

ANALISIS VOLUME LIMPASAN DENGAN METODE *GREEN-AMPT*

Rena Sempana Wahyu Putri¹, Dian Sestining Ayu²

^{1,2}Departemen Teknik Sipil/Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Email: ¹ rena.sempana.w@mail.ugm.ac.id dan ² dian.sestining@ugm.ac.id

ABSTRACT

The development of modern era involves the economic, industrial and population growth and also increase of the social needs which cause the increase of the land needs. Land conversion which happens today has a negative impact on the environment and can damage the potency of the land use itself. One of the negative impacts of the land use conversion which are unwell planned, unwell patterned and not aware with the environment is the increased of the run-off volume due to the decrease the ability of the soil infiltration. If there is no further management of the land conversion, it will cause the increase of the annual peak discharge and has the potential to cause the flood. Green-Ampt is one of the method that can be used to analyze run-off volume by estimating capacity and infiltration rate. In Green-Ampt Method there are some parameters that affect the result of the analysis which are related to vegetal cover and soil parameters such as suction head, hydraulic conductivity, initial moisture, and saturated moisture condition of the soil. The aims of this study are to give the additional information and knowledge related to the run-off volume potency in the study area which has been conducted using Green-Ampt Method for the analysis. Hope the result can be used as the reference in management of water resources potency especially in study area, there are Sub Watershed Pogung, Kaloran and Papringan. From the analysis it is known that there is a different result between observed run-off volume and run-off volume by Green-Ampt Method. The difference of the result can occur because of the different interpretation data on both methods. Analysis by observed run-off volume shows that there are run-off for all of the flood event, while the analysis by Green-Ampt Method shows that run-off only occurred in one flood event.

Keywords: *Green-Ampt, run-off volume, infiltration, soil parameters.*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan zaman yang semakin maju memicu terjadinya pertumbuhan ekonomi dan industri, penambahan jumlah penduduk, dan peningkatan kebutuhan yang mengakibatkan meningkatnya kebutuhan terhadap lahan. Sebagian besar lahan produktif yang ada mengalami perubahan menjadi perumahan, gedung perkantoran maupun fasilitas penunjang berupa prasarana untuk mendukung aktivitas penduduk. Alih fungsi lahan yang terjadi saat ini seringkali membawa dampak negatif terhadap lingkungan dan merusak potensi dari lahan itu sendiri. Salah satu dampak negatif dari adanya perubahan fungsi lahan yang tidak terencana dan terpola dengan baik serta tidak berwawasan lingkungan adalah meningkatnya volume limpasan akibat semakin menurunnya kemampuan infiltrasi tanah. Apabila tidak dilakukan pengelolaan lebih lanjut, hal ini

akan menyebabkan peningkatan debit puncak setiap tahunnya sehingga berpotensi menimbulkan terjadinya banjir yang tidak hanya akan mengganggu stabilitas ekonomi, tetapi juga menimbulkan kerugian berupa harta benda dan hilangnya nyawa manusia.

Limpasan terjadi apabila hujan yang jatuh lebih besar dibandingkan dengan kapasitas infiltrasi tanah. *Green-Ampt* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisis volume limpasan dengan melakukan pendugaan kapasitas dan laju infiltrasi. Metode *Green-Ampt* merupakan metode yang sudah dikembangkan sejak lama. Miyazaki (1993) dalam Rohmat dan Setiawan (2010) menyatakan bahwa hingga saat ini metode tersebut masih tetap digunakan karena hasil pendugaan volume limpasan dengan menggunakan metode ini masih memberikan hasil yang baik apabila dibandingkan dengan hasil analisis dengan menggunakan metode-metode infiltrasi terbaru. Metode *Green-Ampt* menarik banyak perhatian dikarenakan metodenya yang sederhana, didasarkan pada karakteristik fisik tanah dan parameternya dapat diukur (Jia and Tamai, 1998). Selain itu, dalam Metode *Green-Ampt* kemampuan infiltrasi tanah pada saat kondisi jenuh sangat diperhatikan. Hal ini berbeda dengan metode infiltrasi lain yang mengabaikan parameter tersebut (Green, W.H. and G. Ampt., 2011). Dalam Metode *Green-Ampt* terdapat beberapa parameter yang berpengaruh dalam analisis, yaitu jenis tanah, *suction head*, konduktivitas hidraulik, kelengasan awal, dan kelengasan tanah saat jenuh. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan tambahan informasi terkait dengan besarnya potensi volume limpasan di lokasi penelitian, yaitu Sub DAS Code di Pogung dan Kaloran serta Sub DAS Gajahwong di Papringan, dengan melakukan perbandingan antara volume limpasan terukur dan volume limpasan yang analisisnya dilakukan dengan menggunakan Metode *Green-Ampt* yang hasilnya dapat dijadikan sebagai acuan dalam manajemen potensi sumber daya air.

Keaslian Penelitian

Studi terdahulu terkait dengan analisis menggunakan Metode *Green-Ampt* yang telah dilakukan, antara lain:

1. Penelitian oleh Sari (2014) terkait dengan analisis hujan efektif dengan menggunakan Metode Phi-Index, *SCS-CN*, Koefisien Limpasan, dan Metode Infiltrasi *Green-Ampt* yang hasilnya dibandingkan dan digunakan sebagai masukan untuk perhitungan debit banjir rancangan dengan Metode Hidrograf Satuan (HS) di Sub DAS Code di Pogung dan Kaloran, Sub DAS Gajahwong di Papringan, Sub DAS Bogowonto di Pungangan, dan Sub DAS Progo di Badran.

2. Penelitian oleh Suprpto (2013) terkait dengan pengalihragaman hujan menjadi aliran permukaan. Untuk mendapatkan besaran debit aliran sungai dari suatu kejadian hujan, dalam penelitian ini permukaan bumi dipandang sebagai susunan grid bujursangkar. Aliran permukaan dianggap sebagai aliran tipis yang mengalir di bidang datar, yang berinteraksi dengan kejadian hujan serta proses infiltrasi, sebelum aliran terkonsentrasi menjadi aliran pada saluran alam atau saluran buatan manusia. Dalam menentukan waktu genangan pada terbentuknya aliran permukaan digunakan Persamaan *Green-Ampt*.
3. Penelitian oleh Rohmat dan Setiawan (2010) yang dikembangkan dan digunakan untuk mengkaji tipikal kapasitas infiltrasi di Daerah Aliran Sungai Bagian Hulu (Kasus DAS Cimanuk Hulu). Penelitian ini menggunakan pendekatan empirik-analitik. Penelitian dilakukan terhadap tanah *oxisol* yang digunakan dalam lima jenis penggunaan lahan.

