STUDI LAJU INFILTRASI DI KAWASAN RAWAN BENCANA DAS PUTIH PASCA ERUPSI GUNUNG MERAPI TAHUN 2010[1]

DANANG SASONGKO[2]

INTISARI

Erupsi Gunung Merapi yang terjadi pada tahun 2010 yang lalu adalah letusan terbesar, mengakibatkan aliran lahar dingin dengan membawa volume material yang mencapai 150 juta m^3 yang tersebar di sungai-sungai yang berhulu di Gunung Merapi. Salah satu material yang paling dominan adalah abu vulkanik. Material ini memiliki sifat yang cepat mengeras dan sulit ditembus oleh air, baik dari atas maupun dari bawah permukaan, sehingga menyebabkan peresapan air ke dalam tanah (infiltrasi) menjadi terganggu. Kapasitas peresapan air ke dalam tanah (kapasitas infiltrasi) menentukan besarnya limpasan permukaan (surface run off), sehingga perlu adanya penelitian untuk mengetahui nilai kadar air, kapadatan tanah lapangan, kapasitas infiltrasi, dan volume total air air setelah terjadinya erupsi (pasca erupsi) Gunung Merapi.

Pada kajian ini pemeriksaan kepadatan tanah lapangan menggunakan alat kerucut pasir (sand cone) dan untuk pengambilan sampel tanah menggunakan silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 30 cm. Sedangkan untuk pengukuran laju infiltrasi menggunakan double ring infiltrometer dengan ukuran diameter ring 55 cm dan 30 cm, dengan tinggi 27 cm. Penelitian dilakukan di KRB Gunung Merapi DAS Putih. Titik-titik pengujian terbagi menjadi tiga lokasi yaitu KRB I, KRB II, dan KRB III, dalam satu titik dilakukan dua kali pengujian untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Pelaksanaan Penelitian dilakukan secara berkala selama empat hari dan dibagi menjadi dua tahap. Tahap pertama yaitu pengujian kepadatan tanah, pengambilan sampel tanah, dan laju infiltrasi yang dilakukan di lapangan pada Hari Kamis, 2 Maret 2017 dan Hari Jum"at, 3 Maret 2017. Tahap kedua yaitu pengujian kadar air yang dilakukan di laboratorium yaitu pada Hari Senin dan Selasa, 13-14 Maret 2017.

Nilai kadar air pada KRB I sebesar 38,27 %, pada KRB II sebesar 22 %, pada KRB III sebesar 23.66 %. Nilai kepadatan tanah lapangan pada KRB I sebesar 8,82 kN/m^3, pada KRB II sebesar 13,59 kN/m^3, pada KRB III sebesar 11,84 kN/m^3. Nilai kapasitas infiltrasi pada KRB I sebesar 63,356cm/jam, pada KRB II sebesar 3,057 cm/jam, pada KRB III sebesar 27,046 cm/jam. Volume total air infiltrasi area $1m^2$ pada KRB I sebesar 0,6427 m^3, pada KRB II sebesar 0,051 m^3, pada KRB III sebesar 0,311 m^3.

Kata kunci : KRB, kadar air tanah, kepadatan tanah lapangan, kapasitas infiltrasi, volume total air infiltrasi

1. Disapaikan pada seminar Tugas Akhir, 4 Mei 2017
2. Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil
   Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

ABSTRACT

Merapi eruption in 2010 is the biggest eruption, caused lava flow with 150 million m^3 debris volume that were located in river upstreams around merapi volcano. One of dominant material is volcanic ash, this material is harden quickly and impermeable which disturb water infiltration. Infiltration capacity determine surface run off volume, so that study to determine water content, soil density, infiltration capacity, and water total volume post eruption.

In this this study, sand cone apparatus were used to determine soil density and soil sampling uses cylinder with 10cm in diameter and 30cm in height. Infiltration rate determinated with double ring infiltrometer with ring with 55 cm diameter and 30 cm, with 27 cm height. This study conducted in KRB kali putih watershed. Study can be divided into 3 locations; KRB I, KRB II and KRB III, on one location, test were conducted twice to get accurate result. Study were conducted for 4 days and consisted of 2 phase. First phase were soil density test, soil sampling, and infiltration rate which were conducted on field at Thursday, 2nd march 2017 and Friday, 3rd march 2017. Second test were water content determination that were conducted on laboratory at 13-14th maarch 2017.

Water content of KRB I is 38,27%, on KRB II is 22%, on KRB III is 23,66%. Soil density on KRB I is 8,82 kN/m^3, on KRB II is 13,59 kN/m^3, on KRB III is 11,84 kN/m^3. Infiltration capacity on KRB I is 63,356cm/hour, on KRB II is 3,057 cm/hour, on KRB III is 27,046 cm/hour. The total water volume of infiltration area of 1 m2 at KRB I location is 0,6427 *m^3, KRB II location is* 0,051 *m^3 and KRB III location is* 0,311 *m^3.*

Keywords : KRB, soil water content, soil density, infiltration capacity, total water volume of infiltration

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Erupsi Gunung Merapi yang terjadi pada tahun 2010, mengakibatkan aliran lahar dingin dengan membawa volume material yang mencapai 150 juta m^3 yang tersebar di sungai-sungai yang berhulu di Gunung Merapi (Giyarsih dkk. dalam Nurjanah, 2016). Marfai dkk. (dalam Nurjanah, 2016) menyatakan bahwa banjir lahar yang berasal dari erupsi Gunung Merapi mengalir melalui sungai-sungai yang berhulu di Gunung Merapi, antara lain Kali Trinsing, Kali Senowo, Kali Pabelan, Kali Putih, Kali Krasak, Kali Bebeng, Kali Batang, Kali Lamat, Kali Blongkeng.

Bencana sekunder berupa banjir lahar dingin yang terjadi akibat erupsi Gunung Merapi tersebut membawa material-material vulkanik, sehingga terjadi pengendapan (sedimentasi) yang menyebabkan lahan-lahan di kawasan lereng Gunung Merapi khususnya pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Putih menjadi tertutup oleh sedimen dari material vulkanik tersebut.

Aliran permukaan (*surface run off*) sebagai sub komponen terbesar dalam aliran langsung berasal dari air hujan yang mencapai sungai melalui permukaan tanah. Besar kecilnya aliran permukaan, dipengaruhi oleh curah hujan, infiltrasi, intersepsi, evapotranspirasi dan *storage* (Rohmat dan Soekarno, 2006). Kapasitas peresapan air ke dalam tanah (kapasitas infiltrasi) menentukan besarnya limpasan permukaan (*surface run off*), sehingga perlu adanya penelitian untuk mengetahui nilai kapasitas infiltrasi tanah setelah terjadinya erupsi (pasca erupsi) Gunung Merapi 2010.

