

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.2.1. Penelitian Terdahulu tentang Pengujian TRMM

Beberapa penelitian terdahulu yang meneliti mengenai data curah hujan dengan menggunakan TRMM diantaranya yaitu penelitian yang pernah dilakukan oleh Li dkk.(2015), Kiany (2018), Adjei dkk. (2012) dan Meng (2014). Para peneliti tersebut melakukan penelitian dengan membandingkan data curah hujan dari TRMM dan data dari pengukuran hujan konvensional. Beberapa tujuan yang ingin dicapai oleh peneliti diantaranya yaitu untuk menyediakan data curah hujan pada daerah tropis, menggambarkan kondisi kekeringan di suatu DAS, dll.

Li dkk. (2017) menjelaskan bahwa penelitian yang dilakukan di daerah sungai Tiaoxi (China) menunjukkan data curah hujan TRMM mempunyai kinerja yang baik dengan durasi hujan bulanan dan tahunan. Pada penelitian Meng dkk. (2014) dengan pengukuran data curah hujan dari tahun 1998 hingga 2008 menunjukkan bahwa data TMPA lebih cocok untuk memprediksi parameter hidrologi untuk durasi hujan yang panjang. Levinaa dkk.(2015) melakukan penelitian dengan membandingkan data dari TRMM, *Aphrodite* dan data stasiun hujan di DAS Pemali-Comal untuk analisa Indeks kekeringan. Hasil penelitian menunjukkan data TRMM memberikan hasil yang lebih baik daripada *Aphrodite*. Penelitian yang dilakukan Adjei dkk. (2012) dengan lokasi pengamatan yaitu dilakukan di lembah Black Volta, Ghana dengan menggunakan data curah hujan bulanan menunjukkan bahwa korelasi antara debit limpasan dan data bulanan berkisar dari 0,73 ke 0,88 dengan koefisien korelasi (R) dari 0,94 dan didapatkan hasil keseluruhan tangkapan air curah hujan diwakili dengan baik oleh data TRMM. Namun curah hujan tahunan diperkirakan terlalu rendah atau terlalu tinggi. Meskipun curah hujan TRMM data tidak cocok dengan pengukuran konvensional, masih bisa digunakan untuk melengkapi data hujan dan untuk memperkirakan curah hujan di daerah yang tidak ada stasiun pengukur hujan.

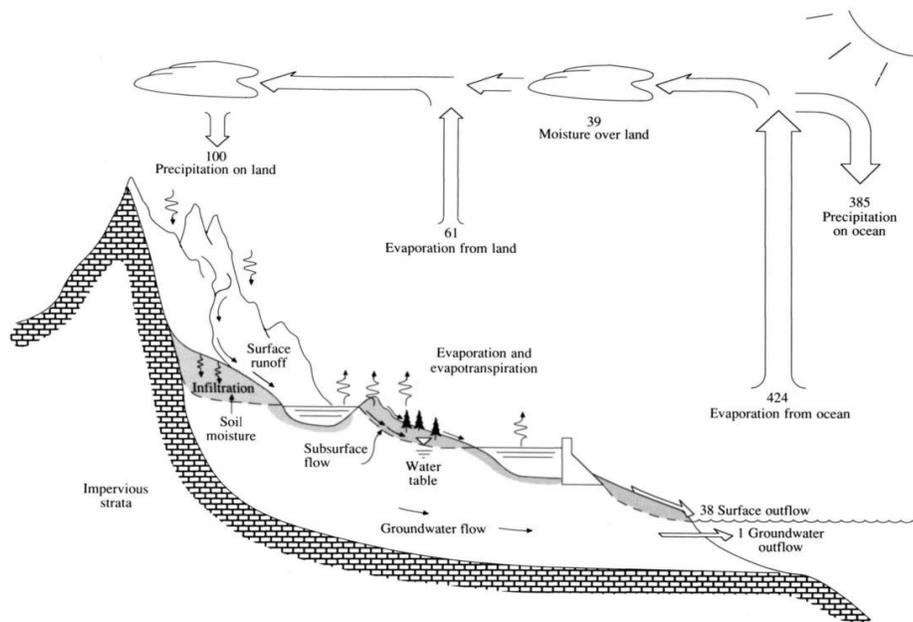
Hal ini yang menjadi referensi bagi penulis dalam melakukan penelitian dengan menganalisis data curah hujan dari satelit TRMM sebagai alternatif lain. Perbedaan penelitian yang dilakukan penulis dengan penelitian terdahulu yaitu data curah hujan TRMM yang diambil oleh penulis yaitu pada skala waktu jam-jaman dan lokasi penelitian yang berada pada DAS Gendol, Yogyakarta. Perbedaan lain adalah analisa yang dilakukan untuk hidrograf banjir