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian terkait dengan analisis volume limpasan dengan menggunakan Metode *Green-Ampt* dengan membandingkan volume limpasan terukur dan volume limpasan Metode *Green-Ampt* di Sub DAS Code di Pogung dan Kaloran serta Sub DAS Gajahwong di Papringan belum pernah dilakukan.

Faedah yang Dapat Diharapkan

Dengan dilakukannya penelitian ini, akan diketahui besarnya potensi volume limpasan baik volume limpasan terukur maupun volume limpasan dengan Metode *Green Ampt* sehingga diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dalam manajemen potensi sumber daya air khususnya di sub DAS kajian.

Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besarnya volume limpasan terukur;
2. Mengetahui besarnya volume limpasan dengan menggunakan Metode *Green-Ampt*;
3. Mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap besarnya volume limpasan.

Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses kontinyu dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali lagi ke bumi (Chow et al., 1988). Dalam Harto (2000), dijelaskan bahwa siklus hidrologi dimulai dari penguapan. Penguapan merupakan proses alami berubahnya molekul cairan menjadi molekul gas/uap. Akibat penguapan, terkumpul massa uap air yang dalam kondisi atmosfer tertentu dapat membentuk awan. Akibat berbagai sebab klimatologis, awan tersebut dapat menjadi awan yang potensial menimbulkan hujan. Air hujan yang jatuh di permukaan bumi terbagi menjadi dua bagian, yaitu (a) aliran limpasan (*overland flow*), (b) air yang terinfiltrasi. Jumlah air yang mengalir sebagai aliran-limpasan dan yang terinfiltrasi tergantung dari banyak faktor. Makin besar bagian air hujan yang mengalir sebagai aliran limpasan, maka bagian air yang terinfiltrasi semakin kecil.

Limpasan Permukaan

Limpasan permukaan merupakan komponen aliran yang besarnya adalah besaran hujan dikurangi besaran infiltrasi (Harto, 2000). Dalam Triatmodjo (2010) dijelaskan bahwa apabila intensitas hujan yang jatuh di suatu DAS melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air akan mengisi cekungan-cekungan pada permukaan tanah. Setelah cekungan-cekungan tersebut penuh, selanjutnya air akan mengalir (melimpas) di atas permukaan tanah. Limpasan permukaan yang merupakan air hujan yang mengalir dalam bentuk lapisan tipis di atas permukaan lahan akan masuk ke parit-parit dan selokan-selokan yang kemudian bergabung menjadi anak sungai dan akhirnya menjadi aliran sungai.

Limpasan dinyatakan dalam volume atau debit. Satuan dari volume limpasan adalah meter kubik, sedang debit adalah volume per satuan waktu yang melalui suatu luasan tertentu dan dinyatakan dalam meter kubik per detik. Di dalam hidrologi, sering limpasan dinyatakan dalam satuan kedalaman. Hal ini dilakukan dengan membagi volume limpasan dengan luas DAS untuk memperoleh kedalaman limpasan ekuivalen yang terdistribusi pada seluruh DAS (Triatmodjo, 2010).

Infiltrasi

Infiltrasi diartikan sebagai proses masuknya air hujan ke dalam tanah. Arsyad (2010) dalam Wicaksono (2016) menyatakan bahwa infiltrasi terjadi akibat dari gaya kapiler (gerakan air ke arah lateral) dan gravitasi (gerakan air ke arah vertikal). Setelah keadaan jenuh pada lapisan tanah bagian atas terlampaui, sebagian dari air tersebut mengalir ke tanah yang lebih dalam sebagai akibat gaya gravitasi bumi dan dikenal sebagai proses perkolasi. Laju maksimal gerakan air masuk ke dalam tanah dinamakan kapasitas infiltrasi. Kapasitas infiltrasi terjadi ketika intensitas hujan melebihi kemampuan tanah dalam menyerap kelembaban tanah. Sebaliknya, apabila intensitas hujan lebih kecil daripada kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi sama dengan laju curah hujan.

Metode *Green-Ampt*

Metode *Green-Ampt* merupakan metode yang sudah dikembangkan sejak lama. Miyazaki (1993) dalam Rohmat dan Setiawan (2010) menyatakan bahwa hingga saat ini metode tersebut masih tetap digunakan karena hasil pendugaan volume limpasan dengan menggunakan metode ini masih memberikan hasil yang baik apabila dibandingkan dengan hasil analisis dengan menggunakan metode-metode infiltrasi terbaru. Metode *Green-Ampt* menarik banyak perhatian dikarenakan metodenya yang sederhana, didasarkan pada karakteristik fisik tanah dan parameternya dapat diukur (Jia and Tamai, 1998). Persamaan yang digunakan pada Metode *Green-Ampt* adalah sebagai berikut (Chow et al., 1988):

$$f(t) = K \left[1 + \frac{\Delta\theta \cdot \Psi}{F(t)} \right] \quad (1)$$

Pada saat terjadi *ponding* (penggenangan) akibat intensitas yang lebih besar dibandingkan dengan laju infiltrasi, persamaan yang digunakan untuk memperoleh kumulatif infiltrasi adalah dengan persamaan berikut:

$$F(t) = \Psi \Delta\theta \ln \left(1 + \frac{F(t)}{\Psi \Delta\theta} \right) + Kt \quad (2)$$

$$F_{t+\Delta t} = F_t + K.\Delta t + \psi.\Delta\theta.\ln\left[\frac{F_{t+\Delta t} + \psi.\Delta\theta}{F_t + \psi.\Delta\theta}\right] \quad (3)$$

$$F_{t+\Delta t} - F_t - \psi.\Delta\theta.\ln\left[\frac{F_{t+\Delta t} + \psi.\Delta\theta}{F_t + \psi.\Delta\theta}\right] = K\Delta t \quad (4)$$

dengan:

Ψ : suction head (cm);

K : konduktivitas hidraulik (cm/jam);

$\Delta\theta$: perubahan kelengasan tanah ($\eta-\theta_1$);

θ_1 : kelengasan awal;

η : kelengasan tanah saat jenuh;

$F(t)$: infiltrasi (cm);

$f(t)$: kecepatan infiltrasi (cm/s).