Kapasitas peresapan air ke dalam tanah (kapasitas infiltrasi) menentukan besarnya limpasan permukaan (*surface run off*), sehingga perlu adanya penelitian untuk mengetahui nilai kapasitas infiltrasi setelah terjadinya erupsi (pasca erupsi)Gunung Merapi.

keseimbangan air dapat dilakukan dengan menyerapkan air kedalam tanah melalui resapan buatan sehingga kapasitas air tanah tercukupi dan limpasan permukaan menjadi normal. Nilai infiltrasi dipengaruhi oleh adanya volume air hujan atau tampungan, keadaan permukaan tanahnya, jenis dan karakeristik tanahnya dan unsur-unsur lainya. Laju infiltrasi dan kemampuan maksimum infltrasi akan berbeda untuk karakteristik dan kondisi tanah yang berbeda (Barid dkk, 2007).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Berapakah nilai kepadatan tanah dan kadar air tanah di kawasan rawan bencana DASPutihsebelum dan sesudah erupsi Gunung Merapi?
2. Berapakah kapasitas infiltrasi tanah dan volume total air infiltrasi di kawasan rawan bencana DASPutihsebelum dan sesudah erupsi Gunung Merapi?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian “Studi Laju Infiltrasi di DAS Kali Putih Pasca Erupsi Merapi 2010” antara lain :

1. Mengetahui nilai kepadatan tanah dan kadar air tanah di kawasan rawan bencana DASPutih sebelum dan sesudah erupsi Gunung Merapi.
2. Mengetahui nilai kapasitas infiltrasi tanah dan volume total air infiltrasi di kawasan rawan bencana DASPutih sebelum dan sesudah erupsi Gunung Merapi.

D. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini difokuskan pada kawasan rawan bencana lereng Gunung Merapi di DAS Putih.
2. Pengambilan data dilakukan pada bagian hulu, tengah dan hilir sungai pada setiap pengujian.
3. Penentuan bagian hulu, tengah, dan hilir didasarkan pada peta Kawasan Rawan Bencana (KRB) yang dikeluarkan oleh Badan Peyelidikan dan Pengembang Teknologi Kebencanaan Geologi(BPPTKG) – Kementrian Energi dan Sumber Daya Alam (ESDM)tahun 2010.

E. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat dalam perkiraan debit banjir,sehingga bisa untuk mengantisipasi dampak bencana banjir di DAS Putih pada kawasan lereng Gunung Merapi ataupun seluruh kawasan lereng gunung di wilayah Indonesia akibat limpasan langsung. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi rujukan kepada orang lain apabila akan melaksanakan penelitian yang sama di tempat yang berbeda.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian tentang studi laju infiltrasi tanah pasca erupsi Merapi 2010 sudah ada yang melakukan namun berbeda lokasi. Adapun hasil penelitiannya sebagai berikut:

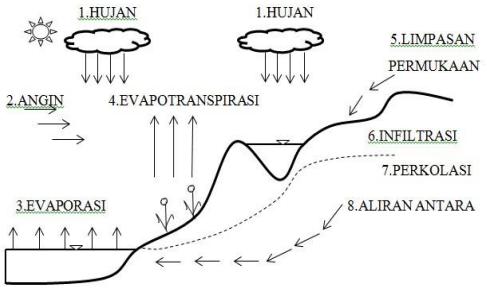
1. Karakteristik laju infiltrasi pada lahan tertutup abu adalah memiliki rerata laju infiltrasinya adalah 0,051 cm/menit. Semakin tebal abu maka laju infiltrasi semakin rendah. Semakin halus tekstur abu maka infiltrasi juga semakinrendah
2. Karakteristik laju infiltrasi pada lahan tertutup pasir-kerikil adalah dengan rerata laju inifiltrasi konstannya adalah 0,487 cm/menit. Semakin kompak campuran pasir dan kerikil serta abu, maka laju infiltrasi semakin rendah. Begitu pula dengan tekstur yang makin kasar maka laju infiltrasi semakinbesar.
3. Karakteristik laju infiltrasi pada lahan tidak tertutup material piroklastik adalah memiliki rerata laju infiltrasi 0,375 cm/menit. Perbedaan pada masing-masing sampel pengujian infiltrasi adalah dikarenakan perbedaan tekstur tanah, selain itu juga pengaruh dari penggunaanlahan.
4. Imbuhan airtanah lokal Sub DAS Gendol menggunakan metode imbangan air adalah 357 mm/tahun.m^2pada lerengterjal, 359 mm/tahun.m^2pada lereng miring dan 347 mm/tahun.m^2pada lereng landai. Secara total Sub DAS Gendol memiliki nilai imbuhan airtanah lokal 19.034.165 m^3/tahun.

LANDASAN TEORI

A. Hidrologi

Soemarto (1999) mengemukakan bahwa hidrologi adalah suatu ilmu tentang kehadiran dan gerakan air di bumi, meliputi bentuk air, termasuk perubahan antara keadaan cair, padat, dan gas dalam atmosfir, di atas dan di bawah permukaan tanah. Di dalamnya tercakup pula air laut yang merupakan sumber dan penyimpan air yang mengatifkan kehidupan di planet bumi ini. Secara umum peranan hidrologi untuk analisis karakteristik keberadaan air tentang jumlah, waktu dan tempat, serta persoalan yang ada terkait dengan rencana pemanfaatan sumber daya air. Selanjunya hasil analisis tersebut merupakan masukan untuk menyusun petunjuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air.

Daur atau siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, kemudian jatuh ke permukaan tanah, dan akhinya mengalir ke laut kembali. Siklus air tersebut dapat digambarkan secara skema pada Gambar dibawah ini.



Gambar 1Siklus Hidrologi

B. Sedimentasi

Soemarto (1999) berpendapat bahwa sedimentasi dapat didefinisikan sebagai pengangkutan, melayangnya (suspensi) atau mengendapnya material *fragmentasi* oleh air. Sedimentasi merupakan akibat adanya erosi, dan memberi dampak banyak disungai, saluran, waduk, bendungan atau pintu-pintu air, dan disepanjang sungai. Sedimen di dalam sungai terlarut atau tidak terlarut merupakan produk dari pelapukan bantuan induk yaitu partikel-partikel tanah. Begitu sedimen memasukki badan sungai, maka berlangsunglah pengangkutan sedimen.

