

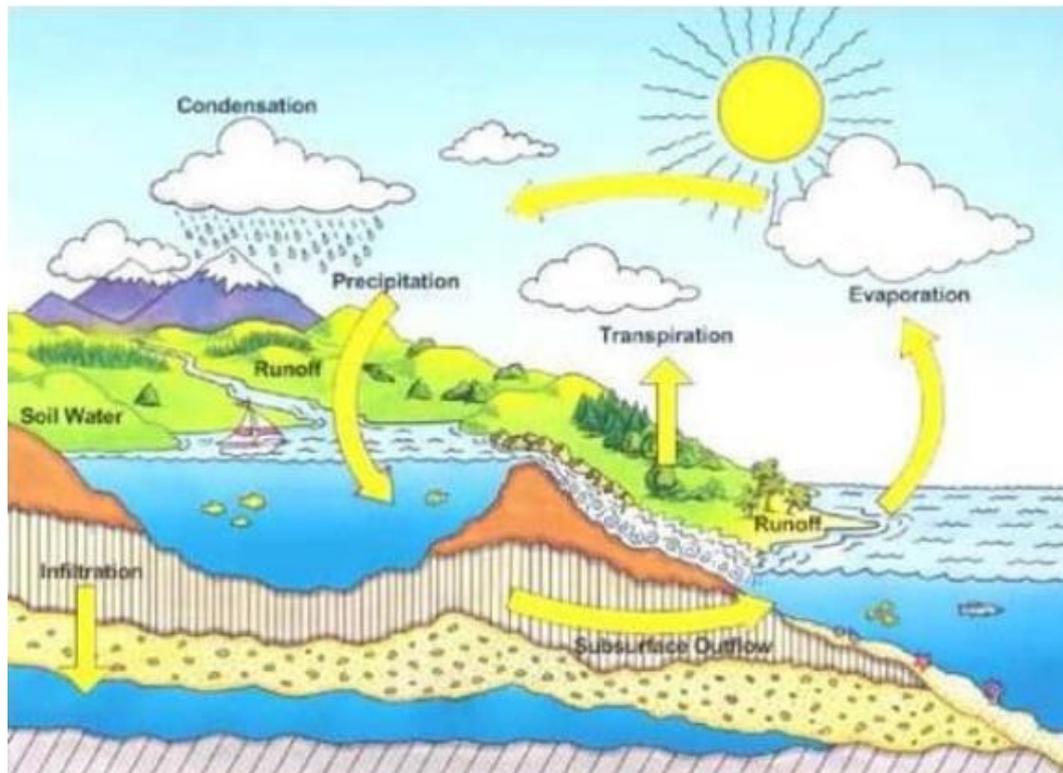
## 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan suatu gerakan dari air laut menuju udara kemudian jatuh ke permukaan tanah yang akan berakhir di laut. Air laut mengalami penguapan karena adanya radiasi matahari yang kemudian naik ke awan karena tertiup angin awan bergerak hingga ke daratan, karena adanya tabrakan antar uap air dan uap air yang sudah jenuh akhirnya terjadilah presipitasi (Sudirman, 2012). Presipitasi salah satu nama umum dari uap yang mengondensasi dan jatuh ke tanah. Bentuk dari presipitasi dapat berbagai macam yaitu embun, salju dan hujan.

Presipitasi merupakan proses turunnya hujan dari atmosfer ke permukaan bumi baik itu berupa hujan, salju, embun dan lain-lain.(Hidayat & Empung, 2016). Hujan juga merupakan salah satu gejala meteorologi dan termasuk unsur klimatologi dengan *hydrometer* yang jatuh berupa partikel-partikel air yang mempunyai diameter 0,5mm atau lebih. (Hidayat & Empung, 2016). Hujan dapat diukur dengan alat ukur hujan biasa dan alat ukur hujan otomatis. Pengolahan data dalam hidrologi adalah pengolahan data untuk mencari rata-rata atau curah hujan representatif suatu daerah tangkapan air.

Aliran permukaan air merupakan fenomena alam yang melibatkan pergerakan air dari daratan ke laut melalui danau, waduk, dan sungai. Proses ini terjadi secara alami dan kompleks, melibatkan beberapa mekanisme penting dalam siklus hidrologi. Sebagian air permukaan akan terkumpul di dalam danau, waduk, atau sungai sebelum akhirnya mengalir ke laut. Tidak semua air yang jatuh ke permukaan tanah akan langsung menuju laut. Sebagian air akan meresap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi. sebagian air di resap tumbuhan serta menguap ke udara melalui proses evapotranspirasi dan sebagian lagi tersimpan masuk ke dalam tanah menjadi air bawah tanah (*ground water*) yang kemudian akan masuk sungai atau danau dari aliran bawah tanah (*groundwater flow*) (Saputri & Ayu, 2017). Proses infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi  
 Sumber: (Salsabila & Nugraheni, 2020)

Air laut menguap karena adanya radiasi matahari kemudian terbentuklah awan, setelah itu awan yang terbentuk karena penguapan bergerak menuju daratan karena adanya angin. Awan yang membawa hasil penguapan mengalami masa jenuh sehingga terjadilah presipitasi. Presipitasi dapat terjadi karena adanya tabrakan antara butiran uap yang terdesak oleh angin. Kemudian air jatuh ke permukaan tanah. Hingga pada akhirnya air mengalir kembali ke laut. Proses tersebut dinamakan proses siklus hidrologi yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Macam-macam Siklus Hidrologi dalam (R.D Ambarwati, 2012) adalah :

1. Siklus Pendek: air laut menguap menjadi uap gas terjadi kondensasi membentuk awan akhirnya jatuh ke permukaan laut.
2. Siklus Sedang: air laut menguap menjadi uap gas terjadi evaporasi kemudian terbawa angin dan membentuk hujan jatuh ke daratan dan kembali ke lautan.
3. Siklus panjang: menguapnya air laut karena panasnya matahari kemudian terjadi sublimasi dan membentuk awan yang mengandung Kristal es dan akhirnya jatuh dalam bentuk salju dan akan membentuk gletse yang mencair dan membentuk aliran sungai dan kembali ke laut.

## 2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Menurut Copeland dalam (R.D Ambarwati, 2012) pengelolaan DAS dalam objek dasarnya yaitu meningkatkan ketersediaan air, mengurangi kisaran aliran baik aliran minimum ataupun maksimum, mengurangi hasil dan penumpukan sedimen, serta meningkatkan kualitas air untuk dimanfaatkan. DAS merupakan aliran sungai yang ditentukan dengan penggunaan *peta digital elevation model* (DEM) sehingga mengetahui posisi air hujan yang jatuh ke daerah DAS yang akan mengalir menuju sungai utama yang ditinjau (Rahayu, 2019). Pencatatan data curah hujan dilakukan pada suatu daerah aliran sungai yang dilakukan di beberapa stasiun. Data curah hujan tersebut akan diolah sehingga mendapatkan debit.

DAS menurut Permen PUPR Nomor 4/PRT/M/2015 dalam (R.D Ambarwati, 2012) DAS merupakan Sebuah wilayah daratan yang terpadu menggabungkan sungai dan anak sungainya menjadi satu sistem hidrologis yang bertugas menampung, menyimpan, dan mengarahkan air hujan ke danau atau laut dengan alami. Saat di darat wilayah ini mewujudkan batas topografis yang memisahkan berbagai lanskap, sementara di laut, wilayah ini menjadi zona perairan yang dipengaruhi oleh aktivitas daratan. Interaksi antara sungai, anak sungai, dan lingkungan sekitarnya menentukan pola aliran air dan keseimbangan ekologis, menjadikan pemahaman tentang dinamika ini penting bagi pengelolaan sumber daya air dan pelestarian lingkungan secara berkelanjutan.

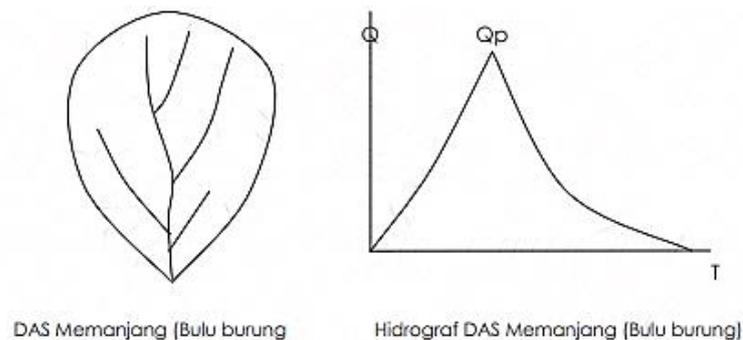
Menurut Copeland (1996) dalam (R.D Ambarwati, 2012) upaya pengelolaan (DAS) bertujuan untuk meningkatkan ketersediaan air, mengurangi sedimentasi, serta meningkatkan kualitas air guna pemanfaatan yang lebih berkelanjutan. Pengelolaan (DAS) juga telah dilakukan di Indonesia dengan tujuan utama untuk meningkatkan ketersediaan air, mengendalikan kisaran aliran sungai baik dalam hal aliran minimum maupun maksimum, mengurangi hasil dan penumpukan sedimen, serta meningkatkan kualitas air guna pemanfaatan yang berkelanjutan. Salah satu implementasi pengelolaan DAS yang telah dilakukan adalah melalui pengelolaan hutan, dan melakukan pembagian daerah hutan didasarkan pada satuan DAS untuk dijaga dan diawasi oleh pemerintah.