Rawls, Brakensiek and Miller (1983) dalam Chow et al. (1988) menggunakan metode analisis sekitar 5000 jenis tanah di seluruh Amerika dan menentukan nilai rata-rata dari *Green-Ampt* parameter yang ditunjukkan pada tabel berikut ini (Chow et al., 1988).

Tabel 1. Parameter tanah Metode *Green-Ampt*

| Jenis Tanah | η | θ_e | ψ | K |
|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------|
| <i>Sand</i> | 0,437 (0,374-0,500) | 0,417 (0,354-0,480) | 4,95 (0,97-25,36) | 11,78 |
| <i>Loamy sand</i> | 0,437 (0,363-0,506) | 0,401 (0,329-0,473) | 6,13 (1,35-27,94) | 2,99 |
| <i>Sandy loam</i> | 0,453 (0,351-0,555) | 0,412 (0,283-0,541) | 11,01 (2,67-45,47) | 1,09 |
| <i>Loam</i> | 0,463 (0,375-0,551) | 0,434 (0,334-0,534) | 8,89 (1,33-59,38) | 0,34 |
| <i>Silt loam</i> | 0,501 (0,420-0,582) | 0,486 (0,394-0,578) | 16,68 (2,92-95,39) | 0,65 |
| <i>Sandy clay loam</i> | 0,398 (0,332-0,464) | 0,330 (0,235-0,425) | 21,85 (4,42-108,0) | 0,15 |
| <i>Clay loam</i> | 0,464 (0,409-0,519) | 0,309 (0,279-0,501) | 20,88 (4,79-91,10) | 0,10 |
| <i>Silty clay loam</i> | 0,471 (0,418-0,524) | 0,432 (0,347-0,517) | 27,30 (5,67-131,5) | 0,10 |
| <i>Sandy clay</i> | 0,430 (0,370-0,490) | 0,321 (0,207-0,435) | 23,90 (4,08-140,2) | 0,06 |

| Jenis Tanah | η | θ_e | ψ | K |
|-------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------|
| <i>Silty clay</i> | 0,479 (0,425-0,533) | 0,432 (0,334-0,512) | 29,22 (6,13-139,4) | 0,05 |
| <i>Clay</i> | 0,475 (0,427-0,523) | 0,385 (0,269-0,501) | 31,63 (6,39-156,5) | 0,03 |

Sumber: **Chow et al. (1988)**

Metode *Green-Ampt* merupakan metode pendugaan laju dan kapasitas infiltrasi. Laju infiltrasi merupakan fungsi dari parameter hidraulik tanah, yaitu: permeabilitas, *suction head*, dan kelembaban tanah. Parameter-parameter tersebut mempunyai hubungan erat dengan karakteristik fisik tanah sehingga Metode *Green-Ampt* ini dapat dikatakan menekankan parameter jenis tanah dalam perhitungannya (Rohmat dan Setiawan, 2010). Pada metode ini, jika laju infiltrasi berkurang pada saat itulah dianggap mulai terjadi limpasan. Perhitungan tergantung dari laju infiltrasi yang dihasilkan (Sari, 2014).

Laju infiltrasi maksimum yang terjadi pada kondisi tertentu disebut kapasitas infiltrasi. Kapasitas infiltrasi dapat berbeda-beda sesuai dengan kondisi tanah. Pada tanah yang sama pun, kapasitas infiltrasi dapat berbeda. Tergantung pada kondisi permukaan tanah, struktur tanah, penutupan lahan, dan suhu (Sari, 2014).

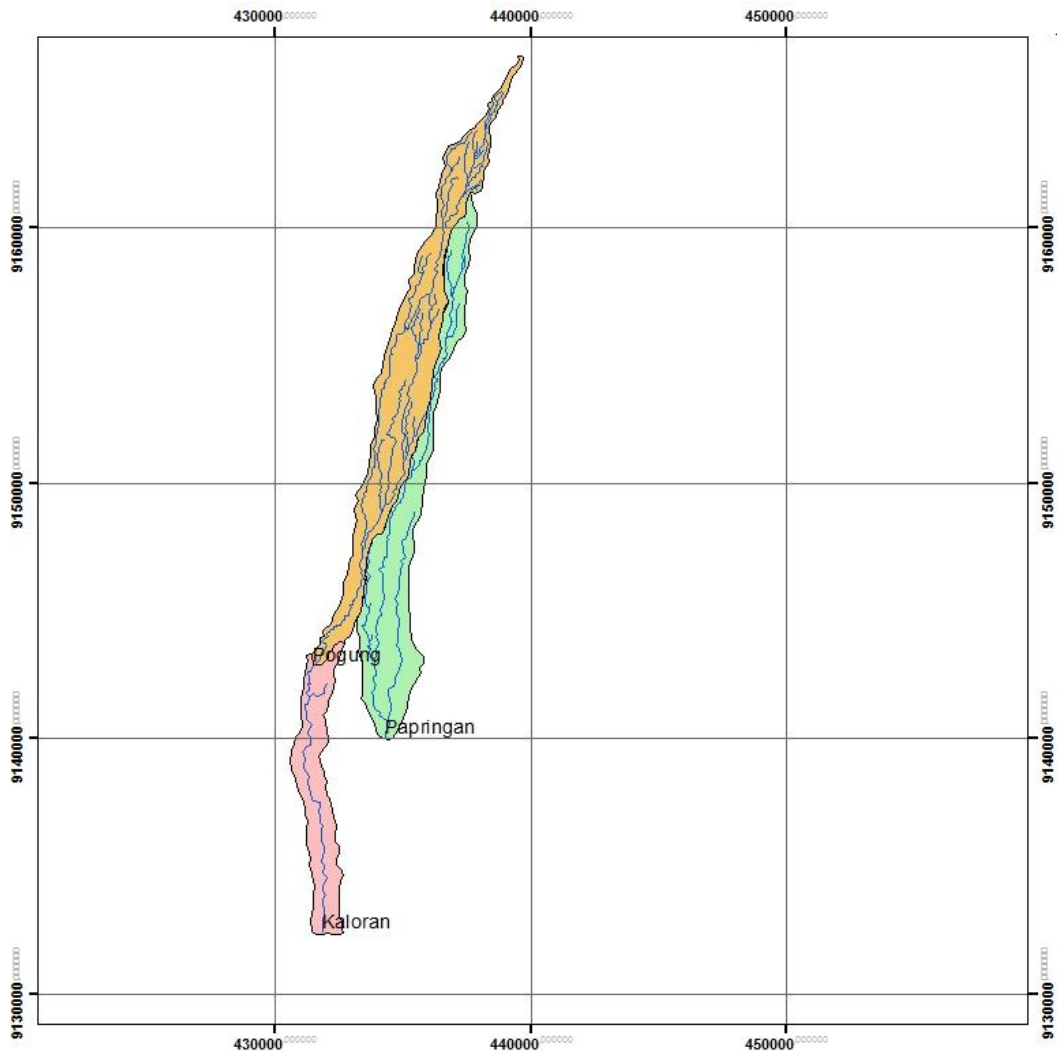
2. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Daerah penelitian meliputi DAS yang berada di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta dengan objek penelitian sebanyak tiga sub DAS berdasarkan nama stasiun AWLR-nya. Data ketiga sub DAS disajikan pada Tabel 2 Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 2. Sub DAS lokasi penelitian

