

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai atau sering disingkat dengan DAS adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam, seperti punggung bukit – bukit atau gunung, maupun batas batuan, seperti jalan atau tanggul, dimana air hujan turun di wilayah tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (*outlet*) (Suripin, 2002). Kodoatie dan Sugiyanto (2002) mendefinisikan DAS sebagai suatu kesatuan daerah/wilayah/kawasan tata air yang terbentuk secara alamiah dimana air tertangkap (berasal dari curah hujan), dan akan mengalir dari daerah/wilayah/kawasan tersebut menuju ke arah sungai dan sungai yang bersangkutan. Disebut juga Daerah Pengaliran Sungai (DPS) atau Daerah Tangkapan Air (DTA). Dalam bahasa Inggris ada beberapa macam istilah yaitu *Catchment Area*, *Watershed*.

Asdak (2010) mendefinisikan Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama. Wilayah daratan tersebut dinamakan daerah tangkapan air (DTA atau *catchment area*) yang merupakan suatu ekosistem daerah unsur utamanya terdiri atas sumberdaya alam (tanah, air, dan vegetasi) dan sumberdaya manusia sebagai pemanfaat sumberdaya alam.

Peraturan Pemerintah nomor 37 tahun 2012 tentang pengelolaan Daerah aliran sungai (DAS), menyatakan bahwa Daerah Aliran Sungai 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. DAS bukan hanya merupakan badan sungai, tetapi satu kesatuan seluruh ekosistem yang ada didalam pemisah

topografis. Pemisah topografis di darat berupa daerah yang paling tinggi biasanya punggung bukit yang merupakan batas antara satu DAS dengan DAS lainnya.

DAS merupakan suatu megasistem yang kompleks, meliputi sistem fisik (*physical systems*), sistem biologis (*biological systems*), dan sistem manusia (*human system*). Setiap sistem dan sub-sub sistem di dalamnya saling berinteraksi, peranan tiap-tiap komponen dan hubungan antar komponen sangat menentukan kualitas ekosistem DAS. Gangguan terhadap salah satu komponen ekosistem akan dirasakan oleh komponen lainnya dengan sifat dampak berantai. Keseimbangan ekosistem akan terjamin apabila kondisi timbal balik antar komponen berjalan dengan baik dan optimal (Kartodihardjo, 2008 dalam Setyowati dan Suharini, 2011).

Dalam mempelajari ekosistem DAS, daerah aliran sungai biasanya dibagi menjadi tiga bagian yaitu daerah hulu, tengah, dan hilir. Asdak (2010), menyatakan bahwa secara biogeofisik, daerah hulu DAS dicirikan oleh hal-hal sebagai berikut : merupakan daerah konservasi, mempunyai kerapatan drainase lebih tinggi, merupakan daerah dengan kemiringan lereng besar (lebih besar dari 15%), bukan merupakan daerah banjir, pengaturan pemakaian air ditentukan oleh pola drainase dan jenis vegetasi umumnya merupakan tegakan hutan. Sementara daerah hilir DAS dicirikan oleh hal-hal sebagai berikut : merupakan daerah pemanfaatan, kerapatan drainase lebih kecil, merupakan daerah dengan kemiringan lereng kecil sampai dengan sangat kecil (kurang dari 8%), pada beberapa tempat merupakan daerah banjir (genangan), pengaturan pemakaian air ditentukan oleh bangunan irigasi dan jenis vegetasi didominasi tanaman pertanian kecuali daerah estuaria yang didominasi hutan bakau/ gambut. Daerah aliran sungai bagian tengah merupakan daerah transisi daerah dari kedua karakteristik biogeofisik DAS yang berbeda tersebut di atas.

Beberapa kelebihan menggunakan pendekatan DAS, antara lain : 1) pendekatan DAS lebih holistik dan dapat digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara faktor biofisik dan sosial ekonomi lebih mudah dan cepat; 2) DAS mempunyai batas alam yang jelas dilapangan; c) DAS mempunyai

keterkaitan yang sangat kuat antara hulu dan hilir sehingga mampu menggambarkan perilaku air akibat perubahan karakteristik lanskap. Selain itu, adanya suatu *outlet* dimana air akan terakumulasi, sehingga aliran air dapat ditelusuri.

Apabila fungsi dari suatu DAS terganggu, maka sistem hidrologi akan terganggu, penangkapan curah hujan, resapan dan penyimpanan airnya sangat berkurang, atau memiliki aliran permukaan (*run off*) yang tinggi. Vegetasi penutup dan tipe penggunaan lahan akan kuat mempengaruhi aliran sungai, sehingga adanya perubahan penggunaan lahan akan berdampak pada aliran sungai. Fluktuasi debit sungai yang sangat berbeda antara musim hujan dan kemarau, menandakan fungsi DAS yang tidak bekerja dengan baik. Indikator kerusakan DAS dapat ditandai oleh perubahan perilaku hidrologi, seperti tingginya frekuensi kejadian banjir (puncak aliran) dan meningkatnya proses erosi dan sedimentasi serta menurunnya kualitas air (Mawardi, 2010). Sucipto (2008) menyatakan bahwa upaya pengelolaan Daerah Aliran Sungai harus dilaksanakan secara optimal melalui pemanfaatan sumberdaya alam secara berkelanjutan.

2.2 Karakteristik DAS

Karakteristik DAS merupakan gambaran spesifik mengenai DAS yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan *morfometri*, topografi, tanah geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi dan manusia. Karakteristik DAS pada dasarnya dibagi menjadi 2 (dua) yaitu karakteristik biogeofisik dan karakteristik sosial ekonomi budaya dan kelembagaan. Karakteristik DAS secara rinci dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a) Karakteristik biogeofisik meliputi : karakteristik meteorologi DAS, karakteristik morfologi DAS, karakteristik morfometri DAS, karakteristik hidrologi DAS, dan karakteristik kemampuan DAS.
- b) Karakteristik sosial ekonomi budaya dan kelembagaan meliputi : karakteristik sosial kependudukan DAS, karakteristik sosial budaya DAS, karakteristik sosial ekonomi DAS dan karakteristik kelembagaan DAS.