### 2.2.1 Bentuk DAS

Pentingnya bentuk (DAS) terkait dengan karakteristik aliran sungai yang memengaruhi kecepatan dan pola aliran air secara keseluruhan. Struktur fisik DAS, seperti topografi, kemiringan lereng, elevasi dan relief sangat menentukan kecepatan dan arah aliran sungai. Melalui hubungan kompleks antara bentuk DAS dan sifat hidrologi, aliran sungai dapat mengalami variasi dalam kecepatan dan terpusatnya aliran, yang pada gilirannya mempengaruhi proses erosi, sedimentasi, dan distribusi air di dalam DAS. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang bentuk DAS menjadi kunci dalam merencanakan pengelolaan air, mitigasi bencana, dan pelestarian lingkungan secara efektif di berbagai wilayah. Menurut sumarto (1995) dalam (Sutapa, 2006) bentuk DAS dibagi menjadi 4 yaitu:

#### 1. Memanjang

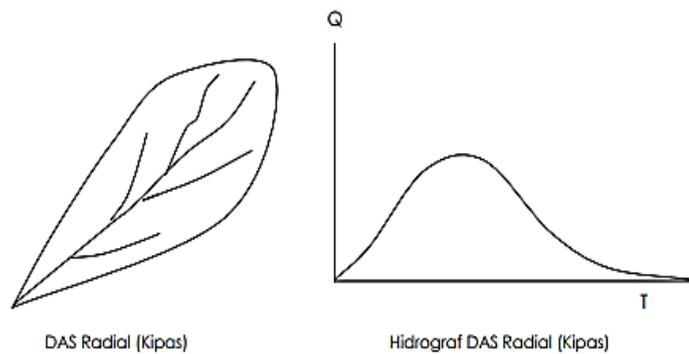
Bentuk DAS memanjang biasanya Induk sungai juga memanjang dengan anak-anak sungai masuk ke dalam induk sungai. Bentuk memanjang menjadikan debit banjir relatif kecil karena perjalanan air dari anak sungai berbeda-beda waktunya tetapi banjir akan berlangsung agak lama.



Gambar 2.2 Bentuk DAS Memanjang (Bulu Burung) serta Hidrografnya  
Sumber: Sumarto (1995) dalam (Sutapa, 2006)

#### 2. Radial

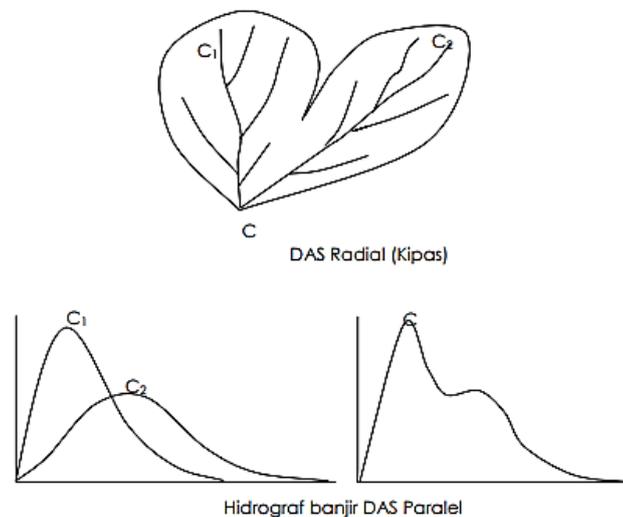
Bentuk radial terbentuk karena jika arah alur sungai seolah-olah memusat pada satu titik yang menyebabkan adanya bentuk radial. Gambaran tersebut dapat berbentuk kipas ataupun berbentuk lingkaran. Waktu yang diperlukan aliran datang dari segala penjuru yaitu dengan waktu yang hampir bersamaan. Sehingga apabila terjadi hujan di seluruh wilayah DAS maka akan terjadi banjir besar.



Gambar 2.3 Bentuk DAS Radial (kipas) dan Hidrografnya  
Sumber: Sumarto (1995) dalam (Sutapa, 2006)

### 3. Pararel

Bentuk DAS pararel dibentuk oleh jalur sub-DAS yang aliran sungainya bersatu pada hilir sungai. Bentuk ini biasanya sering terjadi banjir pada daerah hilir karena pertemuan dua sub-DAS nya terjadi di hilir.



Gambar 2.4 Bentuk DAS Pararel dan Hidrografnya  
Sumber: Sumarto (1995) dalam (Sutapa, 2006)

### 4. Kompleks

Bentuk DAS Kompleks terjadi karena gabungan dari dua atau lebih DAS. Jika dalam keadaan yang sama dengan daerah aliran sungai radial, maka menjadikan hidrografnya lebih tajam serta periode kejadian banjirnya akan lebih pendek dibandingkan dengan pola memanjang.

Menurut miller (1953) dalam (Ningkeula, 2016) dalam menentukan bentuk DAS dapat dalam menentukan bentuk DAS maka dapat menggunakan *circularity ratio* dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R_c = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (2.1)$$

Dimana:

$R_c$  : nisbah kebulatan (faktor kebulatan)

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

$P$  : keliling (perimeter DAS) (km)

$\pi$  : konstanta sebesar  $22/7$  atau  $3,14$ .

Jika hasil nilai  $R_c$  sebesar 1 maka DAS tersebut berbentuk lingkaran.

### 2.2.2 Jaringan Sungai

Jaringan sungai dapat juga disebut sebagai ordo sungai. Ordo merupakan posisi cabang alur sungai yang dalam urutannya mengikuti sungai utama atau induk dalam suatu DAS (Sobatnu *et al*, 2017). Sungai utama atau induk yang merupakan arteri utama, orde sungai menentukan cabang-cabang yang bercabang dari sungai utama tersebut. Setiap cabang sungai memiliki orde yang menunjukkan tingkat percabangannya dari sungai induk. Maka semakin banyak jumlah orde sungai yang akan diteliti maka semakin luas pula DAS serta semakin panjang alur sungainya.

Setelah mendapatkan hasil jumlah alur pada masing-masing orde sungai kemudian dihitung indeks percabangan sungai dan indeks percabangan rerata tertimbang. Kemudian dipadukan dengan kriteria tingkat percabangan sungai yang dikemukakan oleh Rahayu dkk (2009) Dalam (Ningkeula, 2016) seperti yang disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Indeks Tingkat Percabangan Sungai

Indeks Tingkat Percabangan Sungai	Uraian
$R_b < 3$	alur sungai mempunyai kenaikan muka air banjir dengan cepat, sedangkan penurunannya berjalan lambat.

Rb 3-5	alur sungai mempunyai kenaikan dan penurunan muka air banjir tidak terlalu cepat atau tidak terlalu lambat
Rb > 5	alur sungai mempunyai kenaikan muka air banjir dengan cepat, demikian pula penurunannya akan berjalan dengan cepat

Sumber: Rahayu dkk (2009) dalam (Ningkeula, 2016)

### 2.2.3 Kerapatan Jaringan sungai

Kerapatan aliran sungai adalah faktor penting dalam menentukan kecepatan aliran air karena semakin tinggi kerapatan daerah aliran maka semakin tinggi pula kecepatan aliran dengan curah hujan yang sama. DAS yang memiliki kerapatan daerah aliran tinggi maka debit puncak yang akan tercapai memiliki waktu yang lebih cepat. Menurut Horton (1949) dalam (Utama *et al*, 2016) kerapatan sungai akan saling berhubungan dengan sifat drainase DAS.

Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal NOMOR : P.3/V-SET/2013 dalam Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai Kerapatan sungai merupakan sebuah parameter indeks yang mencerminkan jumlah anak sungai yang terdapat dalam suatu DAS (Utama *et al*, 2016). Kerapatan aliran sungai adalah suatu parameter yang menggambarkan kapasitas penyimpanan air permukaan di dalam cekungan-cekungan seperti danau, rawa, dan sungai yang mengalir di suatu DAS. Hal ini memperlihatkan kemampuan DAS dalam menampung dan mengalirkan air hujan. Parameter ini penting untuk dipahami dalam konteks manajemen sumber daya air dan evaluasi keberlanjutan lingkungan hidup di suatu daerah. Klasifikasi Indeks Kerapatan Jaringan Sungai dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Indeks Kerapatan Jaringan Sungai

No	Dd (km/km <sup>2</sup> )	Kelas Kerapatan	Keterangan
1	<0,25	Rendah	Alur sungai melewati batuan dengan resistensi keras maka angkutan sedimen terangkut aliran sungai lebih kecil jika dibandingkan pada alur sungai yang melewati batuan dengan

No	Dd (km/km <sup>2</sup> )	Kelas Kerapatan	Keterangan
			resistensi yang lebih lunak, apanila kondisi lain yang mempengaruhinya sama
2	0,25 – 10,0	Sedang	Alur sungai melewati batuan dengan resistensi yang lebih lunak sehingga angkutan sedimen yang terangkut akan lebih besar
3	10,0 – 25,0	Tinggi	Alur sungai melewati batuan dengan resistensi yang lunak sehingga angkutan yang terangkut aliran akan lebih besar
4	>25,0	Sangat Tinggi	Alur sungai melewati batuan yang kedap air. Keadaan ini menunjukkan bahwa air hujan yang menjadi aliran akan lebih besar jika dibandingkan dengan suatu daerah dengan Dd rendah melewati batuan dengan permeabilitas besar.

Sumber: Suewarno, 1991 dalam (Utama *et al.*, 2016)

Sungai dengan kerapatan kurang dari 0,7km/km<sup>2</sup> umumnya berdrainase jelek atau sering mengalami penggenangan, sungai dengan kerapatan antara 0,73 - 2,74 km/km<sup>2</sup> umumnya memiliki kondisi drainase yang baik atau jarang mengalami penggenangan, sedangkan DAS pada kondisi nilai kerapatan sungai > 2,74 km/km<sup>2</sup> maka aliran air akan sering mengalami kekeringan.

Kerapatan aliran menurut Van Zuidam (1985) dengan rata-rata jarak percabangan dengan ordo pertama aliran dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kerapatan aliran menurut Van Zuidam (1985)

Jenis Kerapatan	Pada Skala 1 : 25.000	Karakteristik
Halus	<0.5cm	Tingkat limpasan permukaan tinggi dengan batuan memiliki porositas yang buruk.
Sedang	0.5cm - 5cm	Tingkat limpasan permukaan sedang dengan batuan memiliki

Jenis Kerapatan	Pada Skala 1 : 25.000	Karakteristik
		poriositas yang sedang.
Kasar	> 5cm	Tingkat limpasan permukaan rendah dengan batuan memiliki porositas yang baik dan tahan terhadap erosi.

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

Kerapatan aliran dapat dihitung dengan persamaan dari rasio total panjang jaringan sungai terhadap luas DAS yang dihitung. Kerapatan aliran dapat dihitung dengan persamaan:

$$Dd = L/A \quad (2.2)$$

Keterangan:

Dd = indeks kerapatan aliran sungai(km/km<sup>2</sup>)

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

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

Hasil dari perhitungan kerapatan dengan rumus diatas kemudian dapat disimpulkan dengan indeks kerapatan jaringan yang terdapat pada Tabel 2.3. sehingga dapat disimpulkan apakah termasuk kerapatan jaringan rendah, sedang atau tinggi.

### 2.3 Koefisien Aliran Permukaan (C)

Air hujan yang turun sebagai bagian dari siklus hidrologi yang akan mengalami intersepsi di permukaan tanah. Sebagian air akan meresap ke dalam wilayah yang masih memiliki vegetasi hijau, sementara sisanya akan mengalir sebagai limpasan (*runoff*) (Hidayat *et al*, 2021). Menurut metode Hassing koefisien limpasan dapat diperoleh dari penggabungan antara parameter topografi, Tanah, dan Tutupan Lahan (Safriani *et al*, 2018).

Koefisien limpasan merupakan parameter untuk mengetahui berapa nilai dari suatu infiltrasi ataupun nilai limpasan air dari hujan yang jatuh dengan perbandingan volume aliran permukaan dan volume hujan yang jatuh (Safriani *et*

al, 2018). Koefisien aliran permukaan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu kemiringan lereng, jenis tanah dan tutupan lahan sehingga dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{FC_i \cdot A_i}{A_i} \quad (2.3)$$

Dimana:

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

$n$  = Jumlah jenis penutup lahan  $i$

$FC_i$  =  $F_s + F_t + F_l$

$F_s$  = Faktor kemiringan lereng

$F_t$  = Faktor jenis tanah

$F_l$  = Faktor tutupan lahan

Nilai koefisien limpasan juga dapat dicari dengan metode *hassing* dengan klasifikasinya dapat dilihat dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai koefisien limpasan metode Hassing

No	Topografi (Ct)	C	Koefisien Limpasan (C) = Ct + Cs + C
1	Datar (<1%)	0.03	
2	Bergelombang (1-10%)	0.08	
3	Perbukitan (10-20%)	0.16	
4	Pegunungan (>0.20%)	0.26	
No	Tanah	C	
1	Pasir dan kerikil	0.04	
2	Lempung Berpasir	0.08	
3	Lempung dan lanau	0.16	
4	Lapisan batu	0.26	
No	Vegetasi penutup (Cv)	C	
1	Hutan	0.04	
2	Pertanian	0.11	

3	Rerumputan	0.21	
4	Tanpa Tanaman	0.28	

Sumber: Hassing (1985) dalam (Safriani et al., 2018)

Koefisien limpasan dengan metode U.S. *Forest Service* ditentukan dengan tingkat kepadatan yang ada di beberapa jenis penggunaan lahan yang mempertimbangkan kondisi topografi, tanah, serta vegetasi penutup. (Safriani et al., 2018) Penggunaan lahan terdapat rentang koefisien limpasan dapat dilihat dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tata Guna Lahan dengan metode U.S. *Forest Service*

<b>Tata Guna Lahan</b>	<b>Koefisien Aliran (C)</b>	<b>Tata Guna Lahan</b>	<b>Koefisien Aliran (C)</b>
<b>Perkantoran</b>			
Daerah pusat kota	0.70 – 0.95	<b>Tanah Lapang</b>	
Daerah sekitar kota	0.50 – 0.70	Berpasir datar 2%	0.05 – 0.10
<b>Perumahan</b>		Berpasir agak rata 2-7%	0.10 – 0.15
Rumah tinggal	0.40 – 0.60	Berpasir miring 7%	0.15 – 0.20
Rumah susun (pisah)	0.40 – 0.60	Tanah berat datar 2%	0.13 – 0.17
Rumah susun (sambung)	0.60 – 0.75	Tanah berat agak rata 2-7%	0.18 – 0.22
Pinggiran kota	0.35 – 0.40	Tanah berat miring 7%	0.25 – 0.35
<b>Daerah Industri</b>		<b>Tanah Pertanian 0-50%</b>	
Kurang padat industri	0.50 – 0.80	A. Tanah kosong	
Padat industri	0.60 – 0.90	Rata	0.30 – 0.60
Tanaman, kuburan	0.10 – 0.25	Kasar	0.20 – 0.50
Tempat bermain	0.20 – 0.35	B. Ladang garapan	
Daerah stasiun KA	0.20 – 0.40	Tanah berat tanpa vegetasi	0.30 – 0.60
		Tanah berat bervegetasi	0.20 – 0.50
Daerah tak berkembang	0.10 – 0.30	Berpasir tanpa vegetasi	0.20 – 0.25
		Berpasir bervegetasi	0.10 – 0.25
<b>Jalan Raya</b>		C. Padang rumput	
Beraspal	0.70 – 0.95	Tanah berat	0.15 – 0.45
Berbeton	0.80 – 0.95	Berpasir	0.05 – 0.25

<b>Tata Guna Lahan</b>	<b>Koefisien Aliran (C)</b>	<b>Tata Guna Lahan</b>	<b>Koefisien Aliran (C)</b>
Berbatu-bata	0.70 – 0.85	D. Hutan bervegetasi	0.05 – 0.25
Tortoar	0.75 – 0.85	<b>Tanah tidak produktif &gt;30%</b>	
Daerah beratap	0.75 – 0.95	Rata kedap air	0.70 – 0.90
		Kasar	0.50 – 0.70

Sumber: Hassing (1985) dalam (Safriani et al., 2018)

Menurut metode diatas dapat disimpulkan bahwa koefisien aliran permukaan dapat dipengaruhi oleh kemiringan lereng, penggunaan dan penutupan lahan serta jenis tanah. Maka dibawah ini akan dijelaskan parameter yang mempengaruhi koefisien aliran.