| No | Nama DAS | Nama Sta AWLR | Luas (km ²) |
|----|-----------|-------------------|-------------------------|
| 1 | Code | Pogung Kaloran | 29,05 40,61 |
| 2 | Gajahwong | Papringan | 23,37 |



Gambar 1. Peta Lokasi Sub Das Di Daerah Istimewa Yogyakarta

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data yang dikumpulkan dari berbagai sumber dan instansi terkait, antara lain berasal dari Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Serayu Opak Oyo (BPSDA SOO), Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Yogyakarta (BPDAS Yogyakarta), Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak Oyo (BBWS SOO), dan sumber lain berupa tugas akhir maupun tesis. Data yang diperlukan dan sumbernya dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

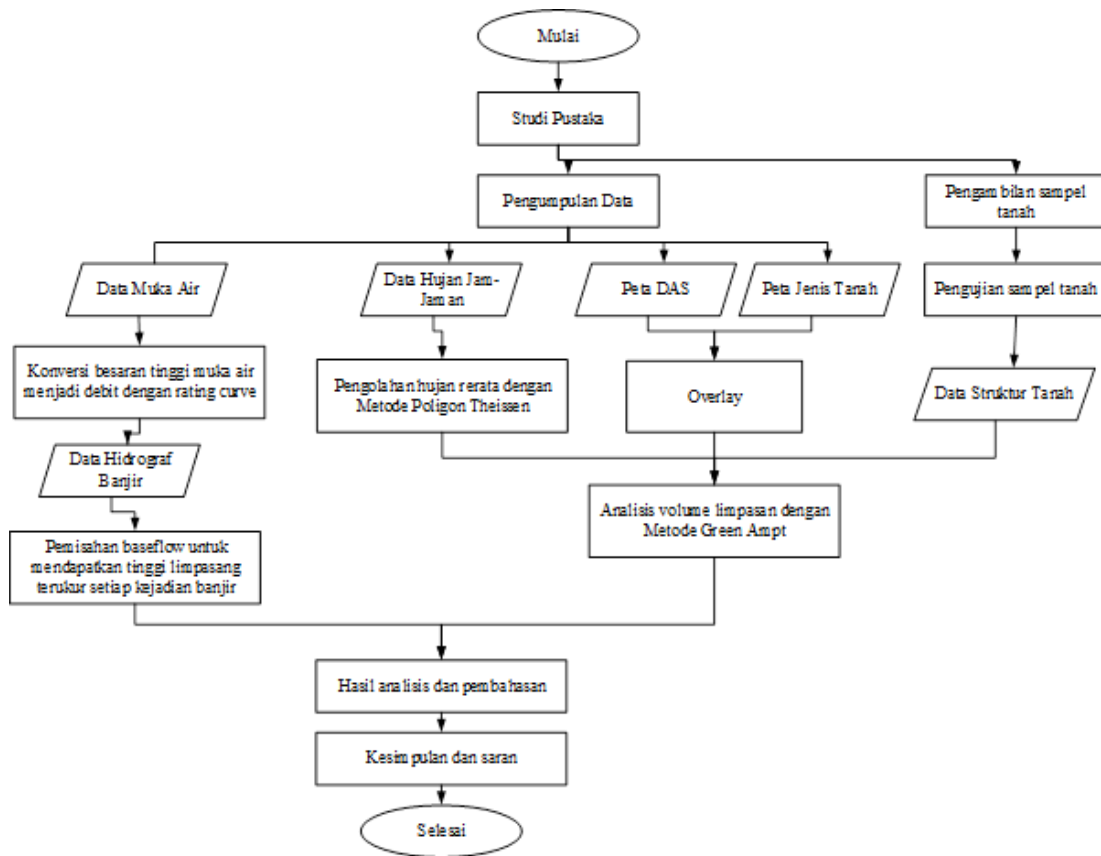
Tabel 3. Jenis Data Yang Digunakan Dan Sumber Data

| No | Jenis Data | Sumber | Tahun |
|----|--|--|-----------|
| 1 | Data Hujan Otomatis | BBWS SOO, Tesis, Laporan penelitian | 1998-2012 |
| 2 | Data Tinggi Muka Air dan <i>Rating Curve</i> | BPSDA SOO, Tesis | 1998-2012 |
| 3 | Data Kejadian Banjir | BPSDA SOO, Tesis | 1998-2012 |
| 4 | Peta Wilayah DAS | BPDAS Yogyakarta | 2017 |
| 5 | Peta Jenis Tanah | BPDAS Yogyakarta | 2017 |
| 6 | Data Jenis dan Struktur Tanah | <i>Google Earth, Harmonized World Soil Database (HWSD), Uji Sampel Tanah</i> | 2017 |

Tahapan Penelitian

Langkah-langkah yang ditempuh untuk memperoleh tujuan akhir dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan studi pustaka,
2. Mengumpulkan data dan informasi tentang sub DAS, yaitu data hujan otomatis, data tinggi muka air, *rating curve*, data kejadian banjir, peta DAS, peta jenis tanah, dan pengujian sampel tanah,
3. Pengolahan data hujan otomatis untuk memperoleh hujan rerata DAS,
4. Transformasi hidrograf tinggi muka air menjadi hidrograf banjir dengan menggunakan persamaan *rating curve* masing-masing sub DAS,
5. Penetapan data kejadian banjir terpilih untuk masing-masing sub DAS yang didapatkan dari data hidrograf banjir berdasarkan nilai debit spesifik dan ketersediaan data hujan tanpa jeda,
6. Analisis volume limpasan terukur pada masing-masing kasus kejadian banjir dengan Metode Garis Lurus (*Straight Line method*),
7. Analisis volume limpasan dengan Metode *Green-Ampt* pada masing-masing kasus kejadian banjir. Secara garis besar bagan alir penelitian dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