2.2. Dasar Teori

Dasar teori pada penelitian ini adalah konsep hidrologi yang digunakan dalam menghitung hidrograf limpasan langsung dan untuk menganalisa kinerja data hujan satelit TRMM.

2.2.1. Siklus Hidrologi

Air di bumi ada di ruang yang disebut hidrosfer yang memanjang 15 km ke atas ke atmosfer dan sekitar 1 km ke bawah ke litosfer, kerak bumi. Air bersirkulasi di hidrosfer melalui labirin jalur siklus hidrologi. Siklus hidrologi adalah konsep dasar dalam analisis hidrologi. Siklus tidak memiliki awal atau akhir, dan banyak prosesnya terjadi terus menerus. Siklus hidrologi seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Siklus hidrologi (Chow dkk., 1988)

Pada Gambar 2.1 dapat dijelaskan bahwa air menguap dari lautan atau permukaan tanah menuju atmosfer. Uap air diangkut dan diangkat di atmosfer sampai mengembun menjadi hujan dan jatuh (*presipitation*) di daratan atau lautan. Air menjadi aliran di atas permukaan tanah (*surface runoff*), meresap ke tanah (*infiltration*), dan mengalir di bawah permukaan tanah (*sub surface flow*), kemudian dibuang ke aliran sebagai limpasan permukaan. Sebagian limpasan air kembali ke atmosfer melalui penguapan (*evaporation*). Air yang meresap dalam tanah dapat masuk lebih dalam untuk mengisi ulang air tanah, kemudian muncul di mata air, dan masuk ke sungai untuk membentuk limpasan permukaan, dan akhirnya mengalir ke laut dan menguap ke atmosfer saat siklus hidrologi berlanjut.

2.2.2. Data Topografi

Menurut Sariyono dan Nursa'ban (2009), peta topografi adalah peta yang menggambarkan relief permukaan bumi dengan menggunakan garis-garis kontur. Peta topografi menggambarkan kenampakan alam, seperti pola aliran sungai dan morfologi, serta kenampakan buatan manusia, misalnya jalan dan permukiman. Peta topografi biasanya berskala besar, yaitu 1 : 25.000 atau 1 : 50.000. Data peta topografi ini sangat penting untuk membuat batas daerah aliran sungai.

2.2.3. Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi menyimpan, menampung, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami. Batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (SNI 1724: 2015). Fungsi suatu DAS merupakan suatu respon gabungan yang dilakukan oleh seluruh faktor alamiah dan buatan manusia yang ada pada DAS tersebut. Sebuah DAS yang besar dapat dibagi menjadi SubDAS yang lebih kecil. Unit spasial yang lebih kecil dapat dibentuk pada SubDAS untuk melakukan analisa spasial yang lebih akurat berdasarkan jenis tanah dan penggunaan lahannya.

2.2.4. Karakteristik Daerah Aliran Sungai

Menurut Triono (2010), karakteristik DAS mencakup beberapa aspek, diantaranya iklim, biofisik DAS, hidrologi serta sosial ekonomi budaya yang berada

di dalam wilayah DAS dan sekitar DAS. Karakteristik DAS merupakan unsur utama dalam pengelolaan DAS seperti dalam perencanaan, monitoring dan evaluasi sebagaimana tertuang dalam Keputusan Menteri Kehutanan No 52/KptsII/2001 tentang penyelenggaraan DAS sebagai ekosistem, wilayah (geografi), geobiofisik, sumber daya alam, sumber daya manusia, kegiatan-kegiatan multisektor dan aspek sosial ekonomi budaya.