Penghasil sedimen terbesar adalah erosi permukaan lereng pegunungan, erosi sungai (dasars dan tebing alur sungai) dan bahan-bahan

hasil letusan gunung berapi yang masih aktif (Asdak dalam Nurjanah, 2016). Hasil sedimen (*sedimen yield*) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Hasil sedimen tergantung pada besarnya erosi total di DAS dan tergantung pada *transport* partikel-partikel tanah yang tererosi tersebut keluar dari daerah tangkapan air DAS. Daerah aliran sungai (DAS) didefinisikan sebagai suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh kontur tertinggi atau punggung-punggung gunung. Daratan tersebut berfungsi untuk menampung dan menyimpan air hujan dan kemudian dialirkan ke laut melalui sungai utama. DAS memiliki karakteristik dan parameter DAS masing-masing tergantung dari tata guna lahan dan kondisi geologi DAS (Triatmodjo, 2008).

C. Infiltrasi

Infiltrasi adalah peristiwa masuknya air kedalam tanah, umumnya (tetapi tidak pasti), melalui permukaan dan secara vertikal. Setelah beberapa waktu kemudian, air yang infiltrasikan setelah dikurangi sejumlah air untuk mengisi rongga tanah akan mengalami perkolasi. Perkolasi gerakan air ke bawah dari zona tidak jenuh (antara permukaan tanah sampai permukaan air tanah) ke dalam daerah jenuh (daerah di bawah permukaan air tanah) (Soemarto, 1999). Proses infiltrasi ini merupakan bagian yang sangat penting dalam daur ulang hidrologi maupun dalam proses pengalihan hujan menjadi aliran dalam tanah sebelum mencapai sungai. Karakteristik dari suatu kawasan berpengaruh terhadap besarnya infiltrasi pada kawasan tersebut.

Menurut Soemarto (1999) infitrasi mempunyai arti penting terhadap beberapa hal sebagai berikut:

a. Proses limpasan (*run-off*)

   Daya infiltrasi menentukan banyaknya air hujan yang dapat diserap ke dalam tanah. Sekali air hujan tersebut masuk kedalam tanah ia dapat diuapkan kembali atau dapat juga mengalir sebagai air tanah. Aliran air tanah berjalan sangat lambat. Semakin besar daya infilrasi, perbedaan antara intensitas hujan dengan daya infiltrasi menjadi semakin kecil, akibatnya limpasan permukaannya juga semakin kecil, sehingga debit puncaknya juga akan lebih kecil.

b. Pengisian lengas tanah (*soil moisture*) dan air tanah

   Lengas tanah adalah air yang mengisi sebagian atau seluruh ruangpori tanah dan teradsorpsi pada permukaan zarah tanah. Lengas tanah juga dapat diartikan sebagai air yang terdapaat dalam tanah yang terikat oleh berbagai kakas, yaitu kakas ikat matrik, osmosis, dan kapiler (Notohadiprawiro, 2000). Pengisian lengas tanah dan air tanah penting untuk tujuan pertanian. Akar tanaman menembus zone tidak jenuh dan menyerap air yang diperlukan untuk evapotranspirasi dari zone tidak jenuh tadi. Pengisian kembali lengas tanah sama dengan selisih antara infiltrasi dan perkolasi (jika ada). Pada permukaan air tanah yang dangkal dalam lapisan tanah yang berbutir tidak begitu besar, pengisian kembali lengas tanah ini dapat pula diperoleh dari kenaikan kapiler air tanah.

Menurut Triatmodjo (2009), laju infiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

a. Kedalaman genangan dan tebal lapis jenuh.
b. Kelembaban tanah.
c. Pemampatan oleh hujan.
d. Penyumbatan oleh butir halus.
e. Tanaman penutup.
f. Topografi.
g. Intensitas hujan.

D. Kadar air

Air tanah merupakan fase cair tanah yang mengisi sebagian atau keseluruhan ruang pori tanah. Air tanah berperan penting dari segi pedogenesis maupun dalam hubungannya dengan pertumbuhan tanaman (*Edapologi*). Kadar air tanah dapat dinyatakan sebagai perbandingan berat air tanah terhadap berat tanah basah, perbandingan berat air tanah terhadap berat tanah kering, dan perbandingan volume air tanah terhadap volume tanah. Tanah basah adalah tanah yang mempunyai kandungan air diatas kapasitas lapang dimana kandungan air tanah dalam kondisi pori makro tanah terisi oleh udara, sedangkan pori mikro diisi seluruhnya atau sebagian oleh air. Tanah kering adalah tanah yang mempunyai kandungan air kurang dari titik layu permanen dimana kandungan air yang

tertinggal di dalam tanah berada dalam pori mikro yang terkecil dan di sekitar butir-butir tanah, sedangkan tanah lembab adalah tanah yang mempunyai kandungan air diantara kapasitas lapang dan titik layu permanen dimana pada keadaan ini, air akan tersedia bagi tanaman (Sarief dalam Saribun, 2007).

E. Kepadatan tanah

Menurut Mandang dan Nishimura (dalam Burdiono, 2012), Pemadatan tanah merupakan perubahan keadaan dimana terjadi penyusutan volume tanah atau terjadi kenaikan berat tanah pada satu satuan volume tertentu. Kondisi tanah atau tingkat kepadatan tanah dapat ditentukan dengan parameter parameter tertentu seperti *Void ratio*, porositas, *bulk density*, dan berat jenis isi. *Void ratio* adalah perbandingan antara volume pori terhadap volume padatan. Porositas adalah perbandingan volume pori terhadap volume total. *Bulk density* adalah perbandingan berat tanah terhadap volume tanah total dan berat isi tanah adalah perbandingan berat kering tanah terhadap volume padatan.

Menurut Harris (dalam Burdiono, 2012) menyatakan bahwa ada empat hal yang mungkin terjadi sehingga menghasilkan perubahan tingkat kepadatan tanah, yaitu :

1. Pemampatan partikel-partikel padatan tanah.
2. Pendesakkan cairan dan gas pada ruang pori tanah.
3. Perubahan kandungan cairan dan gas di dalam ruang pori tanah.
4. Perubahan susunan partikel-partikel padatan tanah.