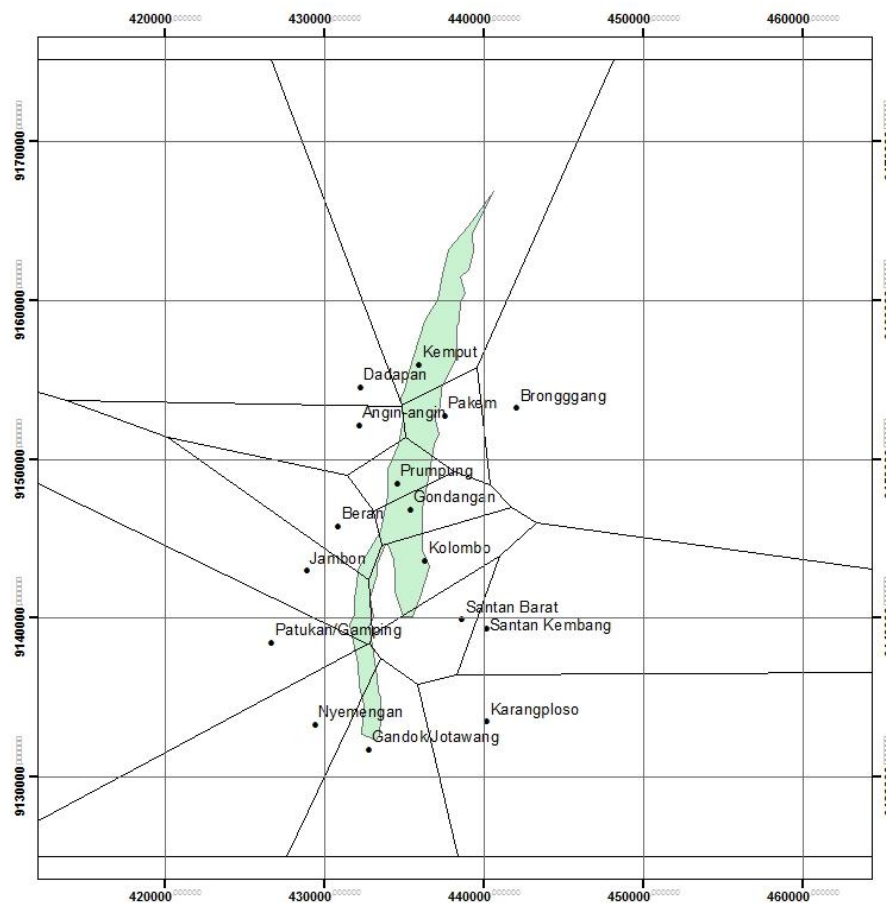


Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hujan Rerata DAS

Dalam penelitian ini, besaran hujan yang digunakan dalam analisis adalah besaran hujan yang dianggap mewakili keseluruhan DAS sehingga perlu dicari besaran hujan rerata DAS. Analisis hujan rerata DAS dilakukan dengan menggunakan *Metode Poligon Thiessen* dengan bantuan *Software Arc GIS 10.1*. Dengan memasukkan koordinat stasiun hujan pada DAS, secara otomatis akan terbentuk *Poligon Thiessen* sesuai koordinat stasiun hujan yang diinput. Hujan yang ditangkap oleh tiap stasiun hujan dikalikan dengan faktor pengaruh luas stasiun hujan terhadap luas keseluruhan DAS. Penjumlahan hujan pada seluruh stasiun hujan yang telah dikalikan faktor pengaruh merupakan hujan rerata DAS. Stasiun hujan yang digunakan dalam analisis untuk setiap kejadian banjir pada masing-masing sub DAS dapat berbeda, tergantung dari ketersediaan data hujan. Apabila dalam analisis digunakan seluruh stasiun hujan yang dianggap berpengaruh pada DAS, *Poligon Thiessen* yang terbentuk dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3. Poligon Yang Terbentuk Pada DAS Kajian

Kasus Kejadian Banjir

Selain mengacu pada penelitian sebelumnya oleh Putri (2014), pemilihan kasus kejadian banjir dalam penelitian ini didasarkan pada nilai $Q_{\text{spesifik}} \geq 0,5$ dimana pada nilai debit spesifik tersebut dianggap telah menimbulkan kejadian banjir yang cukup besar. Nilai Q_{spesifik} diperoleh melalui pembagian antara debit puncak (Q_p) dengan luasan masing-masing sub DAS. Ketersediaan data hujan juga berpengaruh dalam pemilihan kasus kejadian banjir, di mana dipilih kasus kejadian banjir dengan kejadian hujan yang berlangsung secara berurutan dan *continue*. Hal ini dilakukan, karena dalam analisis menggunakan Metode *Green Ampt* dibutuhkan data hujan yang terjadi secara berurutan untuk menentukan waktu *ponding* (penggenangan) dan kedalaman hujan yang menjadi genangan. Kasus kejadian banjir terpilih dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Kejadian Banjir Terpilih Sub DAS Code Di Pogung

| No | Tanggal Kejadian | Debit puncak (m ³ /s) | Jumlah hujan (mm) | Debit spesifik (m ³ /s/km ²) |
|----|------------------|-------------------------------------|----------------------|--|
| 1 | 04 Februari 2000 | 15,41 | 19,57 | 0,53 |
| 2 | 19 November 2001 | 8,69 | 23,86 | 0,30 |
| 3 | 20 Februari 2002 | 6,96 | 23,71 | 0,24 |
| 4 | 03 Maret 2003 | 16,74 | 58,61 | 0,58 |
| 5 | 31 Maret 2005 | 44,46 | 62,54 | 1,53 |

Tabel 5. Kejadian Banjir Terpilih Sub DAS Code Di Kaloran

| No | Tanggal Kejadian | Debit puncak (m ³ /s) | Jumlah hujan (mm) | Debit spesifik (m ³ /s/km ²) |
|----|------------------|-------------------------------------|----------------------|--|
| 1 | 31 Januari 1998 | 17,11 | 36,61 | 0,42 |
| 2 | 20 Februari 1998 | 31,49 | 94,56 | 0,78 |
| 3 | 15 Juni 1998 | 49,18 | 44,74 | 1,21 |
| 4 | 12 Maret 1999 | 21,09 | 18,20 | 0,52 |
| 5 | 13 Desember 1999 | 28,59 | 31,16 | 0,70 |
| 6 | 12 Mei 2002 | 15,29 | 15,04 | 0,38 |
| 7 | 22 Desember 2002 | 21,39 | 12,37 | 0,53 |
| 8 | 25 Desember 2002 | 45,94 | 40,14 | 1,13 |
| 9 | 08 Februari 2003 | 19,62 | 19,57 | 0,48 |
| 10 | 01 Desember 2003 | 36,11 | 40,00 | 0,89 |
| 11 | 29 Januari 2004 | 22,93 | 44,66 | 0,56 |