Karakteristik DAS dalam merespon curah hujan yang jatuh di tempat tersebut dapat memberi pengaruh terhadap besar kecilnya evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi, aliran permukaan, kandungan air tanah, dan aliran sungai lainnya, maka pada saat pembuatan DAS harus memperhitungkan semua aspek terutama pada aspek hidrologinya, sehingga DAS dapat bermanfaat bagi masyarakat dan tidak memberi bahaya bagi masyarakat sekitarnya (Triatmodjo, 2008).

2.2.5. *Automatic Water Level Recorder*

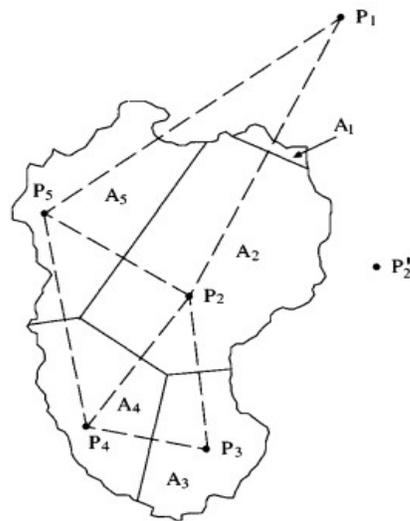
Automatic Water Level Recorder (AWLR) adalah salah satu alat pencatat muka air sungai otomatis yang mencatat secara kontinyu sepanjang waktu. Pengukuran berdasarkan elevasi terhadap datum lokal (biasanya elevasi muka air laut rata – rata (Triatmodjo, 2008). Pengukuran muka air sungai dilakukan di lokasi yang akan dibuat bangunan air seperti bangunan bendung, bendungan, dll. Keuntungan penggunaan AWLR diantaranya yaitu tinggi muka air minimum dan maksimum tercatat secara otomatis dan tepat pada waktu terjadinya. Fluktuasi muka dapat tercatat secara otomatis, meminimalisir kesalahan pengukuran karena faktor manusia, dan masih banyak keuntungan lainnya (Wisnulisigga, 2018). Data AWRL masih berupa data elevasi muka air, maka untuk merubah menjadi debit aliran di perlukan *rating curve*. *Rating curve* adalah grafik hubungan debit dengan elevasi muka air.

2.2.6. Analisis Hujan Rata - rata

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah data selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi milimeter (mm) di atas permukaan horizontal. Dalam penjelasan lain curah hujan juga dapat diartikan sebagai ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Indonesia merupakan negara yang

memiliki angka curah hujan yang bervariasi dikarenakan daerahnya yang berada pada ketinggian yang berbeda-beda. Curah hujan 1 (satu) milimeter, artinya dalam luasan pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu millimeter (Wibowo, 2008).

Pengukuran curah hujan merupakan pencatatan curah hujan titik yang dalam analisis hidrologi titik tersebut mewakili luasan wilayah tertentu. Jika dalam wilayah DAS terdapat beberapa stasiun hujan, maka perlu menghitung hujan rata-rata. Curah hujan rata-rata pada area tinjauan dihitung menggunakan metode *Poligon Thiessen* seperti ditunjukkan Gambar 2.2 :



Gambar 2.2. *Poligon Thiessen*

Contoh gambar *Poligon Thiessen* yang ditunjukkan diatas, Hujan rata-rata DAS (\bar{P}) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\bar{P} = \frac{A_1 \cdot P_1 + A_2 \cdot P_2 + \dots + A_n \cdot P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.1)$$

Di mana:

\bar{P} = Hujan rerata kawasan (mm)

A_1, A_2, A_3 = Luas daerah yang mewakili stasiun terdekat (1,2,3,...,n) (km²)

P_1, P_2, \dots, P_n = Hujan pada stasiun terdekat (1,2,3,...,n) (mm)

2.2.7. Data Hujan satelit TRMM

Satelit TRMM adalah proyek bersama antara Amerika Serikat dan Jepang yang diluncurkan tanggal 27 November 1997, dari Tanegashima, Jepang. TRMM diluncurkan pada tahun 1997 untuk misi 3 tahun. Pada tahun 2001, misi tersebut diberikan perpanjangan hingga 2005. TRMM dibuat untuk mengukur curah hujan di daerah tropis dengan berbagai sensor dari orbit dan kemiringan rendah. Ada beberapa jenis produk data TRMM yaitu hujan 3 jam, harian, dan bulanan. Resolusi dari data yang dipilih berdasarkan kebutuhan. Resolusi untuk data hujan 3 jam adalah $0,25^0$, resolusi untuk data hujan harian adalah $0,125^0$; $0,1^0$ atau $0,25^0$, dan resolusi untuk data hujan bulanan adalah $0,125^0$; $0,1^0$; $0,25^0$; $1,25^0$ atau $0,5 \times 0,667^0$.