Dalam sistem DAS ditunjukkan bahwa mekanisme perubahan hujan menjadi aliran permukaan sangat tergantung pada karakteristik daerah pengalirannya. Menurut Asdak (2010), besar kecilnya aliran permukaan dipengaruhi 2 (dua) faktor, yaitu faktor yang berhubungan dengan curah hujan dan karakteristik fisik DAS. Faktor karakteristik fisik DAS yang ikut berpengaruh terhadap aliran permukaan dapat dibedakan atas 2 (dua) kelompok, yaitu :

- a) Karakteristik DAS yang stabil (*stable basin characteristics*), meliputi : jenis batuan dan tanah, kemiringan lereng, kerapatan aliran di dalam DAS
- b) Karakteristik DAS yang berubah (*variable basin characteristics*), yaitu penggunaan lahan.

Struktur dan tekstur tanah berpengaruh terhadap proses terjadinya infiltrasi, kemiringan lereng akan mempengaruhi perjalanan aliran untuk mencapai *outlet*, dan alur-alur drainase akan mempengaruhi terbentuknya timbunan air permukaan (rawa, telaga, danau), kerapatan vegetasi/penutup lahan berpengaruh sebagai penghambat jatuhnya air hujan ke permukaan tanah.

2.3. Karakteristik Hidrologi DAS

a). Limpasan Permukaan

Limpasan permukaan (*overland flow*) merupakan bagian kelebihan hujan (*excess rainfall*) yang mengalir dipermukaan lahan pada saat terjadi hujan, apabila hujan berhenti maka terjadi lagi limpasan permukaan. Koefisien limpasan permukaan merupakan perbandingan antara bagian hujan yang menjadi limpasan permukaan dengan total hujan pada suatu saat kejadian hujan. Limpasan permukaan inilah yang menjadi tenaga penggerus/pengelupas lapisan tanah atas, mengangkut material tanah permukaan yang lepas atau dikenal dengan proses erosi permukaan (*sheet erosion*) oleh tenaga limpasan permukaan, yang dikenal kemudian membawanya ke dalam badan-badan air (sungai, rawa, danau, waduk dan laut/lautan) membentuk banjir kiriman (banjir limpasan) menyumbang

banjir di sungai serta membawa lumpur yang menyebabkan pendangkalan atau dikenal dengan proses sedimentasi.

Perkiraan besarnya limpasan permukaan dinyatakan dalam bentuk koefisien limpasan permukaan dapat dilakukan dengan mendasarkan pada parameter-parameter morfometri dan morfologi yang menjadi karakteristik DAS yang diperoleh melalui interpretasi citra penginderaan jauh (satelit dan foto udara) dan analisis peta-peta tematik. Cook (1942 dalam Chow, 1964) memberikan contoh parameter-parameter morfometri dan morfologi yang menjadi karakteristik DAS yang dipertimbangkan dalam melakukan perkiraan besarnya nilai koefisien limpasan permukaan dalam suatu DAS ataupun Sub DAS. Limpasan permukaan bergerak diatas permukaan lahan pada setiap jengkal lahan (*space of land*), maka wilayah DAS ataupun Sub DAS harus dibagi-bagi lagi menjadi satuan-satuan (unit) lahan terkecil untuk menilai besarnya nilai atau angka koefisien setiap satuan-satuan lahan tersebut. Penjumlahan nilai ataupun angka koefisien limpasan permukaan dari setiap satuan-satuan lahan dalam suatu DAS ataupun Sub DAS dapat digunakan untuk menyatakan besarnya nilai atau angka koefisien aliran permukaan DAS ataupun Sub DAS yang bersangkutan.

Parameter-parameter morfometri dan morfologi yang menjadi karakteristik DAS yang dipertimbangkan untuk memprediksi besarnya nilai atau angka koefisien aliran permukaan ada 4 (empat) faktor, antara lain :

- 1) Kondisi topografi yang menggambarkan kondisi fisiografi ataupun relief permukaan yang dapat diwakili sebagai ukuran kemiringan lereng permukaan lahan, menjadi faktor dominan dalam menentukan besar kecilnya curah hujan yang jatuh kemudian menjadi limpasan permukaan setelah dipertimbangkan besarnya kapasitas infiltrasi.
- 2) Kondisi tanah dan batuan yang menentukan besarnya bagian curah hujan yang mengalami peresapan ke dalam lapisan tanah dan batuan yang dikenal dengan infiltrasi tanah,

- 3) Kondisi tutupan vegetasi dan jenis tanaman semusim yang berfungsi untuk menerima atau menangkap dan menyimpan air hujan yang jatuh di permukaan lahan tersebut tergantung pada jenis dan kerapatan penutupan vegetasi dan tanaman semusim lainnya
- 4) kondisi timbunan permukaan lahan (*surface storage, surface detention*) yang mampu menangkap air hujan yang jatuh sehingga berfungsi untuk menghalangi laju aliran limpasan permukaan, yang berarti pula bahwa permukaan lahan tersebut menjadi tergenang ataupun mengalami pengatusan cepat.

b) Debit Maksimum

Perhitungan debit maksimum (banjir puncak, Q_{maks}) dilakukan pada mulut sungai dari DAS ataupun Sub DAS diestimasi berdasarkan pada nilai koefisien aliran (c), intensitas hujan (i) yang lamanya sama dengan waktu konsentrasi (T_c), dan luas DAS (A). Total nilai atau angka koefisien limpasan permukaan per satuan lahan adalah nilai koefisien aliran total DAS atau Sub DAS. Intensitas hujan dihitung sama dengan lamanya waktu konsentrasi (T_c) yang dihitung berdasarkan panjang DAS dan parameter morfometri DAS lainnya. Perhitungan debit maksimum (Q_{maks}) dapat dihitung dengan menggunakan rumus menggunakan Rumus Rasional (Chay Asdak, 2010. Hal : 161):

$$Q = 0,0028ciA \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- c : Koefisien limpasan permukaan
- i : Intensitas hujan yang lamanya sama dengan waktu konsentrasi (T_c) (mm/hari)
- A : Luas DAS (ha) tergantung koefisien c