Tabel 6. Kejadian Banjir Terpilih Sub DAS Gajahwong Di Papringan

| No | Tanggal Kejadian | Debit puncak (m ³ /s) | Jumlah hujan (mm) | Debit spesifik (m ³ /s/km ²) |
|----|------------------|-------------------------------------|----------------------|--|
| 1 | 20 November 2003 | 5,15 | 27,54 | 0,22 |
| 2 | 22 November 2004 | 11,02 | 7,23 | 0,47 |
| 3 | 20 Desember 2006 | 2,12 | 21,76 | 0,09 |
| 4 | 25 Februari 2012 | 13,54 | 32,47 | 0,58 |

Volume Limpasan Terukur

Dalam analisis volume limpasan terukur, dilakukan pemisahan aliran dasar (*base flow*) dengan menggunakan Metode Garis Lurus. Sebelum dilakukan pemisahan *base flow*, debit aliran tiap jam pada kasus kejadian banjir harus diketahui terlebih dahulu. Besarnya debit aliran didapatkan dengan cara mentransformasikan tinggi muka air menjadi debit aliran dengan

persamaan *rating curve*. Contoh perhitungan volume limpasan terukur dapat dilihat pada uraian berikut ini.

Kasus kejadian banjir Sub DAS Code di Pogung tanggal 04 Februari 2000

Tinggi muka air pada jam 18:00 = 0,26 m

$$Q = 8,529(H)^{1,9228}$$

$$Q = 8,529(0,26)^{1,9228}$$

$$Q = 0,64 \text{ m}^3/\text{s}$$

Setelah didapatkan debit aliran, dilakukan pemisahan aliran dasar dengan menggunakan Metode Garis Lurus dan dilakukan pengurangan debit aliran dengan *base flow*. Contoh hasil analisis volume limpasan terukur Sub DAS Code di Pogung kasus kejadian banjir tanggal 04 Februari 2000 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Transformasi Tinggi Muka Air Menjadi Volume Limpasan Langsung Sub DAS Code Di Pogung Kasus Kejadian Banjir Tanggal 04 Februari 2000

| Jam | Tinggi Muka Air (m) | Debit (m ³ /s) | Base flow (m ³ /s) | Limpasan Langsung (m ³ /s) |
|---|---------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| 12:00 | 0 | 0,22 | 0,46 | 0,00 |
| 13:00 | 1 | 0,41 | 1,54 | 1,06 |
| 14:00 | 2 | 0,62 | 3,40 | 2,91 |
| 15:00 | 3 | 1,01 | 8,69 | 8,19 |
| 16:00 | 4 | 0,88 | 6,67 | 6,15 |
| 17:00 | 5 | 0,75 | 4,91 | 4,37 |
| 18:00 | 6 | 0,66 | 3,84 | 3,29 |
| 19:00 | 7 | 0,59 | 3,09 | 2,53 |
| 20:00 | 8 | 0,56 | 2,80 | 2,22 |
| 21:00 | 9 | 0,52 | 2,43 | 1,83 |
| 22:00 | 10 | 0,49 | 2,16 | 1,56 |
| 23:00 | 11 | 0,46 | 1,92 | 1,29 |
| 00:00 | 12 | 0,43 | 1,68 | 1,05 |
| 01:00 | 13 | 0,4 | 1,46 | 0,81 |
| 02:00 | 14 | 0,38 | 1,33 | 0,66 |
| 03:00 | 15 | 0,36 | 1,20 | 0,52 |
| 04:00 | 16 | 0,34 | 1,07 | 0,38 |
| 05:00 | 17 | 0,32 | 0,95 | 0,24 |
| 06:00 | 18 | 0,30 | 0,84 | 0,12 |
| 07:00 | 19 | 0,28 | 0,74 | 0,00 |
| Debit Limpasan Langsung (m ³ /s) | | | | 39,16 |
| Volume Limpasan Langsung (m ³) | | | | 140982,6 |
| Volume Limpasan Terukur (mm) | | | | 4,85 |

Besarnya volume limpasan terukur dapat dihitung dengan membagi volume total aliran limpasan langsung dengan luas DAS. Contoh perhitungan volume limpasan terukur dapat dilihat pada uraian berikut ini.

Kasus kejadian banjir Sub DAS Code di Pogung tanggal 04 Februrari 2000

Luas DAS = 29,05 m²

$$Q_{HLL} = \frac{39,16m^3 / s}{29,05m^2} \times 10^{-3} \times 3600$$

$$= 4,85 \text{ mm}$$

Prosedur yang sama juga diterapkan untuk 19 kasus kejadian banjir lain yang diteliti untuk seluruh sub DAS. Hasil perhitungan volume limpasan terukur disajikan dalam Tabel 8 sampai dengan Tabel 10.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Volume Limpasan Terukur Sub DAS Code Di Pogung

| No | Tanggal Kejadian | P (mm) | Q _{HLL} (mm) |
|----|------------------|-----------|--------------------------|
| 1 | 04 Februari 2000 | 19,57 | 3,83 |
| 2 | 19 November 2001 | 23,86 | 4,85 |
| 3 | 20 Februari 2002 | 23,71 | 3,28 |
| 4 | 03 Maret 2003 | 58,61 | 8,84 |
| 5 | 31 Maret 2005 | 62,54 | 17,41 |

Tabel 9. Hasil Perhitungan Volume Limpasan Terukur Sub DAS Code Di Kaloran

| No | Tanggal Kejadian | P (mm) | Q _{HLL} (mm) |
|----|------------------|-----------|--------------------------|
| 1 | 20 Februari 1998 | 94,56 | 13,69 |
| 2 | 15 Juni 1998 | 44,74 | 12,64 |
| 3 | 12 Maret 1999 | 18,20 | 7,24 |
| 4 | 13 Desember 1999 | 31,16 | 12,63 |
| 5 | 12 Mei 2002 | 15,04 | 7,25 |
| 6 | 22 Desember 2002 | 12,37 | 9,10 |
| 7 | 25 Desember 2002 | 40,14 | 18,72 |
| 8 | 08 Februari 2003 | 19,57 | 9,47 |
| 9 | 21 Februari 2003 | 8,85 | 3,19 |
| 10 | 01 Desember 2003 | 40,00 | 6,13 |
| 11 | 29 Januari 2004 | 44,66 | 11,60 |