Estimasi distribusi spasial curah hujan dapat ditingkatkan dengan masuknya data pendukung seperti data radar, satelit dan topografi. Selain itu, resolusi tinggi perkiraan curah hujan dari satelit telah digunakan dalam banyak penelitian sebagai sumber data yang berharga untuk aplikasi hidrologi dan perencanaan sumber daya air (Masih dkk., 2011; Wilk dkk., 2006; Yan, 2009; Li dkk., 2012). Peluang untuk perkiraan curah hujan satelit terbuka untuk daerah dengan aksesibilitas terbatas dan dengan pengamatan berbasis darat jarang (Moreno dkk., 2011). Ketersediaan deteksi curah hujan aktif dari ruang angkasa telah meletakkan dasar estimasi angkasa dari radar dan radar-radiometer (Michaelides dkk., 2009). Namun, akurasi mutlak produk curah hujan satelit dipertanyakan dan membutuhkan validasi menyeluruh sebelum dapat digunakan secara luas (Tian, 2010).

2.2.8. Hidrograf Satuan

Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan langsung yang tercatat diujung hilir suatu DAS yang ditimbulkan oleh hujan efektif yang terjadi secara merata di permukaan DAS dengan intensitas tetap dalam suatu durasi tertentu (Triatmodjo, 2008). Metode hidrograf satuan banyak digunakan untuk memperkirakan banjir rencana. Data yang diperlukan untuk menurunkan hidrograf satuan terukur di DAS yang ditinjau adalah data hujan otomatis dan pencatatan debit di titik kontrol atau *outlet*. Hidrograf satuan yang dianggap dapat mewakili DAS yang ditinjau adalah hidrograf satuan rerata yang diperoleh dari beberapa kasus banjir tersebut. Jika data hidrograf tidak tersedia untuk menurunkan hidrograf satuan pada DAS, maka dibuat

hidrograf satuan sintetis (HSS) yang didasarkan pada karakteristik fisik dan DAS. Beberapa metode yang biasa digunakan yaitu Metode *Snyder*, Metode *GAMMA I*, Metode *Nakayasu*.

Pada penelitian ini penulis menggunakan Metode *Nakayasu*. Metode *Nakayasu* dikembangkan di Jepang oleh Dr. Nakayasu pada tahun 1940. Metode *Nakayasu* merupakan salah satu metode yang sering digunakan sebagai analisis hidrograf satuan baik dalam maupun luar negeri. Metode *Nakayasu* dipilih karena lokasi penelitian di wilayah yang secara karakteristik fisik menyerupai wilayah di Jepang dan metode lebih mudah dilakukan. Berikut persamaan-persamaan dan dari HSS *Nakayasu* (Triatmodjo, 2008).

a. Waktu konsentrasi (T_g)

$$L > 15 \text{ Km, dapat dihitung dengan rumus } (T_g = 0,4 + 0,58 L) \quad (2.2)$$

$$L < 15 \text{ Km, dapat dihitung dengan rumus } (T_g = 0,21 L^{0,7}) \quad (2.3)$$

b. Satuan waktu curah hujan (Tr) memiliki nilai rentan 0.5 T_g sampai T_g

c. Waktu mulai banjir sampai puncak hidrograf (T_p)

$$T_p = T_g + 0,3 Tr \quad (2.4)$$

d. Waktu puncak banjir sampai 0,3 kali dari debit puncak ($T_{0,3}$)

$$T_{0,3} = \alpha T_g (\text{dimana, } \alpha = 2) \quad (2.5)$$

e. Nilai curah hujan efektif (Re) ditetapkan sebesar 1 mm

f. Debit puncak banjir (Q_p)