Perhitungan Debit Maksimum dilapangan dapat dilakukan di mulut sungai pada DAS atau sub DAS, salah satunya menggunakan Rumus manning. Metode manning dapat digunakan sebagai pembanding hasil

pengukuran debit maksimum dengan menggunakan rumus atau metode rasional. Pengukuran debit maksimum menggunakan metode manning dilakukan pada suatu penampang sungai pada mulut DAS atau sub DAS. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut (Asdak., 2010. Hal :174) :

$$Q_{maks} = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \cdot A \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- R : Jari-jari hidrolis penampang sungai (m)
- S : Kemiringan hidrolis muka air sungai pada saat banjir maksimum terjadi dengan melihat tanda-tanda pada saat terjadi banjir maksimum (%)
- A : Luas Penampang sungai (m²)
- n : Koefisien kekasaran dasar sungai rata-rata

c) Debit Minimum

Pengukuran debit minimum dapat dilakukan dimulut sungai DAS atau Sub DAS dalam kondisi musim kemarau, pada saat debit sungai terkecil. Jadi pengukuran debit minimum kebalikan dari debit maksimum. Pengukuran debit minimum dipilih dalam kondisi debit sungai paling kecil pada saat musim kemarau. Pada dasarnya debit minimum suatu sungai tidak sama dengan nol ($Q_{min} \neq 0$) karena sebelum air sungai mengalir hingga mulut sungai, dibagian hulu telah dimanfaatkan petani untuk irigasi tradisional. Maka dari itu perlu dilakukan penelusuran di lapangan (*river routing*) guna mengetahui adanya pengambilan air sungai di bagian hulu oleh petani. Metode larutan garam (*solution method*) dilakukan untuk mengetahui besar debit irigasi atau pengukuran debit minimum.

d) Debit Rata-rata (Q_{av})

Debit aliran rata-rata (Q_{av}) dari suatu sungai merupakan besaran hidrologi yang penting sebagai indikator potensi DAS dalam menyimpan air hujan yang jatuh ke dalam lapisan akuifer untuk selanjutnya dikeluarkan secara pelan-pelan dalam bentuk mataair ataupun rembesan.

Apabila besarnya debit aliran rata-rata setiap tahunnya tinggi atau tidak jauh bedanya menunjukkan bahwa wilayah DAS sebagai prosesor cukup berfungsi baik, hal ini menunjukkan karakteristik DAS atau kesehatan DAS terjaga atau tidak.

e) Koefisien Regim Aliran

Koefisien Regim Aliran (KRA) sering disebut sebagai Koefisien Regim Sungai (KRS) merupakan parameter karakteristik Hidrologi DAS yang diperoleh dari perbandingan antara debit maksimum (Q_{maks}) dan debit minimum (Q_{min}) atau sering disingkat dengan parameter Q_{maks}/Q_{min} merupakan indikator besaran hidrologi untuk menyatakan apakah DAS itu berfungsi sebagai prosesor yang baik atau tidak, dapat ditinjau dari sudut pandang nilai perbandingan itu. Nilai KRA yang tinggi menunjukkan bahwa kisaran nilai limpasan pada musim penghujan (air banjir) yang terjadi besar, sedangkan pada musim kemarau aliran air yang terjadi sangat kecil atau menunjukkan kekeringan. Secara tidak langsung kondisi tersebut menunjukkan bahwa daya resap lahan di DAS kurang mampu menahan dan menyimpan air hujan yang jatuh dan air limpasannya banyak yang masuk ke sungai dan terbuang ke laut sehingga ketersediaan air di DAS musim kemarau sedikit. Klasifikasi KRA disajikan sebagaimana pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2 : Klasifikasi Koefisien Regim Aliran (KRA)

No	Nilai	Kelas
1	2	3
1	$KRA \leq 20$	Sangat rendah
2	$20 < KRA \leq 50$	Rendah
3	$50 < KRA \leq 80$	Sedang
4	$80 < KRA \leq 110$	Tinggi
5	$KRA > 110$	Sangat tinggi

Sumber : Permenhut 61 tahun 2014

f) Koefisien Aliran Tahunan atau nilai c

Koefisien Aliran Tahunan (KAT) adalah perbandingan antara tebal aliran tahunan (Q , mm) dengan tebal hujan tahunan (P , mm) di DAS atau

dapat di katakan berapa persen curah hujan yang menjadi aliran (*runoff*) di DAS tersebut. Tebal aliran (Q) diperoleh dari volume debit (Q, dalam satuan m^3) dari hasil pengamatan SPAS di DAS selama satu tahun atau perhitungan rumus dibagi dengan luas DAS (ha atau m^3) yang kemudian dikonversi ke satuan mm. Sedangkan tebal hujan tahunan (P) diperoleh dari hasil pencatatan *Rainfall Recorder (ARR)* dan atau ombrometer. Klasifikasi koefisien aliran tahunan disajikan sebagaimana Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3 Klasifikasi Koefisien Aliran Tahunan

No	Nilai	Kelas
1	2	3
1	$KAT \leq 0,2$	Sangat rendah
2	$0,2 < KAT \leq 0,3$	Rendah
3	$0,3 < KAT \leq 0,4$	Sedang
4	$0,4 < KAT \leq 0,5$	Tinggi
5	$KAT > 0,5$	Sangat tinggi

Sumber : Permenhut 61 tahun 2014

g) Aliran dasar/aliran bawah tanah (*Baseflow*)

Aliran dasar (*baseflow*) adalah volume aliran sungai yang berasal dari air bawah tanah. SWAT membagi air bawah tanah ke dalam dua sistem akuifer yaitu (1) akuifer dangkal, akuifer tidak tertekan yang memberikan kontribusi aliran dasar ke sungai di dalam DAS, (2) akuifer dalam, akuifer di luar DAS (Arnold et al., 1993). Air yang meresap melewati bagian bawah zona akar dikelompokkan ke dalam dua fraksi masing-masing fraksi sebagai recharge untuk masing-masing akuifer. Sebagai tambahan untuk aliran dasar, air yang tersimpan pada akuifer dangkal akan menambah kelembaban profil tanah pada kondisi sangat kering atau dipindahkan secara langsung oleh tanaman.

2.4 Penggunaan Lahan

Konsep penggunaan lahan erat kaitannya dengan budaya manusia dan kondisi fisik lahan tersebut. Karakter alam merupakan kombinasi dari masalah relief, iklim, drainase alam, bahan induk, tanah dan vegetasi (Sitorus, 1985).

Perpaduan antara faktor manusia dan faktor fisik lingkungan saling berpengaruh dan menentukan dalam pemanfaatan lahannya. Pola penggunaan tidak terlepas dari keperluan manusia yang menghuni wilayah tersebut. Suatu unit lahan tertentu beserta sifat-sifatnya dapat diubah oleh manusia (Driessen, 1992).