F. Limpasan

Limpasan adalah apabila intensitas hujan yang jatuh di suatu DAS melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrsi terpenuhi air akan mengisi cekungan-cekungan pada permukaan tanah. Setelah cekungan-cekungan tersebut penuh, selanjutnya air akan mengalir (melimpas) di atas permukaan tanah. Aliran air tanah adalah aliran yang terjadi di bawah permukaan air tanah ke elevasi yang lebih rendah yang akhirnya menuju sungai atau langsung ke laut (Triatmodjo, 2008).

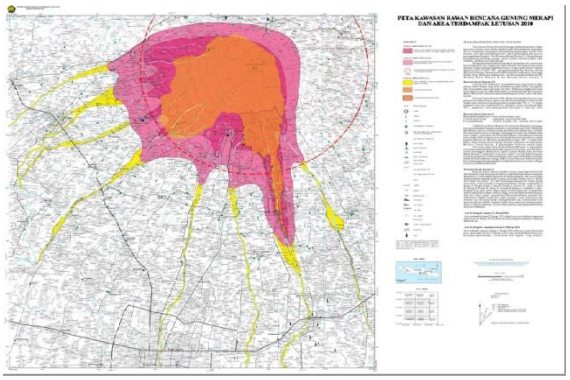
Menurut Sosrodarsono (1993), terdapat dua kelompok faktor-faktor yang berhubungan dengan limpasan, antara lain :

a. Elemen-elemen meterologi
   1) Jenis presipitasi.
   2) Intensitas curah hujan.
   3) Lamanya curah hujan.
   4) Arah pergerakan curah hujan.
   5) Curah hujan terdahului dan kelembaban tanah.
b. Elemen daerah pengaliran
   1) Kondisi penggunaan tanah (*land use).*
   2) Daerah pengaliran.
   3) Kondisi topografi dalam daerah pengaliran.
   4) Jenis tanah.

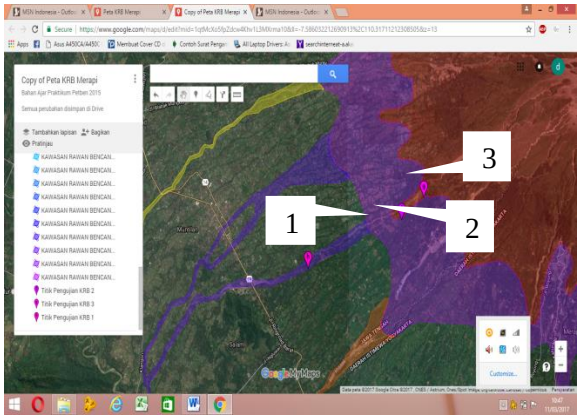
METODE PENELITIAN

A. Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan di daerah kawasan rawan bencana sub DAS Putih. Pemilihan lokasi sub DAS putih karena merupakan salahsatu jalur yang terkena lahar dingin dan material piroklastik. Metode pemilihan titik-titik pengujian dan pengambilan sample dilakuan berdasarkan peta KRB (Kawasan Rawan Bencana). Titik-titik pengujian terbagi menjadi 3 lokasi yaitu KRB 1, KRB 2, dan KRB 3, dalam satu titik dilakukan 2 kali pengujian untuk mendapatkan hasil yang akurat



Gambar 2 Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Merapi



Gambar3Titik lokasi penelitian diamabil dengan menggunakan aplikasi *Google maps*

B. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan yang akan digunakan di lapangan maupun di labolatorium untuk mengkaji nilai kapasitas infiltrasi di sub DAS Putihpasca erupsi Merapi 2010 adalah sebagai berikut:

1. Alat

a. *Double ring infiltrometer*

Gambar 4*Double ring infiltrometer*

b. Alat pengambil sampel tanah

Gambar 5 Tabung silinder

c. Kerucut pasir (*sand cone*)

Gambar 6 Kerucut pasir (*sand cone*)

d. Alat uji kadar air

Gambar 7 Cawan uji kadar air

2. Bahan

a. Air sungai
b. Sample tanah dari lokasi pengujian

Gambar 8 Sampel tanah dari lokasi pengujian di KRB I, KRB II dan KRB III

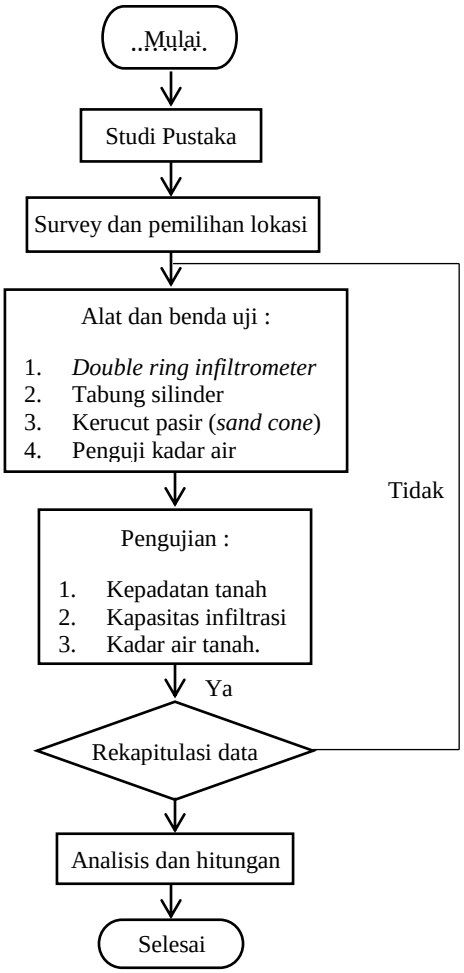
C. Bagan Alir Penelitian

Pelaksanaan Penelitian dilakukan secara berkala selama 2 hari dan dibagi menjadi dua tahap. Tahap pertama dilakukan di lapangan

yaitu pada Hari Kamis, 2Maret 2017 dan Hari Jum'at3Maret 2017. Tahap kedua dilakukan di labolatorium yaitu pada Hari Senin dan Selasa, 13-14 Maret 2017.