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \times \frac{A \cdot Re}{0,3 T_p + T_{0,3}} \quad (2.6)$$

g. Pada sisi naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (2.7)$$

h. Pada sisi turun I ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

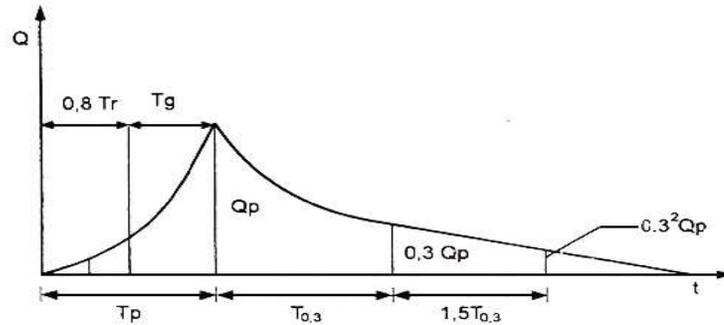
$$Q_{t1} = Q_p \times 0,3 \frac{(t-T_p)}{T_{0,3}} \quad (2.8)$$

i. Pada sisi turun II ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \frac{(t-T_p)^{+0,5T_{0,3}}}{1,5T_{0,3}} \quad (2.9)$$

j. Pada sisi turun III ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

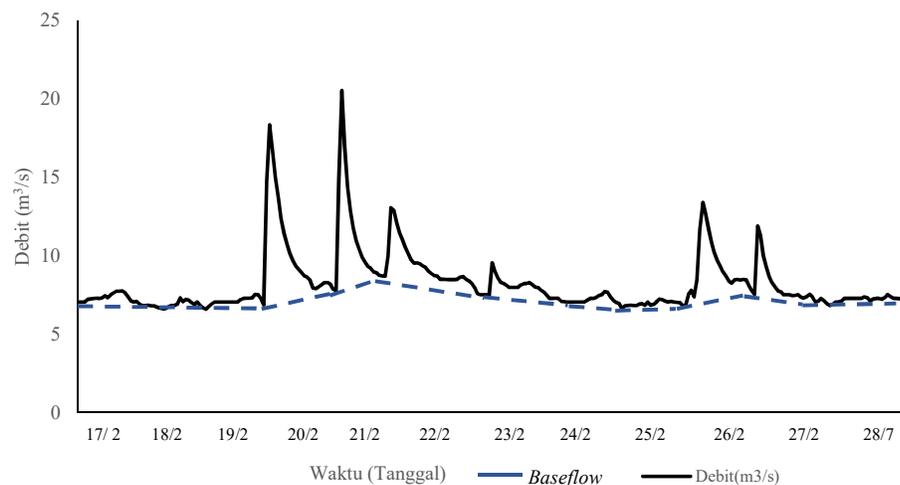
$$Q_t = Q_p \times 0,3 \frac{(t-T_p)^{+1,5T_{0,3}}}{2 T_{0,3}} \quad (2.10)$$



Gambar 2.3. HSS Nakayasu (Triatmodjo, 2008)

2.2.9. Aliran Dasar

Hidrograf aliran yang di ukur dari suatu sungai mengandung dua unsur aliran yaitu aliran dari limpasan langsung (*direct runoff*) dan aliran dasar (*baseflow*). Menurut Furey (2001) aliran dasar adalah bagian dari aliran di sungai yang berasal dari air tanah. Aliran dasar diperlukan untuk memahami variabilitas terhadap waktu dan ruang dari proses limpasan langsung dalam suatu DAS. Sampai saat ini belum ada cara secara langsung untuk mengukur secara kontinyu dari aliran dasar yang terjadi dalam suatu DAS. Konsekuensinya adalah dengan beberapa metode pendekatan yang telah dikembangkan untuk memperkirakan atau memisahkan aliran dasar dari hidrograf aliran pada sungai. Analisis dilakukan dengan seolah-olah menarik garis lurus dari nilai debit aliran sungai saat mulai terjadi hujan hingga nilai debit aliran saat hujan berhenti. Nilai aliran dasar diperoleh dengan metode interpolasi yaitu mencari nilai antara mulai hujan hingga akhir hujan.