Penggunaan lahan suatu wilayah bersifat tidak permanen. Suatu lahan memiliki kemampuan yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan. Dengan adanya kemampuan lahan yang dapat diterapkan untuk berbagai tujuan inilah suatu lahan tidak terbatas penggunaannya pada suatu tujuan tertentu saja. Bentuk penggunaan lahan dapat berubah sejalan dengan perkembangan kebutuhan dan kebudayaan manusia. Perubahan pola pemanfaatan lahan ini akan memunculkan suatu fenomena dimana satu pemanfaatan lahan dikorbankan untuk pemanfaatan lainnya. Misalnya pemanfaatan lahan yang pada awalnya sebagai lahan pertanian berubah sebagai lahan permukiman. Dalam hal ini dikatakan lahan pertanian dikorbankan untuk pemanfaatan lainnya yaitu sebagai lahan permukiman (Meyer, 1994). Penggunaan atau pemanfaatan lahan yang tidak hati-hati akan berbahaya bagi keseimbangan lingkungan dan memungkinkan munculnya berbagai bencana alam maupun sosial.

Penggunaan lahan oleh masyarakat pada suatu wilayah merupakan pencerminan dari kegiatan manusia pada wilayah yang mendukungnya. Perubahan dalam penggunaan lahan mencerminkan aktivitas yang dinamis dari masyarakat sehingga semakin cepat pula perubahan dalam penggunaan lahan (Sandy, 1985). Hal ini berarti pola penggunaan lahan di suatu daerah dapat menggambarkan kehidupan ekonomi dari daerah yang bersangkutan dan sekaligus dapat digunakan sebagai indikator pencemaran lingkungan.

2.5 Perubahan Penggunaan Lahan

Seyhan (1999) mengemukakan bahwa perubahan penggunaan lahan tidak akan membawa masalah yang serius sepanjang mengikuti kaidah konservasi tanah dan air serta kelas kemampuan lahan. Dari Aspek hidrologi, perubahan

penggunaan lahan akan berpengaruh langsung terhadap karakteristik penutupan lahan sehingga akan mempengaruhi sistem tata air DAS. Fenomena ini ditunjukkan oleh respon hidrologi DAS yang dapat dikenali melalui produksi air, erosi dan sedimen.

Perkembangan kehidupan manusia sejalan beriringan dengan perubahan penggunaan lahan. Penggunaan lahan dapat diartikan sebagai setiap bentuk campur tangan manusia terhadap lahan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya baik material maupun immaterial. Menurut Arsyad (2006) penggunaan lahan dapat dikelompokkan ke dalam dua golongan besar yaitu penggunaan lahan pertanian dan penggunaan lahan bukan pertanian. Rustiadi, dkk. (2009) menyatakan bahwa perubahan penggunaan lahan dalam pelaksanaan pembangunan merupakan proses yang tidak bisa dihindari. Namun selain faktor pembangunan, perubahan penggunaan lahan dapat diakibatkan oleh pertumbuhan jumlah penduduk. Hal ini sesuai dengan pernyataan Asdak (2010) bahwa perubahan penggunaan lahan tidak mungkin dihindari karena pertumbuhan jumlah penduduk yang cepat menyebabkan perbandingan antara jumlah penduduk dengan lahan pertanian tidak seimbang. Upaya manusia memanfaatkan dan mengelola sumberdaya lahan merupakan faktor utama terjadinya perubahan penggunaan lahan dan berdampak terhadap manusia dan kondisi lingkungannya.

Perubahan penggunaan lahan yang umum terjadi adalah berubahnya penggunaan lahan hutan dan pertanian menjadi areal terbangun terutama permukiman. Penggunaan lahan adalah hasil interaksi antara aktivitas manusia terhadap satu bidang lahan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia baik langsung ataupun tidak langsung (Dulbahri, 1998). Menurut Warsono, dkk (2009), faktor dominan yang mempengaruhi perkembangan kelompok permukiman yang menyebar tidak teratur sebagai bentuk lingkungan perumahan adalah faktor persaingan memperoleh lahan. Penduduk di pedesaan akan lebih memilih mempertahankan lahan pekarangan dan memindahkan aktivitas sosial ekonominya yang berlatar belakang pertanian menjadi pekarangan sekaligus permukiman. Hal ini menyebabkan pemilikan lahan

pertanian menjadi semakin sempit sehingga para petani mulai merambah hutan dan lahan tidak produktif lainnya sebagai lahan pertanian. Berubahnya hutan menjadi penggunaan lahan lainnya berdampak terhadap kondisi tata air setempat. Perubahan fungsi lahan di daerah pinggiran/pedesaan yang memiliki karakteristik sebagai kawasan hutan, daerah resapan air dan pertanian menjadi lahan dengan kegiatan non pertanian akan mempengaruhi kondisi tata air/hidrologi (Rosnila, 2005).

2.6 Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi

Perubahan tutupan lahan sebagai akibat dari perubahan penggunaan lahan akan mempengaruhi sistem tata air DAS. Fenomena ini ditunjukkan oleh karakteristik hidrologi DAS yang dapat dikenali melalui produksi air, erosi dan sedimen (Seyhan, 1999). Viessman *et al.* (1977), menyatakan secara umum perubahan penggunaan lahan akan mengubah (1) karakteristik aliran puncak (*peak flow*), (2) jumlah aliran permukaan, (3) kualitas air, dan (4) sifat hidrologi daerah bersangkutan.

Perubahan hutan menjadi lahan pertanian maupun pemukiman menyebabkan hilangnya vegetasi penutup permukaan dan berkurangnya daerah yang dapat meresapkan air. Dengan demikian, peresapan air ke dalam tanah (infiltrasi) menjadi rendah sehingga simpanan air bawah tanah berkurang yang dapat menyebabkan terjadinya kekeringan pada musim kemarau terjadinya kelebihan air atau banjir di permukaan pada musim hujan. Perubahan penggunaan lahan yang terjadi akan mempengaruhi struktur tanah, permeabilitas tanah, kemantapan agregat yang berimplikasi pada penurunan laju dan kapasitas infiltrasi tanah serta dapat meningkatkan laju erosi (Arwindrasti, 1997). Ramdan (1999) menambahkan bahwa perubahan penggunaan lahan akan mempengaruhi limpasan dan fluktuasi debit dari DAS atau sub DAS.

Perubahan dalam pola tata guna lahan akan mengakibatkan perubahan lingkungan hidup, karena tanah dan air merupakan salah satu komponen

ekosistem yang mempunyai hubungan yang saling berkaitan dengan komponen lainnya dalam ekosistem di suatu wilayah (Talkaputra, 1979). Menurut Asdak (2010), perubahan sifat aliran sungai yang terjadi adalah peningkatan koefisien aliran permukaan yaitu terjadinya peningkatan jumlah air hujan yang menjadi aliran permukaan sehingga meningkatkan debit sungai. Peningkatan debit puncak akan merubah bentuk hidrograf secara drastis dalam waktu yang relatif singkat. Perubahan respons hidrologi akibat perubahan penggunaan lahan juga dapat dilihat dari rasio antara debit maksimum dan debit minimum suatu sungai (Prastowo, 2003).

