075	1,2	0,92	2,8	0,098
0,3	0,16	1,3	0,84	3,0	0,075
0,4	0,28	1,4	0,75	3,5	0,036
0,5	0,43	1,5	0,66	4,0	0,018
0,6	0,60	1,6	0,56	4,5	0,009
0,7	0,77	1,8	0,42	5	0,004
0,8	0,89	2,0	0,32		0
0,9	0,97	2,2	0,24		

Sumber : Triatmodjo (2008)

Gambar 3.10 (a) menunjukkan hidrograf tidak berdimensi dibuat dari hidrograf satuan berbagai daerah aliran sungai. Nilai  $q_p$  dan  $T_p$  dapat diperkirakan dengan menggunakan model sederhana dari hidrograf satuan berbentuk segitiga seperti pada Gambar 3.10 (b), waktu dalam jam dan debit dalam  $m^3/detik.cm$



**Gambar 3.10 SCS Unit Hydrograph**

(Sumber : Chow dkk, 1998)

### 3.11 Hujan Harian Rancangan Terdistribusi

Hujan kala ulang dianggap tercatat selama 24 jam. Untuk mendapatkan besaran hidrograf banjir rancangan, hujan tersebut ( $R_{24}$ ) perlu didistribusikan secara temporal (jam-jaman). Perhitungan hujan harian rancangan terdistribusi menggunakan cara *Alternating Block Method* (ABM). Metode ini diperlukan dengan menggunakan penetapan durasi hujan dengan menggunakan persamaan *Kirpich* (1940) dalam Suripin (2004) sebagai berikut.

$$T_c = \left( \frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \quad (3.24)$$

Keterangan :

$T_c$  = waktu konsentrasi (jam)

$L$  = panjang sungai (km)

$S$  = kemiringan sungai (m/m)



### 3.11.1 Rumus Mononobe

Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia dan yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus Mononobe. Berikut ini adalah rumus Mononobe.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.25)$$

Keterangan :

$I$  = intensitas hujan (mm/jam)

$t$  = lamanya hujan (jam)

$R_{24}$  = curah hujan maksimum harian (selama 24 jam) (mm).

### 3.12 Menghitung Aliran Dasar

Untuk memperkirakan aliran dasar dipergunakan persamaan pendekatan berikut ini. Persamaan ini merupakan pendekatan untuk aliran dasar yang tetap, dengan memperhatikan pendekatan Kraijenhoff van der Leur (1967) dalam Sri Harto Br (1993) tentang hidrograf air tanah.

$$BF = 0,4751 A^{0,6444} D^{0,9430} \quad (3.26)$$

Keterangan :

$BF$  = Aliran Dasar ( $m^3/detik$ )

$A$  = Luas ( $Km^2$ )

$D$  = Kerapatan jaringan Kuras ( $Km/Km^2$ )

### 3.13 Menghitung Debit Banjir

Debit banjir diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

$$H_T = UH \times P_e + BF \quad (3.27)$$

Keterangan :

$H_T$  = Hidrograf banjir rencana

$UH$  = Unit Hidrograf

$P_e$  = Hujan rencana dengan kala ulang tertentu

$BF$  = *Baseflow* ( aliran dasar)