Gambar 2.4. Metode pemisahan aliran dsar dari hidrograf

2.2.10. Metode Abstraksi SCS

Hujan yang jatuh dipermukaan tanah akan meresap terlebih dahulu ke dalam tanah sebelum terjadi limpasan langsung. Jumlah air yang meresap tersebut dinamakan abstraksi awal. Besaran air hujan yang menjadi limpasan langsung tergantung tata guna lahan dan abstraksi awal. Menurut Chow (1988) Metode SCS (*Soil Conservation Service*) dikembangkan dari hasil pengamatan curah hujan selama bertahun-tahun dan melibatkan banyak daerah pertanian di Amerika Serikat. Metode ini berusaha mengkaitkan karakteristik DAS seperti tanah, vegetasi, dan tata guna lahan dengan bilangan kurva CN (*curve number*) yang menunjukkan potensi limpasan langsung untuk curah hujan tertentu. Metode CN didasarkan atas hubungan infiltrasi pada setiap jenis tanah dengan jumlah curah hujan yang jatuh pada setiap kali hujan. dengan hubungan. Limpasan permukaan dihitung dengan persamaan 2.11.

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a - S)} \quad (2.11)$$

Di mana,

Q = volume limpasan permukaan

P = total hujan harian

I_a = Abstraksi awal

S = Volume total dari tanah untuk menahan retensi air tertentu

Menentukan besarnya nilai retensi (δ) dipengaruhi oleh variabel jenis tanah, tata guna lahan, dan kelembapan tanah. Mencari nilai S dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$S = 25,5 \times \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2.12)$$

Menurut Ponce dan Hawkins (1996) parameter retensi (λ) dapat berubah sesuai dengan kondisi yang ditinjau. Nilai abstraksi awal / *initial abstraction* dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_a = \lambda S \quad (\lambda = 0 \text{ sampai } 0,3) \quad (2.13)$$

2.2.11. Menentukan Nilai CN

Triadmojo (2008) nilai CN yang diperoleh dari daerah beriklim sedang dapat digunakan apabila nilai CN di daerah yang diteliti belum tersedia. *Antecedent Moisture Condition (AMC)* atau kondisi kandungan air awal sangat mempengaruhi

volume laju aliran permukaan. *Soil Conservation Service (SCS)* menyusun tiga kondisi kondisi kandungan air awal, berdasarkan jumlah hujan selama 5 hari terdahulu, antara lain :

1. *AMC I* : Tanah pada suatu DAS dalam keadaan kering dengan potensi limpasan terendah, akan tetapi tidak sampai pada titik layu. Analisa *AMC I* digunakan untuk menganalisa *CN* pada saat bulan kering atau musim kemarau
2. *AMC II* : Kondisi tanah dalam keadaan rata-rata atau average condition atau biasa disebut kondisi normal.
3. *AMC III*: Kondisi tanah pada DAS jenuh dengan air, dan potensi limpasan tertinggi. Pada studi ini analisa *AMC III* digunakan untuk menganalisa *CN* pada saat bulan basah atau musim hujan.

Nilai *CN (Curve Number)* pada kondisi *AMC I* dan *AMC III* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.14 dan 2.15.

$$CN I = \frac{4,2 CN II}{10 - 0,058 CN II} \quad (2.14)$$

$$CN III = \frac{23 CN II}{10 - 0,13 CN II} \quad (2.15)$$

Jenis tanah mempengaruhi proses transformasi hujan menjadi limpasan langsung dan harus dipertimbangkan dalam menghitung limpasan langsung yang terjadi. *SCS* mengelompokkan jenis tanah tersebut dalam *Hydrology Soil Groups (HSG)* yang terdiri dari 4 (empat) kelompok. Berikut adalah pengelompokan dari jenis tanah menurut *SCS (1985)* :

1. Kelompok A: Potensi limpasan permukaan paling kecil, termasuk pasir dalam dengan laju infiltrasi tinggi
2. Kelompok B: Potensi limpasan permukaan paling kecil, tekstur halus sampai sedang dengan laju infiltrasi sedang, contohnya lempung berpasir.
3. Kelompok C: Potensi limpasan permukaan paling sedang, tekstur sedang sampai halus dengan laju infiltrasi rendah, contohnya tanah lempung, tanah berpasir yang dangkal, tanah yang rendah kandungan organiknya, dan tanah biasanya tinggi di tanah liat
4. Kelompok D: Potensi limpasan permukaan tinggi dengan laju infiltrasi paling rendah, tanah yang membengkak secara signifikan ketika basah, tanah liat plastis tebal.