Rasio digunakan sebagai indikator keberhasilan pengelolaan DAS sehingga dapat diketahui kondisi kerusakan DAS. Tingginya fluktuasi debit maksimum dan minimum menunjukkan curah hujan yang tinggi sangat berpengaruh terhadap meningkatnya aliran permukaan. Dengan demikian dapat diartikan bahwa DAS mengalami kerusakan fungsi hidrologi sehingga dapat dikatakan fungsi DAS telah terganggu serta terjadinya degradasi kualitas DAS. Hal ini dikarenakan tingginya aliran permukaan juga akan meningkatkan jumlah erosi dan sedimen yang terangkut aliran permukaan (Asdak, 2010).

2.7 Sistem Hidrologi Daerah Aliran Sungai

Dalam hubungannya dengan sistem hidrologi, DAS mempunyai karakteristik yang spesifik serta berkaitan erat dengan unsur utamanya seperti jenis tanah, tataguna lahan, topografi, kemiringan dan panjang lereng. Karakteristik biofisik DAS tersebut dalam merespon curah hujan yang jatuh di dalam wilayah DAS tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi, air larian, aliran permukaan, kandungan air tanah, dan aliran sungai (Asdak, 2010).

Konsep siklus hidrologi (*hydrology cycle*) menjadikan dasar pemikiran untuk mempelajari siklus hidrologi DAS sebagaimana siklus hidrologi dalam skala luas (benua). DAS sebagai suatu sistem yang alami menjadi tempat berlangsungnya proses fisik hidrologis menjadi sarana untuk mempelajari respons hidrologi yang terjadi. Pengetahuan tentang proses-proses hidrologi

dalam ekosistem DAS bermanfaat bagi pengembangan sumber daya air dalam skala DAS.

Faktor faktor yang berperan dalam menentukan sistem hidrologi terutama tataguna lahan dan kemiringan dan panjang lereng dapat direkayasa oleh manusia. Perubahan penggunaan lahan (perubahan dari lahan pertanian menjadi hutan atau bentuk penggunaan lahan lainnya) serta pengaturan kemiringan dan panjang lereng (misalnya pembuatan teras) menjadi salah satu fokus aktifitas perencanaan pengelolaan DAS (Asdak, 2010).

2.8 Model Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam analisis hidrologi, pada saat ini telah banyak dikembangkan model hidrologi yang dibuat untuk membantu analisis hidrologi. Clarke (1975), menyatakan bahwa model merupakan bentuk penyederhanaan atau simplifikasi dari suatu sistem yang kompleks baik berupa fisik, analog maupun matematik. Dooge (1979) berpendapat bahwa model merupakan struktur, alat, skema atau prosedur nyata atau abstrak yang menghubungkan masukan, sebab atau rangsangan, tenaga atau informasi dan keluaran, pengaruh atau tanggapan dalam waktu tertentu. Sedangkan menurut Ponce (1989), model (matematik) sebagai satu set pernyataan-pernyataan matematik yang menyatakan hubungan antar fase-fase dari siklus hidrologi dengan tujuan mensimulasikan transformasi hujan menjadi limpasan.

Permodelan merupakan representasi dari suatu sistem dalam bentuk yang dapat diterima untuk menggambarkan bagaimana karakteristik dari suatu sistem. Permodelan rekayasa merupakan representasi dari dunia nyata, disajikan dalam bentuk persamaan matematik yang mudah dipahami dan diselesaikan secara analitik atau dengan perangkat lunak program komputer yang tersedia sehingga lebih menarik untuk dipelajari dan dipraktekkan (Purwanto, 2004). Suatu model yang baik akan menggambarkan dengan baik semua aspek penting dari kelakuan dunia nyata dalam masalah-masalah tertentu (Muchtar 2006).

Model hidrologi DAS yang utama terdiri dari 3 tipe yaitu model fisik, analog dan digital (Arsyad 2006). Model fisik merupakan model dalam skala lebih kecil keadaan sebenarnya yang dibuat di laboratorium dengan asumsi bahwa terdapat kesamaan dinamik antara model dengan keadaan sebenarnya. Model analog merupakan model yang menggunakan sistem mekanikal atau listrik yang analog dengan sistem yang diselidiki, contohnya adalah aliran arus listrik yang digunakan untuk mensimulasi aliran air. Model digital terdiri dari model deterministik, model stokhastik dan model parametrik.

Model deterministik merupakan model yang didasarkan pada persamaan matematik untuk menjelaskan proses yang berperan dalam model dengan memperhitungkan hukum kontinuitas atau konservasi massa dan energi. Model stokhastik didasarkan atas pengembangan urutan sintetik data yang berasal dari sifat statistik data contoh yang tersedia; berguna untuk menghasilkan urutan masukan bagi model deterministik dan parametrik jika data yang tersedia hanya dari pengamatan pendek. Model parametrik didasarkan atas penggunaan hubungan yang secara statistik nyata antara perubah-perubah yang dianggap penting dari sejumlah data yang cukup tersedia. Berdasarkan tipe analisis, model parametrik terbagi atas kotak hitam (hanya masukan dan keluaran utama yang ditelaah), kotak kelabu (sistem telaah cara kerja agak detail), dan kotak putih (semua rincian bagaimana sistem itu bekerja dikemukakan).

Beberapa model hidrologi yang sering digunakan sebelumnya antara lain seperti model USLE (*Universal Soil Loss Equation*), Modified-USLE, Revised-USLE, CREAMS (*Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*) dan GLEAMS (*Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems*) yang merupakan model *lumped parameter*. WEPP, HEC-1, ANSWERS, AGNPS (*Agricultural Non-Point Source Pollution Model*).

Selama beberapa dekade terakhir ini, beberapa model hidrologi telah didistribusikan dan dikembangkan untuk mensimulasikan proses hidrologi di DAS seperti SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) (Arnold et al., 1998), SHE (*European Hydrological System*) (Abbott et al., 1986), TOPMODEL

(*Topography Based Hydrological Model*) (Beven and Kirkby, 1979), dan MGP-IPH (*Large Basin Hydrological Model*) (Collischonn and Tucci, 2001), Model tersebut memungkinkan untuk perkiraan karakterisasi variabilitas spasial DAS dengan menggunakan data dan parameter dalam bentuk jaringan titik/grid (Cao et al., 2006; Wang et al., 2012). Di antara model tersebut di atas SWAT yang paling unggul (Donizete dos R. Pereira, et al., 2016).