Tabel 10. Hasil Perhitungan Volume Limpasan Terukur Sub DAS Gajahwong Di Papringan

| No | Tanggal | P (mm) | Q _{HLL} (mm) |
|----|------------------|-----------|--------------------------|
| 1 | 20 November 2003 | 27,54 | 1,67 |
| 2 | 22 November 2004 | 7,23 | 3,21 |
| 3 | 20 Desember 2006 | 21,76 | 1,77 |
| 4 | 25 Februari 2012 | 32,47 | 2,94 |

Volume Limpasan Metode *Green-Ampt*

Dalam analisis volume limpasan menggunakan Metode *Green-Ampt*, dilakukan penekanan terhadap parameter tanah di lokasi kajian. Dalam penelitian ini, penentuan parameter tanah berupa nilai *suction head*, konduktivitas hidraulik, kelengasan awal, dan kelengasan tanah saat jenuh mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Brooks and Corey (1964) dalam Ven Te Chow (1988), yang nilainya dapat dilihat pada Tabel 1. Sementara itu, nilai *effective saturation* (S_e) mengacu pada M. Karamouz et al. (2013). Untuk penentuan jenis tanah di sub DAS kajian, dilakukan pembacaan menggunakan *software Harmonized World Soil Database* (HWSD) dengan cara memasukkan batas DAS dari peta yang sebelumnya telah diolah menggunakan Arc GIS 10.1 serta koordinat lokasi stasiun AWLR. Selain itu, untuk memastikan jenis tanah di sub DAS kajian dilakukan pengambilan sampel pada masing-masing sub DAS kajian. Dari kedua sumber analisis, diperoleh informasi bahwa untuk seluruh sub DAS kajian, yaitu Sub DAS Code di Pogung dan Kaloran serta Sub DAS Gajahwong di Papringan terdiri dari tanah jenis *sandy loam*. Oleh karena itu, digunakan nilai Ψ (*suction head*) 11,01 cm; K (konduktivitas hidraulik) 1,09 cm/jam; θ_e (kelengasan awal) 0,412 jam; η (kelengasan tanah saat jenuh) 0,453; dan $S_e=40\%$.

Volume Limpasan Terukur dan Volume Limpasan *Green-Ampt*

Dalam penelitian ini, terdapat perbedaan hasil analisis volume limpasan yang diperoleh dari analisis volume limpasan terukur dan volume limpasan menggunakan Metode *Green-Ampt*. Berdasarkan hasil analisis volume limpasan terukur pada Tabel 8 sampai dengan Tabel 10 diketahui bahwa masing-masing kasus kejadian banjir terpilih memicu terjadinya limpasan. Sementara itu, berdasarkan hasil analisis Metode *Green-Ampt* diketahui bahwa dari 20 kasus

kejadian banjir pada ketiga sub DAS, hanya 1 (satu) kejadian banjir yang mengakibatkan terjadinya limpasan, yaitu kasus kejadian banjir 20 Februari 1998 di Sub DAS Kaloran. Analisis volume limpasan terukur dilakukan dengan menggunakan data tinggi muka air dan luasan DAS sebagai masukan. Sementara itu, analisis volume limpasan dengan Metode *Green-Ampt* dilakukan dengan menggunakan data hujan durasi pendek penyebab banjir berupa data hujan jam-jaman dan parameter tanah sebagai masukan.

Dalam penelitian ini, analisis volume limpasan terukur dengan Metode Garis Lurus dilakukan tanpa memperhatikan kemampuan tanah yang sebenarnya dalam menginfiltrasikan air sehingga akan selalu diperoleh hasil berupa terjadinya limpasan. Selain itu, dalam kenyataannya jenis tanah yang ada di bantaran sungai tidak dapat dipastikan apakah merupakan jenis tanah asli atau berupa sedimen yang kemungkinan mempunyai karakter yang berbeda dengan tanah asli di lokasi tersebut sehingga akan berpengaruh terhadap potensi limpasan di lapangan. Sementara itu, dalam analisis volume limpasan dengan Metode *Green-Ampt* kemampuan infiltrasi tanah berpengaruh terhadap hasil analisis sehingga tidak semua kedalaman hujan mampu menyebabkan terjadinya limpasan. Namun demikian, dalam penelitian ini analisis volume limpasan dengan Metode *Green-Ampt* tidak memperhatikan perbedaan/perubahan tata guna lahan sehingga karakteristik tanah di seluruh area diasumsikan sama yang belum tentu sesuai dengan kenyataan yang ada. Hal lain yang juga berpengaruh adalah penggunaan hujan jam-jaman sebagai masukan dalam analisis volume limpasan Metode *Green-Ampt* yang dirasa kurang sesuai dengan kenyataan di lapangan, di mana infiltrasi dapat terjadi dalam interval waktu yang relatif lebih kecil dibandingkan durasi hujan jam-jaman. Namun demikian, dikarenakan adanya keterbatasan data hujan di mana data yang diperoleh adalah data hujan jam-jaman dan belum ditemukan metode yang sesuai untuk mengubah data tersebut ke dalam interval menit, maka dalam penelitian ini tetap digunakan data hujan dengan durasi jam-jaman.

Ponding

Ketika hujan terjadi, hujan akan berubah menjadi genangan hanya apabila intensitas hujan lebih besar daripada laju infiltrasi tanah. Berikut adalah hasil analisis volume limpasan dengan menggunakan Metode *Green-Ampt* di mana untuk kasus kejadian banjir 20 Februari 1998 di Sub DAS Kaloran terjadi *ponding* (penggenangan).