1. Bagan alir tahap penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dapat digambarkan dengan skema bagan alir sebagai berikut:



Gambar 8 Bagan alir tahapan penelitian

Berikut adalah uraian secara rinci tahap pelaksanaan penelitian :

1. Memeriksa/menentukan kepadatan tanah lapangan dengan metode kerucut pasir (*sand cone*), langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut :
   a. Sebelum pelaksanaan pemeriksaan, ada beberapa hal yang perlu diketahui antara lain :
      1) Berat volume pasir (γ_p) dalam g/cm^3.
      2) Volume pasir yang akan mengisi kerucut dan lubang pelat dasar (V_{jar}) dalam cm^3.
   b. Menentukan berat volume pasir pada setiap pengujian, dengan cara sebagai berikut :
      1) Menentukan volume botol (termasuk lubang sebelum katup), dengan cara :
      a) Timbang botol kosong dan kering bersama kerucutnya (W_1) dalam gram.
      b) Letakkan botol dengan posisi kerucut menghadap ke atas, kemudian isi air sampai di atas katup. Kemudian tutup katup dan bersihkan/keringkan kelebihan air dalam kerucut.
      c) Timbang botol yang terisi air (W_2) dalam gram.
      d) Hitung volume botol (dalam cm^3) dengan persamaan berikut :

$$V_{jar} = \frac{W_2 - W_1}{\rho_w} \quad \text{.....(1)}$$

Rapatmassa air dapat diasumsikan ρ_w = 1 g/cm^3.

      2) Menentukan berat volume pasir yang akan dipakai, dengan cara sebagai berikut :
      a) Posisikan botol kosong (dalam kondisi kering) dengan kerucut menghadap ke atas pada bidang rata, mendatar dan kokoh. Kemudian isikan pasir dalam kerucut.
      b) Bukalah katup, isi botol sampai penuh dan selama pengisian tuang pasir pada kerucut sehingga dalam kerucut selalu terdapat pasir lebih dari separuhnya.
      c) Tutup katup dan bersihkan kelebihan pasir dalam kerucut (di atas katup)
      d) Timbanglah botol yang terisi pasir (W_3) dalam gram dan hitung berat volume pasir dengan persamaan :

$$\gamma_p = \left(\frac{W_3 - W_1}{V_{jar}}\right) \times g \quad \text{.....(2)}$$

dengan g = percepatan gravitasi = 9,81 m/s^2.

3) Mengukur berat pasir yang akan mengisi kerucut, dengan cara sebagai berikut :
   a) Isi botol dengan pasir secukupnya, tutup katup dan timbang berat botol yang terisi pasir (W_4) dalam gram.
   b) Letakkan plat dasar pada suatu bidang rata dan mendatar. Kemudian letakkan botol dengan kerucutnya menghadap ke bawah di atas plat dasar tersebut.
   c) Buka katup dan biarkan pasir mengalir sampai berhenti.
   d) Tutup katup kemudian timbang alat dengan sisa pasir yang tidak mengalir (W_5) dalam gram.
   e) Hitung berat pasir pengisi kerucut dengan persamaan $W_{pc} = W_5 - W_4$ (gram).

c. Memeriksa kepadatan tanah lapangan dilakukan sebagai berikut :
   1) Isilah botol dengan pasir secukupnya. Timbanglah berat botol bersama pasir (W_6) dalam gram.
   2) Persiapkan permukaan tanah yang akan diperiksa, sehingga diperoleh bidang rata dan datar. Letakkan pelat dasar di atas tanah, buat tanda batas lubang pelat pada tanah.
   3) Buat/gali pada tanah di dalam tanda batas yang telah dibuat. Lakukan dengan hati-hati, hindarkan terganggunya tanah di sekitar dinding/lubang.
   4) Kumpulkan/masukkan semua tanah hasil galian (jangan ada yang tercecer) dalam kaleng tertutup yang telah diketahui beratnya (berat kaleng kosong bersama tutupnya (W_7) dalam gram. Kemudian timbang kaleng dengan tutupnya yang telah berisi tanah (W_8) dalam gram.
   5) Dengan pelat dasar terletak di atas tanah, letakkan botol pasir dengan kerucutnya menghadap ke bawah di tengah pelat dasar. Buka kran dan tunggu sampai pasir berhenti mengalir mengisi lubang dan kerucut, kemudian tutup kran.
   6) Timbang tutup botol bersama kerucut dengan pasir yang masih dalam botol (W_9) gram.
   7) Ambil sebagian tanah dalam kaleng dan uji kadar airnya (w).
   8) Langkah Perhitungan

d. Kepadatan tanah di lapangan dinyatakan dengan berat volume kering tanah yaitu :

$$\gamma_d = \left(\frac{\gamma_p}{(1+w)}\right)\left(\frac{W_9 - W_8}{W_6 - W_7 - W_{PC}}\right) \quad \text{.....(3)}$$

Keterangan :

γ_d = kepadatan tanah lapangan (kN/m^3)

γ_p = berat volume pasir (g)

w = kadar air (%)

W_9= berat kaleng + tanah (g)

W_8= berat kaleng (g)

W_6= berat botol + pasir (g)

W_7= botol + sisa pasir (g)

W_{pc}= berat pasir pengisi kerucut (g)

2. Mengambil sampel tanah basah pada titik/tempat pengukuran nilai kapasitas/laju infiltrasi untuk mengetahui kadar air sebelum pengujian, dengan menggunakan alat tabung silinder berdiameter 10 cm. Yaitu dengan cara memasukkan tabung silinder ke dalam tanah sampai kedalaman ± 20 cm. Sampel tanah yang diambil untuk pengujian kadar air yaitu pada ketinggian tanah ± 20 cm.

3. Mengukur nilai kapasitas/laju infiltrasi dengan metode *double ring infiltrometer*, menggunakan alat berupa dua buah ring (silinder besi) berdiameter (55 cm dan 30 cm, dengan tinggi yang sama, yaitu 27 cm). Pengukuran dilakukan sampai laju infiltrasi mencapai konstan. Pengukuran dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut :
   a. *Double ring* dipasang pada tempat yang telah ditentukan dengan cara dibenamkan ke dalam tanah sedalam 5 – 10 cm, diusahakan pemasangan *double ring* tegak lurus dengan tanah,

serta tanah dalam silinder dijaga jangan sampai rusak.

b. Penggaris diletakkan secara vertikal di dalam ring tegak lurus permukaan tanah, tempat menempel di dinding ring bagian dalam.
c. Isikan air di dalam silinder luar sampai penuh namun jangan sampai melimpas, ketinggian air di silinder luar selalu dijaga pada ketinggian yang sama.
d. Catat waktu dan ukur selisih tinggi muka air dimulai jika air pada silinder dalam sudah mulai keluar.
e. Pencatatan waktu dan pengukuran selisih tinggi muka air dilakukan setiap 10 menit sekali secara terus menerus sampai laju infiltrasi mencapai konstan.
f. Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk menghitung kapasitas/laju infiltrasi adalah dengan menggunakan metode Horton.