### **2.3.1 Penggunaan dan Tutupan Lahan**

Penggunaan lahan (*land use*) adalah suatu kegiatan atas campur tangan manusia terhadap penggunaan lahan baik secara material ataupun spiritual dengan penggunaan lahan di perkotaan dan pedesaan memiliki karakteristik yang berbeda. Menurut UU Nomor 26 Tahun 2007 dalam (chandra, Ryan Prima & Pustaka, 2014) tentang Penataan Ruang menjelaskan bahwa kegiatan yang menjadi ciri kawasan perkotaan yaitu tempat pemukiman perkotaan meliputi tempat pemukiman perkotaan dan tempat pemusatan pendistribusian kegiatan bukan pertanian, misalnya yaitu kegiatan pelayanan jasa pemerintahan, kegiatan pelayanan sosial dan kegiatan ekonomi.

Penggunaan lahan di pedesaan banyaknya digunakan oleh lahan pertanian dan pemukiman dengan kegiatan ekonomi ekstraktif dan reproduktif yang setiap kegiatannya memerlukan wilayah yang luas dan jumlah yang bekerja dalam satuan luas tanah relatif sedikit. (chandra, Ryan Prima & Pustaka, 2014). Perbedaan itu dipengaruhi oleh kondisi fisik, kependudukan, sosial budaya serta kebutuhan masyarakat.

Pemetaan dalam kasus penggunaan lahan dalam SNI 7645-2014 hiarki klasifikasi penggunaan lahan yaitu berada pada skala 1:50.000 atau 1:25.000. sehingga penggunaan lahan menurut (SNI 7645, 2014) penggunaan adalah salah satu bentuk dari pemanfaatan serta fungsi dari perwujudan bentuk tutupan lahan.

Tutupan lahan merupakan hasil dari klasifikasi citra satelit. Menurut Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia dalam Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Daerah Aliran Sungai, Nomor: P.32/MENHUTII/2009. DAS yang memenuhi penutupan lahan yang baik adalah DAS yang memiliki nilai IPL > 75% dan yang memiliki tutupan lahan yang buruk adalah DAS yang memiliki nilai IPL < 30% dimana diantaranya adalah DAS yang memiliki tutupan lahan yang sedang.

Tutupan lahan (*Land Cover*) merupakan kondisi antara kombinasi tutupan fisik dan biologis permukaan bumi yang meliputi keadaan alami seperti rawa, sungai, dan bukit, serta buatan manusia seperti sawah, kebun, hutan, dan bangunan. Menurut UU No.4, 2011 dalam (chandra, Ryan Prima & Pustaka, 2014). Penutupan lahan adalah garis yang menggambarkan batas dari penampakan area tutupan diatas permukaan bumi terdiri dari bentang alam atau bentang buatan.

Tutupan lahan menurut SNI 7645, 2010 dalam (chandra, Ryan Prima & Pustaka, 2014) Konsep tutupan lahan mencakup Konsep tutupan biofisik, yang mengacu pada kondisi permukaan bumi yang dapat diamati yang dihasilkan dari aktivitas, pengaturan, dan perlakuan manusia terhadap jenis tutupan lahan tertentu. Ini termasuk berbagai kegiatan produksi, transformasi, dan perawatan yang dilakukan pada suatu wilayah untuk mencapai tujuan tertentu. Dalam situasi seperti ini, penutupan lahan menjadi bagian penting dari pemahaman kita tentang interaksi manusia-lingkungan dan strategi pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan.

Klasifikasi tutupan lahan dalam SNI 7645:2014 mengambil standar internasional yang dikembangkan dari sistem klasifikasi penutup lahan FAO, 2000. Kelas penutup lahan dalam kategori ara dominan vegetasi diturunkan dari pendekatan yang Konseptual struktur fisiognomi yang konsisten dari bentuk tumbuhan, bentuk tutupan, tinggi tumbuhan dan distribusi spasialnya.

Metode perhitungan perubahan tutupan hutan berdasarkan hasil penafsiran citra pengideraan jauh dengan visual. Metode yang dilakukan untuk melakukan pemantauan dengan menggunakan teknik pengideraan jauh, tetapi metode untuk perhitungannya belum dibekukan maka untuk mendukung metode tersebut

dibutuhkan data yang akurat dan berkualitas. (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2014). Kelas tutupan lahan sangat beragam seperti yang telah ditentukan dalam SNI 8033:2014 (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2014) dapat dilihat dari Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kelas tutupan lahan

NO	Kelas Tutupan Lahan	Kode toponim
<b>Kelas Berhutan</b>		
1	Hutan lahan kering primer	Hp
2	Hutan lahan kering sekunder	Hs
3	Hutan mangrove primer	Hmp
4	Hutan mangrove sekunder	Hms
5	Hutan rawa primer	Hrp
6	Hutan rawa sekunder	Hrs
7	Hutan tanaman	Ht
<b>Kelas Tidak Berhutan</b>		
1	Semak belukar	B
2	Semak belukar rawa	Br
3	Rumput/savana	S
4	Pertanian lahan kering	Pt
5	Pertanian lahan kering campur semak	Pc
6	Sawah	Sw
7	Tambak	Tm
8	Perkebunan	Kb
9	Permukiman	Pm
10	Bandara/Pelabuhan	Bdr
11	Transmigrasi	Tr
12	Lahan terbuka	T
13	Pertambangan	Tb
14	Rawa	Rw
15	Tubuh air	A
16	Awan	Aw

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2014)

### 2.3.2 Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan keadaan dimana ukuran kemiringan lahan terhadap bidang yang datar dinyatakan dalam persen atau derajat. (Dengen *et al*, 2019). Kemiringan lereng yang semakin curam akan mempecepat kecepatan aliran permukaan dan volume air akan semakin besar. Kenaikan tingkat erosi terjadi ketika lereng semakin curam, yang tidak hanya meningkatkan aliran

permukaan tetapi juga memperbesar energi untuk mengangkut air. (Saribun, 2007).

Kondisi lereng yang semakin curam akan mengakibatkan pengaruh gaya berat yang memindahkan bahan yang terlepas sehingga meninggalkan lereng semakin besar juga. Jika terjadi pelepasan lereng lebih dari 8% maka aliran permukaan akan terus meningkat dalam jumlah dan kecepatan yang sama. (Saribun, 2007). Lereng memiliki beberapa bagian yaitu bagian puncak, bagian cembung, dan bagian kaki lereng. Bagian puncak adalah daerah yang berpotensi gerusan paling tinggi dengan bagian kaki merupakan tempat endapan dari gerusan erosi. (Lesmana *et al*, 2021). Seperti kelas kemiringan lereng dapat dilihat dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kelas Kemiringan Lereng

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

Kelas Lereng	Proses, Karakteristik dan Kondisi Lahan	Simbol
35° - 55° (70 – 140%)	perlahan – lahan. Daerah rawan erosi dan longsor.	Merah Tua
> 55° (140%)	Lahan memiliki kemiringan lereng yang terjal, sering sering ditemukan singkapan batuan muncul dipermukaan, rawan terhadap batuan.	Ungu Tua

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

### 2.3.3 Jenis Tanah

Jenis tanah sangat berpengaruh terhadap proses infiltrasi. Tanah jika menurut DAS (1995) dalam (Firmen & J, 2018) tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) serta mineral yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral yang padat dan tidak teikat secara kimia antara satu butiran dengan butiran lainnya maupun dari bahan-bahan organic yang telah melapuk dengan zat cari dan gas yang mengisi ruang kosong tersebut. Gas dan zat cair tersebut bisa merupakan air yang jatuh dari hujan sehingga jenis tanah sangat berpengaruh terhadap proses infiltrasi. Apabila ruang kosong tersebut sudah penuh atau jenuh maka air tidak dapat mengalir sehingga air tersebut menjadi limpasan di permukaan.

Tanah pasti memiliki tekstur tektur tanah menurut (Isra *et al*, 2019) Jenis Tanah menunjukkan kepada sifat halus atau kasar butiran-butiran, dengan perimbangan antara kandungan pasir (*sand*) liat (*clay*) dan debu (*slit*) yang ada dalam tanah. Menurut Bowles (1989) dalam (Firmen & J, 2018) tanah adalah suatu campuran patikel yang terdiri dari jenis sebagai berikut:

1. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
2. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
4. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang

disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.

5. Lempung (clay), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (colloids), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

## **2.4 Analisis Hidrologi**

### **2.4.1 Curah Hujan Wilayah**

Curah hujan merupakan ukuran ketinggian air hujan yang terkumpul pada suatu permukaan datar, di mana air tersebut tidak menguap, meresap, atau mengalir. Standar satuan yang digunakan untuk mengukur curah hujan adalah milimeter atau inchi, tetapi di Indonesia, satuan yang umum digunakan adalah milimeter (mm) (Alfaridzi & Siliwangi, 2023). Curah hujan Wilayah atau dapat juga di sebut dengan Hujan Kawasan dengan Perhitungan hujan wilayah pada suatu DAS dapat dianalisis melalui beberapa metode yaitu metode Aljabar, Poligon Thiessen, Isohiyet dan Hujan titik (Irawan *et al*, 2020).