2.9 Model SWAT

Model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) dikembangkan oleh Dr. Jeff Arnold untuk USDA (*United States Department Of Agriculture*) pada awal tahun 1990-an. SWAT merupakan model *ecohydrologi* (Arnold J.G, et al., 1998; Arnold J G, and Fohrer, 2005; Williams J R., et al., 2008) telah diuji untuk berbagai skala DAS dan kondisi lingkungan diseluruh dunia (Grassman P W, et al., 2007; Douglas Mankin K R, et al., 2010; Tuppad P et al., 2011; Arnold J G et al., 2012; Grassman P W, et al., 2014) serta digunakan secara luas untuk mengevaluasi dampak perubahan lahan/penutupan lahan terhadap hidrologi DAS, hasil sedimen, dinamika hara (proses lainnya) dan kualitas air (Grassman P W et al., 2007; Krysanova V, et al., 2008; Douglas Mankin K R et al., 2010; Tuppad P, et al., 2011; Grassman P W, et al., 2014).

Model SWAT dianggap sebagai salah satu model yang paling cocok untuk memprediksi dampak jangka panjang melalui tindakan pengelolaan di atas lahan, air, sedimen dan hasil kimia pertanian (hilangnya nutrisi) di daerah aliran sungai dengan tanah yang kompleks, kondisi penggunaan dan manajemen lahan (Arnold, J.G et al., 2005; Bahera, S., et al., 2006; Gassman P.W., et al, 2007; Ullrich A.,et al., 2009). SWAT telah berhasil diterapkan diseluruh dunia untuk memecahkan berbagai proses termasuk aliran sungai, perubahan iklim, erosi dan sedimentasi, pencemaran sumber non-point pertanian, sumberdaya air dan pengelolaan lahan (Jayakrishnan et al., 2005; Schaffner et al., 2009; Shen et al., 2009; Easton et al., 2010; Niraula et al., 2013; Zhang et al., 2013; Zhu H. et al., 2015). SWAT berdasarkan fisik, konseptual, waktu kontinu Model DAS spasial parameter didistribusikan beroperasi pada langkah waktu

harian. Hal ini tidak dirancang untuk mensimulasikan rinci, satu secara routing (Neitsch, S.L., 2002). Model SWAT digunakan sebagai alat untuk mendukung GIS dan karena potensinya yang berkaitan dengan isu perubahan iklim, perencanaan wilayah, pengelolaan daerah aliran sungai, konservasi sumberdaya alam dan lain-lain, menunjukkan bahwa hal tersebut sangat membantu dalam memberikan masukan dalam pengambilan keputusan (Arroyo et al, 2010; Paraza-Castro M., et al.,2015)

Komponen utama model SWAT ini adalah iklim, hidrologi, suhu dan karakteristik tanah, selain itu juga pertumbuhan tanaman, unsur hara, pestisida, serta pengelolaan lahan. Model SWAT membagi DAS menjadi beberapa Sub DAS, terhubung dengan jaringan sungai dan selanjutnya dibagi lagi ke dalam unit respon hidrologi (*Hydrologic Response Units = HRU*) yang memiliki atribut penggunaan lahan/tutupan lahan, tanah dan kemiringan lahan yang homogen. HRU memiliki keunikan non-spasial didistribusikan dengan asumsi tidak ada interaksi dan ketergantungan (Neitsch et al., 2005).

2.9.1 Fase Lahan dalam Siklus Hidrologi

Fase lahan dalam siklus hidrologi berfungsi mengendalikan jumlah air, unsur hara, sedimen dan pestisida yang masuk saluran ke setiap sub DAS. Persamaan neraca air pada siklus hidrologi DAS yang digunakan dalam model SWAT (Di Luzio et al., 2004), dirumuskan sebagai berikut :

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- SW_t : Kadar air tanah akhir (mm H₂O)
- SW₀ : Kadar air tanah awal pada hari ke-i (mm H₂O)
- t : Waktu (hari)
- R_{day} : Jumlah hujan pada hari ke-i (mm H₂O),
- Q_{surf} : Jumlah aliran permukaan pada hari ke-i (mm H₂O)
- E_a : Evapotranspirasi pada hari ke-I (mm H₂O)

W_{seep} : jumlah air yang masuk zona vadose dari profil tanah (*seepage*) pada hari ke- i (mm H_2O)

Q_{gw} : Jumlah aliran air bawah tanah (*baseflow/groundwaterflow /returnflow*) pada hari ke- i (mm H_2O)

DAS yang terbagi-bagi terbukti mampu membuat model yang mencerminkan perbedaan evapotranspirasi untuk jenis tanaman dan tanah yang bervariasi. HRU memprediksi secara terpisah aliran permukaan (*surface runoff*) dan dapat menelusuri untuk memperoleh aliran permukaan total (*total runoff*) suatu DAS. Hal ini dapat meningkatkan keakuratan dan memberikan gambaran fisik yang lebih baik untuk neraca air.

2.9.2 Fase Air pada Siklus Hidrologi

SWAT pada fase air atau penelusuran siklus hidrologi dapat menentukan muatan air, sedimen, unsur hara dan pestisida menuju saluran utama. Muatan tersebut ditelusuri hingga ke jaringan sungai DAS. Selain itu SWAT juga memodelkan perubahan kimia di dalam sungai maupun badan sungai. Penelusuran pada sungai dikelompokkan menjadi 4 (empat) komponen antara lain : air, sedimen, unsur hara dan kimia organik. Ketika air mengalir ke hilir, ada bagian yang mungkin hilang karena evaporasi dan menyebar melalui badan saluran. Kehilangan lainnya berupa pergerakan air dari saluran ke area pertanian atau penggunaan air oleh manusia. Aliran dapat digantikan oleh hujan yang jatuh langsung ke dalam saluran dan atau tambahan air debit sungai.