4. Memeriksa/menentukan kadar air tanah dari sampel tanah yang sudah diambil. Pemeriksaaan kadar air tanah ini dilakukan di laboratorium keairan dan lingkungan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Berikut adalah langkah – langkah pemeriksaan kadar air tanah :
   a. Bersihkan dan keringkan cawan kemudian timbang dan catat beratnya (W_1).
   b. Masukkan contoh tanah ke dalam cawan, kemudian timbang kembali (W_2).
   c. Masukkan cawan yang sudah diisi tanah ke dalam oven selama 16/24 jam pada suhu 105° - 110° C. Setiap cawan diberi kode atau nomor untuk memudahkan pemeriksaan.
   d. Setelah selama 16/24 jam, keluarkan cawan dari oven dan letakkan pada suhu ruang hingga suhu berkurang, kemudian masukkan cawan ke dalam desikator.
   e. Setelah cawan dingin timbang kembali berat cawan berisi tanah (W_3).
   f. Hitung kadar air tanah dalam satuan persen (%).
   g. Perhitungan kadar air (*w*) didefinisikan sebagai berikut :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\ \% \quad \text{.....(4)}$$

Dan

$$w = \left(\frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1}\right) \times 100\ \% \quad \text{.....(5)}$$

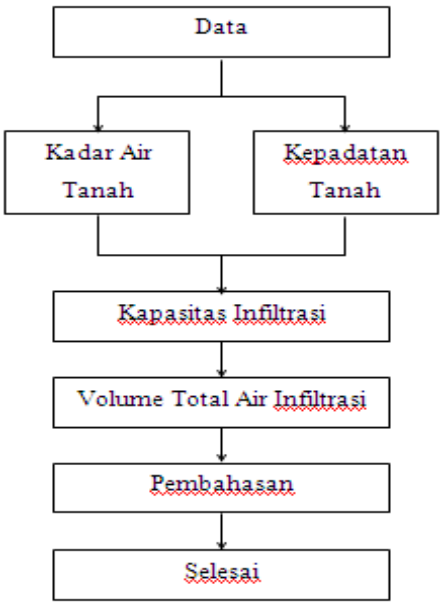
Dengan :

W_1 : berat cawan (g)

W_2 : berat cawan + tanah basah (g)

W_3 : berat cawan + tanah kering (g)

D. Tahapan Analisis



Gambar 9 Skema analisis perhitungan

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Umum

Pada bab ini akan diuraikan perhitungan kapasitas infiltrasi dari tiga lokasi pengujian lapangan yang telah ditentukan berdasarkan wilayah kawasan rawan bencana (KRB). Tiga lokasi tersebut terdiri dari wilayah KRB I, KRB II dan KRB III. Pada setiap lokasi KRB dilakukan pengujian sebanyak dua kali dan untuk kondisi tanah dalam satu lokasi KRB diasumsikan seragam.

Di bawah ini adalah tabel waktu penelitian kajian infiltrasi pada lokasi satu sampai lokasi tiga :

Tabel 1 Waktu penelitian

Uraian	Jenis Penutup Lahan		
	Rumput	Rumput	Rumput
Lokasi	KRB I	KRB II	KRB III
Hari	Kamis	Jum'at	Jum'at
Tanggal	2 Maret 2017	3 Maret 2017	3 Maret 2017
Waktu	09.30 WIB	12.30 WIB	15.30 WIB
Cuaca	Hujan Gerimis	Cerah Berawan	Cerah Berawan

B. Analisis Perhitungan Dan Pembahasan

1. Analisis perhitungan kadar air tanah sebelum pengujian infiltrasi

Pada pemeriksaan kadar air sebelum pengujian infiltrasi ini, sempel tanah yang diambil di lapangan sedalam ± 20 cm dari permukaan tanah. Sampel tanah kemudian ditungakan dari tabung ke dalam plastik lalu dibungkus rapat agar suhu dan udara tidak berubah-ubah. Untuk pengujian setiap sempel tanah atau setiap lokasi dilakukan pengujian sebanyak 3 kali pengujian agar hasil yang di dapat akurat. Rumus yang digunakan untuk menghitung kadar airadalah sebagai berikut :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\ \% \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Dan

$$w = w = \left(\frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1}\right) \times 100\ \% \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

Dengan :

W : kadar air
W_1 : berat cawan (g)
W_2 : berat cawan + tanah basah (g)
W_3 : berat cawan + tanah kering (g)
W_W: Berat air, (W_2-W_3)
W_S : Berat tanah kering, (W_3-W_1)

Tabel 2Hasil perhitungan kadar air lokasi KRB I

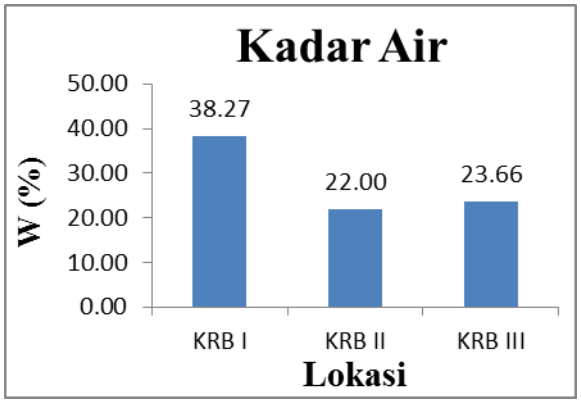
Uraian	Satuan	KRB I		
		Tanah		
		Cawan 1	Cawan 2	Cawan 3
W1	G	9.27	9.03	9.79
W2	G	59.35	59.1	59.78
W3	G	46.06	45.06	45.57
Ww	G	13.29	14.04	14.21
Ws	G	36.79	36.03	35.78
w	%	36.12	38.97	39.71
W rata-rata	%	38.27		

Tabel 3Hasil perhitungan kadar air lokasi KRB I I

Uraian	Satuan	KRB II		
		Tanah Berpasir		
		Cawan 1	Cawan 2	Cawan 3
W1	g	10.03	9.78	9.46
W2	g	60.09	59.8	59.62
W3	g	51.15	50.62	50.65
Ww	g	8.94	9.18	8.97
Ws	g	41.12	40.84	41.19
w	%	21.74	22.48	21.78
W rata-rata	%	22.00		

Tabel 4Hasil perhitungan kadar air lokasi KRB III

Uraian	Satuan	KRB III		
		Tanah Berpasir		
		Cawan 1	Cawan 2	Cawan 3
W1	g	12.49	9.33	13.1
W2	g	62.55	59.45	63.14
W3	g	53.96	48.83	53.66
Ww	g	8.59	10.62	9.48
Ws	g	41.47	39.5	40.56
w	%	20.71	26.89	23.37
W rata-rata	%	23.66		



Gambar10 Kadar Air Lokasi KRB I Sampai KRB III

Dari hasil perhitungan kadar air di atas dapat disimpulkan bahwa lokasi 1 mempunyai nilai kadar air yang tinggi dibandingkan dengan lokasi 2 dan 3. Pengujian kadar air menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi laju infiltrasi, karena semakin besar nilai kadar air pada suatu lokasi maka laju infiltrasi akan semakin lambat.