Pola Umum curah hujan di Indonesia dipengaruhi dengan letak geografis Indonesia yang letaknya dilalui oleh garis katulistiwa yang menyebabkan sepanjang tahun disinari Matahari (Hidayat & Empung, 2016). Sehingga Indonesia memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Stasiun pencatat hujan hanya memberikan ke dalaman hujan di titik stasiun berada sehingga hujan pada suatu luasan harus di pekirakan dari titik pengukuran tersebut (Triatmodjo, 2008).

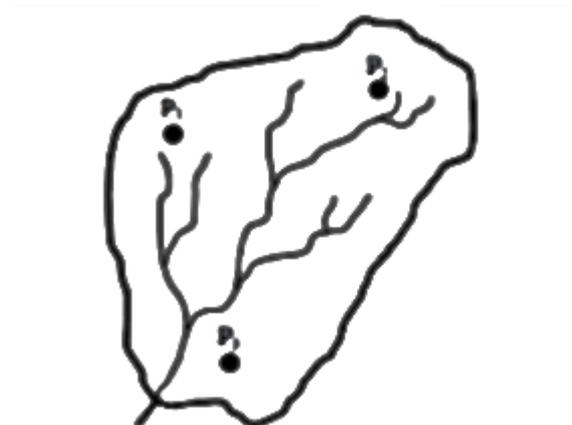
Pertimbangan untuk menggunakan metode-metode perhitungan curah hujan kawasan menurut (Mori, 2003) ditinjau dari luas daerahnya sebagaimana berikut ini:

- 1) Alat ukur hujan dinilai cukup untuk mewakili curah hujan kawasan pada daerah yang memiliki luas  $\leq 250$  ha dengan variasi topografi yang minimal.
- 2) Luas daerah 250 s.d. 50.000 ha dengan dua sampai tiga titik stasiun hujan (titik pengamatan) dapat menggunakan rata-rata aritmatika.

- 3) Daerah dengan luas 120.000 s.d. 500.000 ha yang memiliki sebaran titik pengamatan merata dan data hujan tidak dipengaruhi topografi, dapat menggunakan rata-rata aritmatika. Apabila titik pengamatan tidak tersebar merata gunakan metode *Poligon Thiessen*.
- 4) Daerah yang luasnya lebih dari 500.000 ha menggunakan metode *isohiyet*.

#### 2.4.1.1 Metode Rerata Arimatika (Aljabar)

Metode Rata-rata Aljabar atau dapat disebut dengan metode konvensional ini merupakan metode yang dilakukan dengan menjumlahkan beberapa stasiun hujan dan dibagi dengan jumlah stasiun yang digunakan, stasiun hujan yang digunakan adalah stasiun terdekat dengan penelitian yang akan di cari. (Pelawi & Zakaria, 2021)



Gambar 2.5 Contoh Stasiun Hujan untuk metode Rata-rata Aljabar.

Sumber: (Pelawi & Zakaria, 2021)

Rumus Metode Rata-rata Aljabar (Pelawi *et al*, 2021) adalah:

$$p = \frac{1}{n}(P_1 + P_2 + P_3) + \dots + P_n \quad (2.4)$$

Keterangan:

$P_n$  : curah hujan (mm)

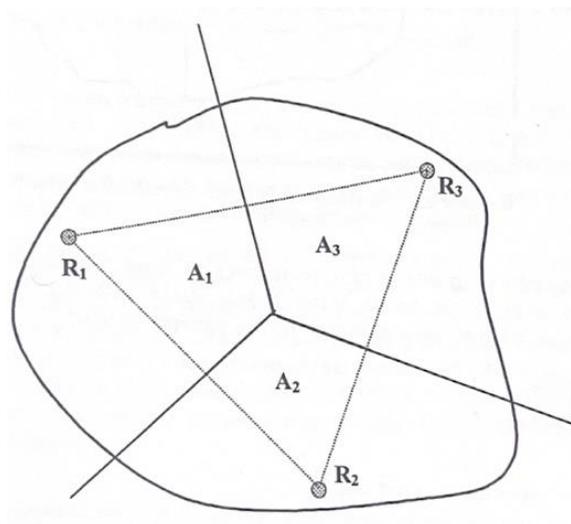
$P_{1,2,3,\dots,n}$  : Hujan di stasiun 1,2,3 .... n

n : Jumlah stasiun hujan yang digunakan

#### 2.4.1.2 Metode *Thiessen*

Metode *thiessen* adalah metode yang memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan yang turun adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun

terdekat, jadi hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan stasiun tersebut. Metode *Thiessen* digunakan apabila penebaran stasiun hujan di suatu daerah tidak merata. Persebaran stasiun pada DAS yang tidak merata dapat dilihat dari Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Metode *Poligon Thiessen*  
Sumber: (Sudirman, 2012)

Perhitungan *polygon Thiessen* seperti yang terdapat dalam modul (Sudirman, 2012) dapat di cari dengan rumus:

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$\bar{R}$  : Curah Hujan Rata-rata Regional (mm)

A : Luas Daerah (ha)

R : Curah Hujan (mm)

Metode ini cocok jika stasiun hujan tidak tersebar merata dan jumlahnya terbatas dibanding luasnya. Untuk pemilihan stasiun hujan yang dipilih harus meliputi daerah aliran sungai yang akan dibangun.

#### 2.4.1.3 Metode Isohiyet

*Isohiyet* merupakan metode yang menghubungkan antara titik-titik dengan ke dalam hujan yang sama. Pada metode ini dianggap hujan pada suatu daerah antara dua garis *isohiyet* adalah merata dan sama dengan nilai rerata dari kedua

garis isohiyet tersebut. Metode ini merupakan metode yang paling teliti diantara metode yang lainnya. Metode ini paling mendalam dan teliti dalam menghitung ke dalaman hujan rerata di suatu daerah, namun pekerjaan ini membutuhkan perhatian yang lebih banyak dan harus lebih teliti dalam menggunakan rumus yang tersedia. Secara sistematis dapat di hitung dengan rumus :

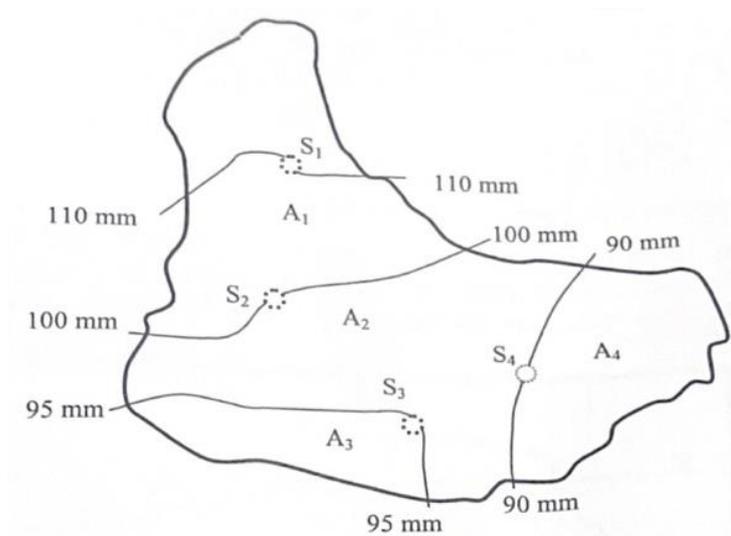
$$\bar{R} = \frac{A_1 \frac{I_1 I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$\bar{R}$  = Curah Hujan Rata-rata (mm)

$I_1, I_2, \dots, I_n$  = Garis Isohyet ke 1, 2, ..., n+1

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = Luas Daerah yang Dibatasi oleh Garis Isohyet



Gambar 2.7 Metode Isohyet

Sumber: (Sudirman, 2012)

## 2.5 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air hujan dari titik tejahau menuju satu titik tertentu yang ditinjau dari daerah pengaliran, dengan waktu pengaliran terdiri dari waktu yang diperlukan air untuk mengalir pada permukaan tanah menuju saluran terdekat dengan waktu mengalir dalam saluran ke suatu tempat yang di tinjau (Permatasari, 2023). Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan persamaan yang diberikan oleh *Kirpich*, yang

berlaku untuk lahan pertanian kecil dengan luas daerah tangkapan kurang dari 80 hektar.