Tabel 11. Terjadinya Ponding Sub DAS Code Di Kaloran Pada Kasus Kejadian Banjir 20 Februari 1998

| Waktu (jam) | Pt (cm) | $\sum Pt$ (cm) | Intensitas (cm/jam) | Infiltrasi, ft (cm/jam) | $\sum Infiltrasi$ Ft (cm) | Fi+ Δt (trial) | Δ | $\sum ER$ (cm) | ER (cm) | ER (mm) |
|-------------|---------|----------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|----------|----------------|---------|---------|
| 0 | | 0,00 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | | | | | |
| 1 | 0,26 | 0,26 | 0,71 | 12,63 | 0,26 | | | | | |
| 2 | 0,71 | 0,97 | 1,49 | 4,15 | 0,97 | | | | | |
| 3 | 1,49 | 2,46 | 1,89 | 2,29 | 2,46 | | | | | |
| 4 | 1,89 | 4,35 | 2,39 | 1,76 | 4,43 | 4,43 | 0,00 | - | - | - |
| 5 | 2,39 | 6,74 | 1,24 | 1,58 | 6,09 | 6,09 | 0,00 | 0,66 | 0,66 | 6,58 |
| 6 | 1,24 | 7,99 | 0,82 | 1,48 | 7,61 | 7,61 | 0,00 | 0,38 | - | - |
| 7 | 0,82 | 8,81 | 0,65 | 1,42 | 9,06 | 9,06 | 0,00 | - | - | - |
| 8 | 0,65 | 9,46 | | 1,37 | 10,45 | 10,45 | 0,00 | - | - | - |
| 9 | 9,46 | | | | | | | | 0,66 | 6,58 |

Keterangan: Pt=kedalaman hujan, $\sum Pt$ =kumulatif kedalaman hujan, Fi+ Δt =ponding/penggenangan, ER=*effective rainfall*/hujan efektif, $\sum ER$ = *effective rainfall*/kumulatif hujan efektif.

Berdasarkan hasil analisis terlihat bahwa *ponding* (penggenangan) mulai terjadi pada jam ke-4, yaitu ketika intensitas hujan lebih besar daripada kapasitas infiltrasi tanah dan terus terjadi sampai dengan jam ke-6. Pada *initial time*, diasumsikan bahwa tanah masih dalam kondisi kering sehingga seluruh hujan yang jatuh ke permukaan tanah akan terinfiltrasi. Seiring dengan bertambahnya waktu, maka terdapat potensi terjadinya penggenangan. Dengan melakukan pengurangan antara kumulatif hujan dengan kumulatif infiltrasi akan diperoleh nilai kumulatif *Excess Rainfall* (ER).

Berdasarkan hasil analisis volume limpasan, diketahui bahwa volume limpasan terukur memberikan nilai yang mengindikasikan terjadinya limpasan. Hal ini dapat dipahami di mana data yang digunakan dalam analisis adalah berupa data tinggi muka air tanpa memperhatikan parameter tanah, sehingga tidak diketahui apakah jenis tanah yang ada di sekitar stasiun ALWR dan bantaran sungai masih sama dengan tanah asli berupa *sandy loam* yang memiliki kemampuan infiltrasi cukup baik. Sementara itu, dalam analisisnya Metode *Green-Ampt* menunjukkan hasil bahwa ada atau tidak adanya genangan sangat dipengaruhi oleh parameter tanah.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan yaitu terdapat perbedaan hasil analisis antara volume limpasan terukur dengan volume limpasan menggunakan Metode *Green-Ampt*. Berdasarkan hasil analisis volume limpasan terukur diketahui bahwa masing-masing kasus kejadian banjir terpilih memicu

terjadinya limpasan. Sementara itu, berdasarkan hasil analisis Metode *Green-Ampt* diketahui bahwa dari 20 kasus kejadian banjir pada ketiga sub DAS, hanya 1 (satu) kejadian banjir yang mengakibatkan terjadinya limpasan, yaitu kasus kejadian banjir 20 Februari 1998 di Sub DAS Kaloran. Perbedaan hasil analisis volume limpasan dapat terjadi dikarenakan adanya perbedaan *input* dalam analisis. Karakteristik tanah berupa kemampuan infiltrasi tanah dan tata guna lahan berpengaruh terhadap hasil analisis.

Saran

Berdasarkan tahapan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, terdapat beberapa hal yang dapat menjadi saran dan bahan pertimbangan untuk menghasilkan penelitian selanjutnya yang lebih baik, yaitu sebaiknya digunakan data hujan dengan interval lebih kecil dari data hujan jam-jaman sehingga diperoleh hasil yang lebih representatif, besaran parameter dalam Metode *Green-Ampt* sebaiknya dikalibrasi dengan menggunakan data lapangan dan diaplikasikan pada daerah dengan kedalaman hujan yang tinggi, dan sebaiknya dilakukan analisis volume limpasan untuk berbagai penggunaan lahan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang mendukung dan membantu terlaksananya penelitian ini. Kepada Jajaran Pimpinan Sekolah Vokasi UGM, Jajaran Pengelola Departemen Teknik Sipil Sekolah Vokasi UGM, partner dan asisten penelitian serta teman-teman diskusi di Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik UGM.

6. DAFTAR PUSTAKA

Chow, V.T., Maidment, M.R., and Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.

Green, W.H. & G. Ampt. (2011). *Physical Hydrology for Ecosystems. J. Ag. Sci.* 4: 1-24.

Harto, Sri. (2000). *Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian*. Yogyakarta: Nafiri Offset.

Jia, Y. & Tamai, N. (1998). Modeling Infiltration into Multi-Layered Soil During an Unsteady Rain. *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering* 16 (2):1-10.

M. Karamouz, S. Nazif, & M. Falahi. (2013). *Hydrology and Hydroclimatology*. New York: Taylor and Francis Group.

Putri, Rena Sempana Wahyu. (2014). *Uji Validitas Metode SCS-CN untuk Analisis Volume Limpasan*. Tesis. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Rohmat, Dede & Iwan Setiawan. (2010). Tipikal Kuantitas Infiltrasi Menurut Karakteristik Lahan (Kajian Empirik di DAS Cimanuk Bagian Hulu). *Bionatura Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik* 12 (1): 14:24.

Sari, Anggi Nidya. (2014). *Kajian Beberapa Metode Perhitungan Hujan Efektif dan Pengaruhnya terhadap Hidrograf Satuan*. Tesis. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Suprpto, Mamok. (2013). Pengalihragaman Hujan-Aliran dengan Hampiran Teragih. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 Universitas Sebelas Maret Surakarta A*: 192-199.

Triatmodjo, Bambang. (2010). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.

Wicaksono, Dwi. (2016). *Kapasitas Infiltrasi dan Permeabilitas Tanah pada Berbagai Penggunaan Lahan Di Model DAS Mikro (MDM) Watugede, Kabupaten Gunungkidul*. Skripsi. Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.