Perhitungan aliran permukaan (*run off*) pada model SWAT menggunakan metode SCS (SCS, 1972; Rallison and Miller, 1981). Metode ini dikembangkan untuk menghitung jumlah *run off* pada tutupan lahan dan jenis tanah yang bervariasi. Persamaan Q_{surf} sebagai berikut :

$$Q_{surf} = \frac{(Rday - Ia)^2}{(Rday - Ia) + S} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- Q_{surf} : Jumlah aliran permukaan pada hari ke-i (mm)
 R_{day} : Jumlah curah hujan pada hari ke-i (mm),
 Ia : Kehilangan awal akibat simpanan permukaan, intersepsi dan infiltrasi (mm)
 S : Parameter retensi (mm)

Parameter retensi dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut (Neitsch et al., 2009. Hal : 99) :

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots\dots\dots(5)$$

Dimana CN merupakan *curve number* (bilangan kurva) dan nilai Ia adalah 0,2 S (berdasarkan hasil penelitian), sehingga perhitungan permukaan menjadi (Neitsch et al., 2009. Hal : 99) :

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)} \dots\dots\dots(6)$$

2.9.3 Data Masukan Model

Kebutuhan data untuk masukan model SWAT di kelompokkan beberapa kategori yaitu iklim, unit respons hidrologi (*hydrologic response units/HRU*), genangan/daerah basah, air bawah tanah dan saluran utama yang mendrainase Sub DAS. Unit respons hidrologi merupakan kelompok lahan dalam Sub DAS yang memiliki kombinasi tanaman penutup, tanah dan pengelolaan.

Tabel 4 : Parameter Basis Data Iklim (*Weather Generator Data*)

Parameter 1	Keterangan 2
TMPMX	Rata-rata temperatur maksimum (°C)
TMPMN	Rata-rata temperatur minimum (°C)
TMPSTDMX	Standar deviasi temperatur maksimum harian (°C)
TMPSTDMN	Standar deviasi temperatur minimum harian (°C)

Tabel 4 : Lanjutan Parameter Basis Data Iklim (*Weather Generator Data*)

Parameter 1	Keterangan 2
PCPMM	Rata-rata curah hujan (mm)
PCPSTD	Standar deviasi curah hujan harian (mm/hari)
PCPSKW	Koefisien skew untuk curah hujan dalam satu bulan
PR_W1	Perbandingan kemungkinan hari basah –hari kering dalam satu bulan
PR_W2	Perbandingan kemungkinan hari basah –hari basah dalam satu bulan
PCPD	Rata-rata jumlah hari hujan dalam satu bulan
RAINHHMX	Curah hujan maksimum 0,5 jam (mm)
SOLARAV	Rata-rata harian penyinaran matahari dalam satu bulan (MJ/m ² /hari)
DEWPT	Rata-rata harian temperatur <i>dew point</i> dalam satu bulan (°C)
WINDAV	Rata-rata harian kecepatan angin dalam satu bulan (m/detik)

Sumber : Perdirjen Nomor P.2/V-Set/2015

Kategori data iklim yang dibutuhkan dalam model SWAT merupakan data harian. Data-data tersebut antara lain data curah hujan, temperatur maksimum dan minimum, radiasi matahari, kecepatan angin dan kelembaban udara. Masukan data iklim terdiri dari 14 parameter input yang harus dihitung terlebih dahulu berdasarkan data iklim. Selain itu juga dibutuhkan pembuatan file input data curah hujan (*rainfall data*) tahun 2000 hingga 2013 yang berasal dari stasiun pengamatan terdekat dan data iklim tahun 2000 hingga 2013 berasal dari Stasiun Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) atau Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) atau instansi terkait. Parameter basis data iklim (*weather generator data*) disajikan sebagaimana Tabel 4.

Kategori data tanah yang dibutuhkan model SWAT terdiri dari peta tanah dan data tanah. Beberapa informasi tanah dibutuhkan model dibagi menjadi 2 (dua) yaitu informasi umum untuk setiap jenis tanah dan data untuk setiap lapisan tanah pada masing-masing jenis tanah. Data tanah dan cara memperoleh data (metode) yang digunakan untuk memperoleh data disajikan secara ringkas pada Tabel 5.

Tabel 5 : Data Input Tanah

No.	Data	Sumber Data
1	2	3
Informasi Umum setiap Jenis Tanah		
1.	Nama Tanah	Peta tanah
2.	Jumlah lapisan	Pengamatan profil tanah
3.	Kelompok hidrologi tanah	Ditentukan berdasarkan informasi tekstur atau laju infiltrasi minimum
4.	Kedalaman perakaran maksimum pada profil (mm)	Pengamatan profil tanah
5.	Kelas tekstur tanah	Pengkelasan berdasarkan kandungan pasir, debu dan liat
Data per lapisan tanah		
6.	Ketebalan lapisan/horizon tanah (mm)	Pengamatan profil tanah
7.	Bobot isi (g/cm ³)	Hasil analisa laboratorium
8.	Kadar air tersedia	Hasil analisa laboratorium
9.	Kandungan bahan organik tanah (%)	Hasil analisa laboratorium
10.	Konduktivitas hidrologi jenuh	Pengukuran di lapangan/ pendekatan dengan rumus
11.	Kandungan pasir, debu, liat (%)	Hasil analisa laboratorium
12.	Kandungan bahan kasar (%)	Pengamatan di lapangan
13.	Nilai albedo tanah	Hasil perhitungan dengan rumus
14.	Nilai erodibilitas tanah	Hasil perhitungan dengan rumus

Sumber : Perdirjen Nomor P.2/V-Set/2015

Data tanah diperoleh dengan cara membuat satu profil perwakilan dari setiap satuan tanah terpilih untuk diamati sifat morfologinya, dan dilakukan pengambilan sampel tanah utuh dan tanah tak terganggu. Pengamatan yang dilakukan pada penampang profil tanah adalah jumlah lapisan, kedalaman perakaran lapisan/horison, kandungan bahan kasar dan struktur tanah. Hasil analisis laboratorium seperti bobot isi, kadar air tersedia, permeabilitas, tekstur dan C-organik tanah.