Maka dapat dicari dengan rumus:

$$tc = \frac{0,06628L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (2.7)$$

Dengan:

$t_c$  : waktu konsentrasi(jam)

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

$S$  : kemiringan antara elevasi maksimum dan minimum

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

$$tc = \frac{0,606(Ln)^{0,467}}{S^{0,234}} \quad (2.8)$$

Dengan  $n$  adalah koefisien kekerasan, sedang notasi lainnya sama dengan persamaan *Kirpich*. Nilai  $N$  dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.8 Nilai koefisien kekerasan

No	Tata guna lahan	n
1	Kedap air	0.02
2	Timbunan tanah	0.1
3	Tanaman pangan/tegalan dengan sedikit rumput pada tanah gundul yang kasar dan lunak	0.2
4	Padang rumput	0.4
5	Tanah gundul yang kasar dengan rumput dedaunan	0.6
6	Hutan dan sejumlah semak belukar	0.8

Sumber: Triatmodjo 2013 dalam (Yusuf, 2021)

## 2.6 Analisis Debit

Menurut Asdak (2010) dalam (Badaruddin, 2017) Debit aliran adalah volume air yang mengalir melewati penampang melintang sungai dalam satu waktu tertentu. Menurut Soemarto (1987) dalam (Sujatmoko, 2004) metode transformasi dari data hujan menjadi debit yang seirng digunakan diantaranya yaitu metode rasional, metode empirik dan metode Hidrograf satuan. Metode yang digunakan tergantung dengan ketesediannya data serta keadaan daeah sungai, apabila tidak mendapatkan data hidrologi dan perhitungan debit maka dapat menggunakan perhitungan empirik hanya membutuhkan luas daerah aliran sungai

(Sujatmoko, 2004). Analisis debit untuk mencari debit simulasi dan debit observasi dapat dilihat pada penjelasan pada bab 2.6.1 dan 2.6.2.

### 2.6.1 Debit Observasi

Debit observasi merupakan perhitungan yang dibutuhkan untuk menguji nilai debit simulasi dengan perhitungan NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*). Data untuk perhitungan debit simulasi didapatkan Tinggi Muka Air (TMA) jam-jaman di PDA Gunungcupu dan data bendung. Rentang waktu data TMA yang akan digunakan untuk kalibrasi akan sedikit berbeda dengan data hujan *real time*, hal ini dikarenakan adanya waktu konsentrasi ( $t_c$ ). Oleh karena itu, waktu TMA yang akan digunakan adalah waktu data hujan *real time* ditambah  $t_c$ .

Maka diperlukan untuk Rumus konversi untuk menghitung debit observasi. Rumus yang akan digunakan adalah rumus *Bundschu*, dengan detail rumus sebagai berikut:

$$Q = m \cdot b \cdot d \sqrt{g \cdot d} \quad (2.9)$$

$$d = \frac{2}{3} H \quad (2.10)$$

$$H = h + K \quad (2.11)$$

Harga K didapat dengan rumus *Verwoerd*

$$K = \frac{4}{27} \cdot m^2 \cdot h^3 \cdot \left( \frac{1}{h + p} \right)^2 \quad (2.12)$$

Dengan:

Q = Debit yang lewat diatas mercu ( $m^3/s$ )

m = Koefisien debit

g = Percepatan grafitasai ( $9,8 m/s^2$ )

b = Lebar efektif bendung (m)

h = Tinggi energi diatas mercu (m)

p = Tinggi bendung (m)

### 2.6.2 Debit simulasi

Metode Rasional sering digunakan pada daerah aliran sungai (*catchment area*) yang kecil yaitu sekitar 2500 hektar (Sujatmoko, 2004). Metode rasional merupakan metode yang dianggap praktis untuk mengetahui berapa besarnya QP yang berfungsi sebagai acuan dalam merancang bangunan pencegah banjir, erosi dan sedimentasi (Robot *et al*, 2014). Metode rasional merupakan metode yang sering digunakan di Jepang yang dipekenalkan oleh Dr. Mononobe merupakan metode rasional yang sama yang di gunakan di Indonesia (Sujatmoko, 2004). Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya debit aliran permukaan dalam satuan intenasional adalah:

$$Q_p = 0,278 C \times I \times A \quad (2.13)$$

Keterangan:

$Q_p$  = Debit maksimum rencana ( $m^3/dt$ ).

A = Luas daerah aliran (ha)

C = Koefisien aliran

I = Intensitas curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air berkonsentrasi(mm/jam).

Rumus diatas menggunakan kala ulang T tahun dan dengan waktu konsentrasi. Intensitas curah hujan yang seirng digunakan dalam rumus rasional merupakan besar intensitas curah hujan untuk waktu terjadinya hujan selama waktu konsentrasi daerah aliran sungai.

### 2.7 Base flow

*Base flow* merupakan aliran dasar yang tersimpan di tanah yang akan mengalir ke sungai. Apabila tidak terjadi hujan di wilayah DAS Citanduy di wilayah PDA Gunungcupu maka yang mengalir di sungai adalah Aliran *base flow*. Maka sangat diperlukan perhitungan *base flow*. Pendekatan perumusan menghitung *base flow* adalah:

$$Qt = Q_0 \times e^{-\alpha \times t} \quad (2.14)$$

Keterangan :

- $Q_t$  = Debit pada awal periode ( $m^3/s$ )  
 $Q_0$  = Debit pada Akhir periode ( $m^3/s$ )  
 $\alpha$  = koefisien Akuifer  
 $e$  = 2.71828  
 $t$  = waktu (jam)

Kemudian hasil dari curah hujan wilayah tersebut diambil nilai curah hujan yang bernilai nol yang berturut-turut untuk mencari nilai  $\alpha$ . Penelitian ini mengambil pada tanggal 28 mei 2018 sampai 15 hari kedepannya yaitu sampai tanggal 10 juni 2018. Mencari nilai  $\alpha$  merupakan operasi matematika dari rumus diatas sehingga mencari  $\alpha$  menjadi:

$$e^{-\alpha \times t} = \frac{Q_t}{Q_0} \quad (2.15)$$

$$-\alpha \times t = \ln \left( \frac{Q_t}{Q_0} \right) \quad (2.16)$$

$$\alpha = \left( - \ln \left( \frac{Q_t}{Q_0} \right) \right) : t \quad (2.17)$$

## 2.8 Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

Metode ini digunakan untuk membandingkan seberapa baik nilai observasi dibandingkan dengan nilai prediksi-simulasi, dengan rentang nilai hingga satu. Dengan kata lain, semakin hasil mendekati angka satu, maka semakin baik nilai NSE. Maka dapat digunakan rumus NSE nya yaitu:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{(X_i - \bar{X}_i)^2} \quad (2.18)$$

Keterangan:

- $X_i$  = data observasi (data aktual).  
 $Y_i$  = hasil simulasi data.  
 $\bar{X}_i$  = rata-rata data observasi.  
 $N$  = jumlah data.

Dengan kriteria nilai dari NSE didapat dari (Nuramalia & Lasminto, 2022) dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Kriteria *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE)

<b>NSE Value</b>	<b>Interpretation</b>
NSE > 0,75	<i>Good</i>
0,36 < NSE < 0,75	<i>Qualified</i>
NSE < 0,36	<i>Not Qualified</i>

## 2.9 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Menurut (Bafdal *et al*, 2011) Sistem informasi yang dibuat untuk bekerja dengan data yang terreferensi secara spasial atau berdasarkan koordinat geografi. Ini berarti bahwa SIG adalah sebuah sistem basis data yang memiliki kemampuan khusus dalam mengelola data yang terreferensi secara spasial, serta merupakan kumpulan operasi-operasi yang digunakan untuk memanipulasi data tersebut.

Menurut buku ajar Sistem Informasi Geografis membutuhkan data spasial. Data spasial menurut Rajabidfard dan Williamson (2000) dalam (Bafdal *et al*, 2011) adalah data pada informasi yang mencakup posisi, objek, dan hubungan di dalam ruang Bumi, merupakan bagian dari informasi yang mencakup berbagai aspek Bumi, termasuk permukaannya, lapisan bawah permukaan, perairan, lautan, dan zona di bawah atmosfer. Sumber data spasial dapat dari berbagai sumber, diantaranya:

### 1. Citra Satelit

Citra satelit menggunakan data satelit sebagai wahananya. Satelit menggunakan sensor untuk merekam kondisi atau gambaran permukaan bumi, sering digunakan untuk pemantauan sumber daya alam, studi perubahan lahan dan lingkungan, serta aktivitas manusia di permukaan bumi. Kelebihan teknologi ini terletak pada kemampuannya merekam wilayah yang luas dengan tingkat resolusi yang tinggi. Data citra satelit diolah menjadi data tematik dan disimpan dalam basis data untuk aplikasi yang beragam.

### 2. Peta Analog

Jenis data ini merupakan bentuk awal dari data spasial, yang membedakannya hanya pada metode penyimpanannya. Peta analog adalah bentuk tradisional dari data spasial, yang biasanya ditampilkan dalam bentuk kertas atau film. Namun, dengan kemajuan teknologi saat ini, peta analog dapat dipindai

menjadi format digital dan disimpan dalam basis data untuk penggunaan yang lebih efisien dan terintegrasi.