2. Kepadatan Tanah Lapangan

Pada pengujian ini menggunakan alat kerucut pasir (*sandcone*). Rumus yang digunakan untuk menghitung kepadatan tanah lapangan adalah sebagai berikut :

$$\gamma_d = \left(\frac{\gamma_p}{(1+w)}\right)\left(\frac{W_9 - W_8}{W_6 - W_7 - W_{PC}}\right)\% \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

Keterangan :

γ_d =kepadatan tanah lapangan (kN/m^3)

γ_p = berat volume pasir (g)

w = kadar air (%)

W_9= berat kaleng + tanah (g)

W_8= berat kaleng (g)

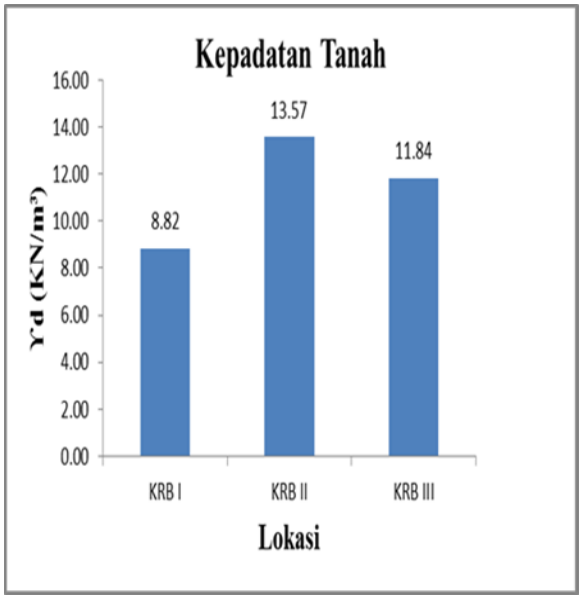
W_6= berat botol + pasir (g)

W_7=botol + sisa pasir (g)

W_{pc}= berat pasir pengisi kerucut (g)

Tabel 5 Hasil pemeriksaan kepadatan tanah lapangan

Uraian	Jenis Tanah		
	Tanah	Tanah Berpasir	Tanah Berpasir
Lokasi	1	2	3
Berat botol + pasir, W6 (g)	6350	6350	6350
Berat botol + sisa pasir, W7 (g)	3550	2950	3450
Berat kaleng, W8 (g)	200	200	200
Berat kaleng + tanah, W9 (g)	2050	3600	2550
Berat tanah, Ws = W9-W8 (g)	1850	3400	2350
Berat volume pasir, Ɣp (KN/m³)	10.14	10.14	10.14
Berat pasir pengisi kerucut, Wpc (g)	1058	1058	1058
Kadar air tanah, w (%)	23.66	22.00	38.27
Kepadatan tanah, Ɣd (KN/m³)	8,82	13,57	11,84



Gambar 11 Kepadatan Tanah Lapangan Pada Lokasi KRB I Sampai KRB III

Dari Tabel 5.3 di atas dapat dijelaskan pada lokasi 2 / KRB II mempunyai nilai kepadatan tanah yang paling besar dibandingkan lokasi 1 dan 3. Nilai kepadatan tanah yang terlalu tinggi dapat mempengaruhi kecepatan laju infiltrasi pada lokasi tersebut dan pada lokasi 2 ini mempunyai nilai kepadatan tanah sebesar 13,57 kN/m^3, maka pada lokasi ke 2 memiliki kecepatan laju infiltrasi lebih kecil dibandingkan dengan lokasi 1 dan lokasi 3.

3. Analisis Perhitungan Nilai Kapasitas Infiltrasi

Pengukuran nilai kapasitas infiltrasi pada pengujian ini menggunakan alat *double ring infiltrometer*. Pengujian ini dilakukan pada tiga lokasi yang terdiri dari lokasi KRB I, KRB II dan KRB III. Pada setiap lokasi KRB, dilakukan pengujian sebanyak dua kali (satu lokasi dua titik pengujian). Kemudian dari dua hasil pengujian tersebut, diambil nilai rata-ratanya.

Di bawah ini adalah hasil dari pengujian kapasitas infiltrasi dari lokasi KRB I, KRB II dan KRB III :

Tabel 6 Data hasil pengujian *double ring infiltrometer*lokasi 1 sampai 3

t (menit)	Jenis penutup lahan					
	Rumput		Rumput		Rumput	
	Selisih tinggi muka air (cm)					
	KRB I		KRB II		KRB III	
	Titik 1	Titik 2	Titik 1	Titik 2	Titik 1	Titik 2
10	5,5	9,5	0,6	0,6	7,8	4
20	4,5	7,8	0,4	0,5	7,5	3,4
30	3,5	6,7	0,4	0,1	7,5	3,4
40	3	6,3	0,4	0,1	5,5	3,4
50	3	5,9	0,4	0,1	5,5	-
60	3	5,9	-	-	5,5	-
70	3	5,9	-	-	-	-

Tabel 7 Data *double ring infiltrometer* rata-rata lokasi 1 sampai 3

t (menit)	Selisih tinggi muka air (cm)		
	KRB I	KRB II	KRB III
10	7,5	0,6	5,9
20	6,15	0,5	5,55
30	5,1	0,1	5,45
40	4,65	0,1	4,45
50	4,45	0,1	4,45
60	4,45	-	4,45
70	4,45	-	-

Di bawah ini adalah contoh perhitungan nilai kapasitas infiltrasi pada ketiga lokasi. Rumus yang digunakan menghitung nilai kapasitas infiltrasi pada pengujian ini menggunakan rumus metode Horton, yaitu sebagai berikut:

$f=fc+(f_0-fc)e^{-Kt}$ ……..(9)

Keterangan :

f = kapasitas infiltrasi (cm/jam)

f_0 = laju infiltrasi awal (cm/jam)

fc = laju infiltrasi konstan (cm/jam)