Kandungan bahan organik tanah diperoleh dengan cara mengalikan C-organik yang diperoleh dari hasil analisis laboratorium dengan angka 1,724. Sedangkan nilai albedo tanah merupakan fungsi dari bahan organik yang dihitung dengan persamaan (Ditjen BPDASPS, 2014. Hal : 14) :

$$SALB = \frac{0,6}{\exp^{(0,4ORG MAT)}} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana

SALB : Nilai albedo tanah

ORGMAT : Persentase bahan organik

Konduktivitas hidrolik jenuh diukur di lapangan pada setiap satuan tanah terpilih. Namun jika tidak memungkinkan dapat dilakukan pendekatan melalui data permeabilitas. Erodibilitas tanah merupakan fungsi dari struktur, bagan organik dan permeabilitas. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut (Ditjen BPDASPS, 2014. Hal : 14) :

$$100K = 1,292 \left[2,1M^{1.14} (10^{-4}) (12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3) \right] \dots\dots(8)$$

Dimana

K : Erodibilitas tanah

M : Parameter ukuran partikel (%pasir sangat halus x (100 - %liat)

a : Bahan organik %

b : Kode struktur tanah (Tabel 2.3)

c : Kelas permeabilitas tanah (Tabel 2.4)

Tabel 6 : Kode Struktur Tanah

No	Deskripsi Struktur	Kode Struktur
1	2	3
1	Granular sangat halus	1
2	Granular halus	2
3	Granular sedang atau besar	3
4	Bersudut, datar, berbentuk prisma atau masiv	4

Sumber : Perdirjen Nomor P.2/V-Set/2015

Tabel 7 : Kelas Koefisien Permeabilitas Tanah

No	Nilai Koefisien Permeabilitas (mm/jam)	Deskripsi	Kode Struktur
1	2	3	4
1	> 150	Cepat	1
2	50 - 150	Sedang - cepat	2
3	15 - 50	Sedang	3
4	5 - 15	Lambat - sedang	4
5	1 - 5	Lambat	5
6	< 1	Sangat Lambat	6

Sumber : Perdirjen Nomor P.2/V-Set/2015

SCS telah mengembangkan suatu system klasifikasi tanah yang mengelompokkan ke dalam empat kelompok hidrologi yang di tandai dengan huruf A, B, C dan D. Sifat-sifat tanah berhubungan dengan keempat kelompok tersebut disajikan sebagaimana terdapat dalam Tabel 8. (Schwab et al., 1966)

Tabel 8 : Kelompok Hidrologi Tanah Berdasarkan Kelas Tekstur Tanah

Kelompok Hidrologi Tanah	Keterangan
1	2
A	Potensi aliran permukaan paling kecil, pasir dalam, loess dalam, debu yang beragregat
B	Potensi aliran permukaan kecil : loess dangkal, lempung berpasir
C	Potensi aliran permukaan sedang : lempung berliat, lempung berpasir dangkal, tanah berkadar bahan organik rendah dan tanah-tanah berkadar liat tinggi.
D	Potensi aliran permukaan tinggi : tanah-tanah yang mengembang secara nyata jika basah, liat berat, plastis dan tanah-tanah salin tertentu.

Sumber : Perdirjen Nomor P.2/V-Set/2015

Kelompok hidrologi tanah dapat ditentukan di tempat dengan menggunakan salah satu dari tiga cara berikut (1) sifat-sifat tanah (2) peta tanah detail (3) Laju infiltrasi minimum tanah. Sifat-sifat tanah yang dimaksud pada butir (1) telah dikemukakan diatas, sedangkan peta tanah detail memberikan deskripsi secara terinci sifat-sifat tanah yang diperlukan dan memberikan lokasi tanah tersebut dengan jelas. Hubungan laju infiltrasi minimum dengan kelompok hidrologi tanah seperti terdapat dalam Tabel 9 (Schwab et al., 1966).

Tabel 9 : Kelompok Hidrologi Tanah Berdasarkan Laju Infiltrasi Minimum

Kelompok Hidrologi Tanah	Laju infiltrasi minimum (mm/jam)
1	2
A	8 - 12
B	4 - 8
C	1 - 4
D	0 - 2

2.9.4 Data Keluaran Model

Data keluaran model SWAT berupa informasi pada masing-masing HRU, Sub DAS maupun Sungai memberikan informasi keluaran model. Informasi yang terdapat di masing-masing Sub DAS dan HRU dihasilkan selama periode simulasi terdiri dari evapotranspirasi potensial dan aktual, kandungan air tanah, perkolasi, aliran permukaan, aliran lateral, aliran dasar dan hasil air (Neitsch *et al.* 2005). Sedangkan informasi pada tingkat sungai adalah aliran masuk dan aliran keluar.

Model SWAT yang telah dijalankan akan menghasilkan *output* file yang terpisah untuk *subbasin*, HRU dan *outlet* sungai. Beberapa *variable output* di lahan atau *subbasin* (file *output.sub*) disajikan sebagaimana pada Tabel 10. Selain itu *Variable output* di *outlet* sungai (file *output.rch*) disajikan sebagaimana pada Tabel 11 :

Tabel 10 : Variabel *Output* SWAT pada Subbasin

Variabel	Definisi
1	2
PRECIP	Jumlah curah hujan (mm).
PET	Evapotranspirasi potensial (mm).
ET	Evapotranspirasi aktual (mm).
SW	Kadar air tanah pada akhir periode waktu (mm).
PERC	Air yang merembes melewati zona akar (mm).
SURQ	Kontribusi aliran permukaan terhadap debit sungai (mm).
GW_Q	Air bawah tanah (mm).
WYLD	Hasil air (mm).
SYLD	Hasil sedimen (ton/ha).

Tabel 10 dan Tabel 11 merupakan variabel *output* merupakan keluaran dari model SWAT. Dari Tabel 10 keluaran model tersebut, yang digunakan/dikaji dalam penelitian ini keluaran model SWAT antara lain PRECIP (jumlah curah hujan), SURQ (kontribusi aliran permukaan terhadap debit sungai), GW_Q (air bawah permukaan, dan WYLD (hasil air) serta SYLD (hasil sedimen). Tabel 11 keluaran model yang digunakan untuk kajian penelitian ini hanya variabel FLOW_OUT (debit sungai harian rata-rata yang keluar dari *outlet*) yang di kaji dalam penelitian ini.

Data FLOW_OUT digunakan untuk kalibrasi dan validasi model. Selain itu juga untuk menentukan debit maksimum dan debit minimum.

Tabel 11 : Variabel *Output* SWAT pada *Outlet* sungai

Variabel	Definisi
1	2
FLOW_IN	Debit sungai harian rata-rata yang masuk ke <i>outlet</i> (m ³ /detik).
FLOW_OUT	Debit sungai harian rata-rata yang keluar dari <i>outlet</i> (m ³ /detik).
EVAP	Jumlah kehilangan air harian rata-rata karena penguapan (m ³ /detik).
TLOSS	Jumlah kehilangan air harian rata-rata karena kebocoran (m ³ /detik).
SED_IN	Sedimen yang terangkut air dan masuk ke <i>outlet</i> (ton).
SED_OUT	Sedimen yang terangkut air dan keluar dari <i>outlet</i> (ton).