### 3. Foto Udara (*Aerial photographs*)

Foto udara merupakan salah satu sumber data yang sering digunakan untuk menghasilkan data spasial, selain dari citra satelit. Perbedaan utamanya terletak pada wahana dan cakupan wilayah yang digunakan. Biasanya, foto udara diambil menggunakan pesawat udara, dan proses pengambilan atau perekaman datanya hampir sama dengan citra satelit secara teknis. Sebelum era kamera digital, kamera konvensional dengan negatif film digunakan untuk pengambilan foto udara, namun sekarang kamera digital yang digunakan memungkinkan data hasil perekaman dapat langsung disimpan dalam basis data. Data lama dalam format foto film dapat dikonversi menjadi format digital melalui scanner untuk disimpan dalam basis data.

### 4. Data Tabular

Data tabular berfungsi sebagai atribut bagi data spasial dan umumnya berbentuk tabel. Contoh data tabular yang sering digunakan meliputi data sensus penduduk, data sosial, dan data ekonomi. Data tabular ini kemudian dihubungkan atau direlasikan dengan data spasial untuk menghasilkan tema data tertentu yang memberikan informasi lebih lanjut tentang fenomena yang terjadi di suatu wilayah.

### 5. Data Survei

Data survey atau dapat disebut juga dengan data lapangan. Data ini diperoleh melalui survei atau pengamatan lapangan, seperti contohnya adalah pengukuran persil lahan dengan menggunakan metode survei terestris. Survei terestris ini melibatkan pengukuran secara langsung di lapangan dengan menggunakan alat-alat seperti pemetaan konvensional atau pemetaan GPS untuk menghasilkan data yang akurat dan relevan dengan kondisi geografis yang sesungguhnya.

## **2.9.2 Software ArcGIS**

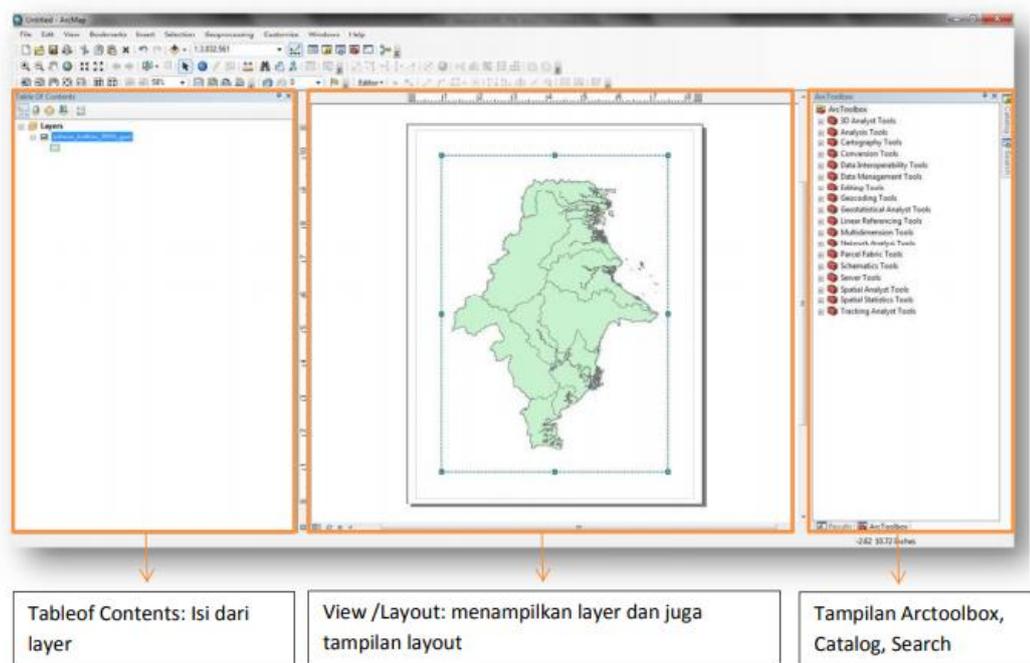
Perangkat lunak ArcGIS merupakan perangkat lunak SIG yang baru dari ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), yang memungkinkan pengguna untuk memanfaatkan data dari berbagai format data. ArcMap merupakan program

utama dalam ArcGIS yang digunakan untuk proses mulai dari menampilkan data, *editing*, analisis dan proses *layout* data spasial. ArcMap bekerja dengan data spasial dengan format vector maupun raster. Dengan *tools* dan *extension* yang ada didalamnya seperti *Image Analysis*, maka ArcMap mampu melakukan proses editing dan analisis data spasial. (Purwono *et al*, 2018)

ArcCatalog digunakan untuk proses pengaturan data spasial. ArcCatalog digunakan untuk menampilkan direktori data, isi data spasial, proses *copy/delete/move*, input juga edit metadata. ArcScene adalah *viewer* tiga dimensi/3D yang cocok untuk menghasilkan pandangan dengan perspektif yang memungkinkan untuk melakukan navigasi dan berinteraksi dengan fitur 3D dan data raster tersebut. Berdasarkan OpenGL, ArcScene mendukung kompleks simbologi garis 3D dan pemetaan tekstur serta penciptaan permukaan dan tampilan TIN. Semua data dimuat ke memori, yang memungkinkan untuk navigasi relatif cepat baik dengan fungsi *pan*/geser maupun zoom.

ArcGlobe adalah bagian dari ekstensi ArcGIS 3D *Analyst*. 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).

Penelitian ini akan menggunakan program ArcMap yang disediakan oleh *software* ArcGIS. Adapun tampilan dari ArcMap dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.8 Tampilan ArcMap  
Sumber: (Purwono et al., 2018)

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

### 2.9.3 Input Data Spasial

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

### 2.9.4 Analisis dan Output Data Spasial

Analisis merupakan salah satu kemampuan yang terdapat pada program ArcMap dan digunakan untuk memperoleh informasi baru. Fungsi analisis yang akan digunakan diantaranya adalah fungsi *scoring*, *intersect* serta fungsi delinasi

batas DAS (*watershed*). *Scoring* diterapkan untuk memberikan nilai atau skor pada masing-masing parameter yang mendukung pada tema penelitian. Setelah semua parameter dilakukan skoring, digunakan analisis tumpang susun atau yang sering disebut dengan *overlay*, *overlay* yang dipakai untuk menghasilkan hasil dari penelitian ini yaitu *intersect*. *Intersection* adalah metode tumpang susun antara dua data grafis, tetapi apabila batas luar dua data grafis tersebut tidak sama, maka yang dilakukan pemrosesan hanya pada daerah yang bertampalan.

Analisis *intersect* dipilih karena dengan menggunakan analisis ini semua informasi yang ada dalam masing-masing parameter penelitian yang saling bertampalan akan menjadi satu kesatuan, sehingga akan menghasilkan informasi baru yang memiliki satuan pemetaan (unit pemetaan).

Proses *overlay* yang dilakukan pada langkah analisis ini akan digunakan untuk membantu peneliti dalam menggunakan rumus  $C_{total}$  yang dimodifikasi. Rincian modifikasi adalah sebagai berikut:

Rumus  $C_{total}$  awal:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot A_i}{A_i} \quad (2.19)$$

Dimana:

$A_i$  : Luas daerah penutupan lahan dengan jenis penutupan lahan  $i$

$C_i$  : Koefisien aliran permukaan jenis penutupan lahan  $i$

$n$  : Jumlah jenis penutup lahan

Rumus  $C_{total}$  modifikasi:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{FC_i \cdot A_i}{A_i} \quad (2.20)$$

Dimana:

$A_i$  : Luas daerah penutupan lahan dengan jenis penutupan lahan  $i$

$n$  : Jumlah jenis penutup lahan  $i$

$FC_i$  :  $F_s + F_t + F_l$

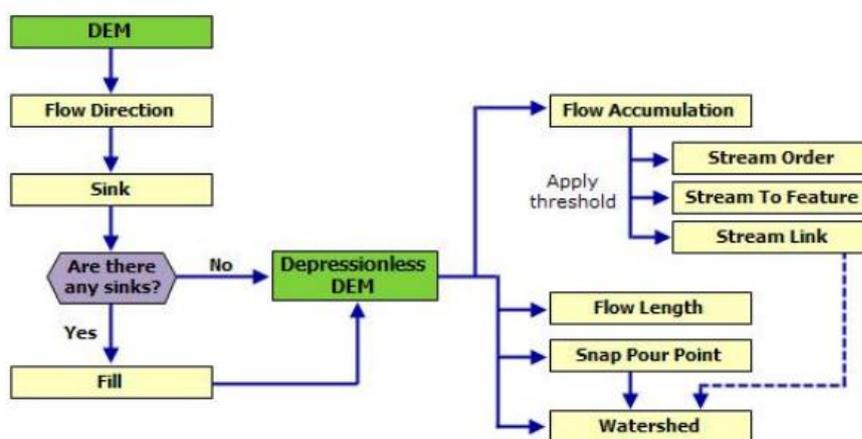
$F_s$  : Faktor kemiringan lereng

$F_t$  : Faktor jenis tanah

Fl : Faktor tutupan lahan

Nilai  $FC_i$  pada rumus  $C_{total}$  modifikasi yang digunakan oleh peneliti akan didapatkan dengan bantuan SIG metode *overlay*. Setiap komponen *overlay* yaitu tutupan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah dan luas polygon akan diberi skor pada *software* ArcMap. nilai skor tersebut yang nantinya akan digunakan sebagai faktor penentuan nilai C.

Analisis data spasial pada ArcMap juga akan digunakan oleh peneliti pada proses delinasi batas DAS Citanduy Hulu PDA Gunungcupu. Pada penelitian ini digunakan operasi High Pass Filtering, merupakan proses penghalusan (smoothing) data dengan mengurangi nilai variasi lokal dan menghapus noise. Adapun skema proses delinasi batas DAS dapat dilihat pada diagram alir berikut ini.

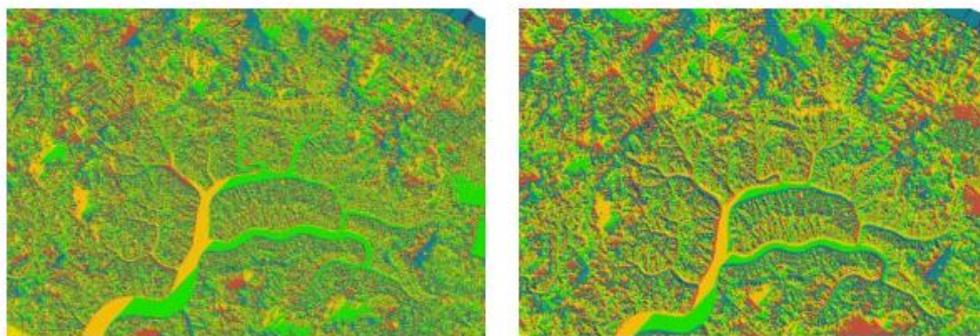


Gambar 2.9 Delinasi Batas DAS

Sumber: (Purwono et al., 2018)

*Digital Elevation Model (DEM)* merupakan data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil sampling dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat. DEM merupakan suatu sistem, model, metode, dan alat dalam mengumpulkan, processing, dan penyajian informasi medan. Susunan nilai-nilai digital yang mewakili distribusi spasial dari karakteristik medan, distribusi spasial di wakili oleh nilai sistem koordinat X, Y dan karakteristik ketinggian medan diwakili dalam sistem koordinat Z (Purwono *et al*, 2018).

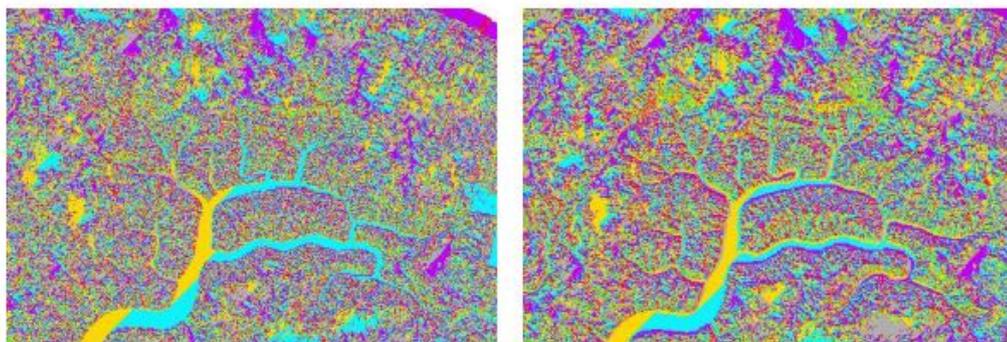
*Flow Direction* merupakan fungsi dengan hasil output berupa arah aliran air. Secara prinsip, data arah aliran diperoleh dari manifestasi kondisi topografis yang digambarkan oleh kenampakan morfometri (*slope/kemiringan lereng*). Sebagai hasil dari proses ini, terdapat perbedaan informasi yang ditunjukkan antara input data DEM dengan perlakuan khusus (*filtering*) dan data DEM asli. Data luaran tersebut menunjukkan informasi arah aliran air pada setiap piksel yang mewakili karakteristik topografis masing-masing data DEM. (Purwono *et al*, 2018). Visualisasi data arah aliran ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Visualisasi *Output* Fungsi *Flow Direction*

Sumber: (Purwono *et al.*, 2018)

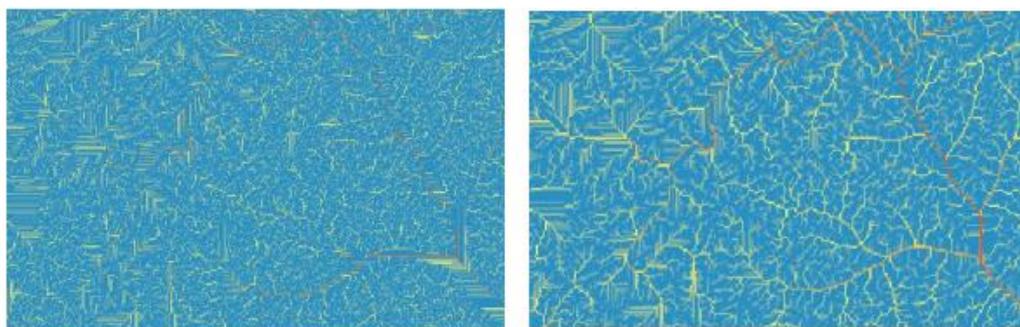
*Flow Accumulation* merupakan fungsi dengan *output* berupa data raster yang merepresentasikan jumlah akumulasi aliran air yang terjadi pada suatu liputan lahan. Akumulasi aliran air diperoleh dari kalkulasi nilai elevasi permukaan, dimana semakin tinggi nilai elevasi berikut gradien kemiringannya maka akan semakin rendah akumulasi aliran air. Sebagai hasil akhir dari parameter ini, terdapat nilai akumulasi air yang biasanya juga identik dengan jaringan sungai yang relevan dengan kondisi di lapangan (Purwono *et al*, 2018). Visualisasi dari parameter *flow accumulation* ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Visualisasi *Output* Fungsi *Flow Accumulation*

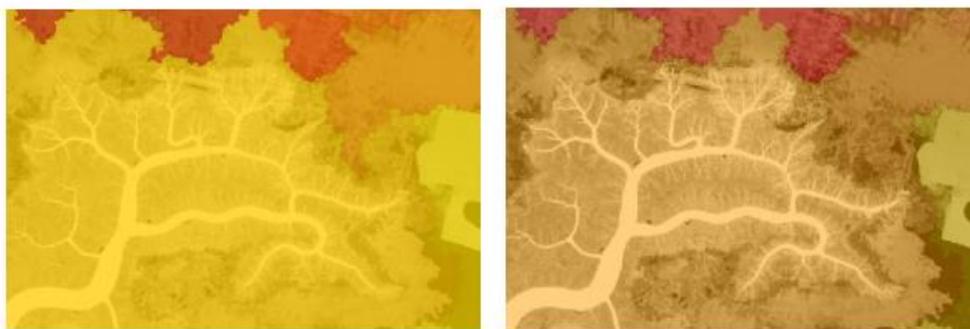
Sumber: (Purwono *et al.*, 2018)

Fungsi *stream Order* diperoleh dari hasil perhitungan parameter hidrologis yaitu *flow accumulation*. Secara teoritis, proses ekstraksi jaringan sungai dilakukan dengan proses pengumpulan piksel-piksel yang mempunyai nilai kecenderungan arah aliran dan akumulasi yang sama, dengan nilai lokasi berdekatan secara spasial. Parameter ini membuat klasifikasi mengenai orde (tingkatan) jaringan sungai. Informasi yang direpresentasikan dari parameter ini adalah *drainage network* (Purwono *et al*, 2018). (Visualisasi *output* dari fungsi ini dapat di lihat pada Gambar Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Visualisasi Hasil Fungsi *Stream Order*  
Sumber: (Purwono *et al.*, 2018)

*Watershed* merupakan proses akhir dan akan menghasilkan batas *imaginer* yang berada pada suatu jaringan sungai. Parameter ini merupakan hasil dari dari proses integrasi proses dari parameter-parameter data yang dihasilkan sebelumnya yaitu arah aliran (*flow direction*), akumulasi aliran (*flow accumulation*), orde sungai (*stream order*). Hasil visualisasi yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Visualisasi Hasil Delinasi DAS  
Sumber: (Purwono *et al.*, 2018)