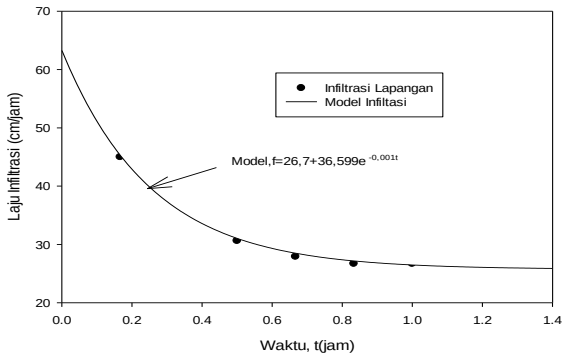
K = konstanta

t = waktu (jam)

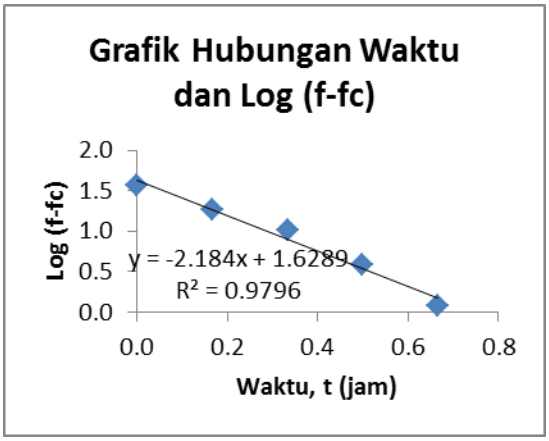
e = 2,718

Tabel 8Hasil perhitungan parameter infiltrasi lokasi KRB I

No.	Waktu, t (jam)	KRB I			
		Laju Infiltrasi, f (cm/jam)	fc (cm/jam)	f-fc (cm/jam)	Log f-fc
1	0	63.299	26.7	36.599	1.563
2	0.16667	45	26.7	18.3	1.262
3	0.33333	36.9	26.7	10.2	1.008
4	0.5	30.6	26.7	3.9	0.591
5	0.66667	27.9	26.7	1.2	0.079
6	0.83333	26.7	26.7	0	
7	1	26.7	26.7	0	
8	1.16667	26.7	26.7	0	



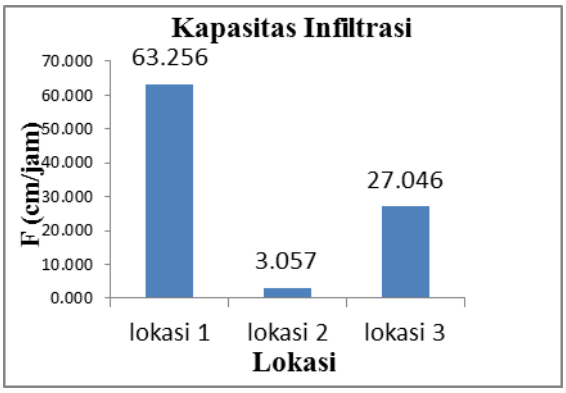
Gambar 12 Kurva *fitting* persamaan metode Horton



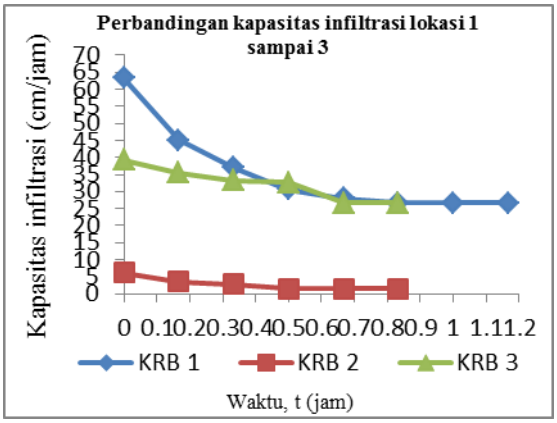
Gambar 13 Kurva persamaan linier untuk mencari gradien m lokasi 1

Tabel 9 Hasil perhitungan kapasitas infiltrasi metode Horton

Uraian	Satuan	Lokasi		
		KRB I	KRB II	KRB III
m (Gradien)	-	-2,184	-1,7607	-0,643
R^2	-	0,9796	0,9903	0,9446
Fc	cm/jam	26,7	1,5	26,7
K (Konstanta)	-	0,001	1,309	3,583
f0	cm/jam	63,299	6,1353	39,157
f (Horton)	cm/jam	$26,7 + 36,599e^{-1,201t}$	$1,5 + 4,6353e^{-1,309xt}$	$26,7 + 12,457e^{-3,583t}$
f (Konstan)	cm/jam	63,256	3,057	27,046



Gambar 14 Kapasitas Infiltrasi



Gambar 15 Grafik laju infiltrasi lokasi KRB I, KRB II dan KRB III

Dari hasil grafik maupun perhitungan yang sudah dilakukan pada lokasi 1 sampai 3 dapat dijelaskan bahwa laju infiltrasi awal bergerak dengan cepat dan semakin banyak air terinfiltrasi maka laju infiltrasi semakin kecil. Dari ke 3 lokasi pengujian, lokasi ke 2 memiliki laju infiltrasi yang kecil karena pada lokasi ini material abu vulkanik lebih dominan dari pada material pasir dan material abu vulkanik berada di kedalaman yang dangkal. Sedangkan pada lokasi 1 pada saat mengambil sempel di kedalaman ± 20 cm tidak terdapat lapisan abu vukanik, dan 3 material pasirnya lebih dominan dari pada abu vulkanik, karena abu vulkaniknya berada di lapisan yang lebih dalam daripada lokasi ke 2.

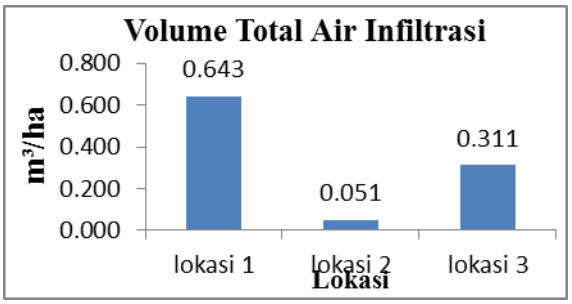
4. Analisis Perhitungan Volume Total Air Infiltrasi

Pada perhitungan volume total air infiltrasi ini diasumsikan pada area seluas 1 m^2 selama 1 jam, yaitu dengan cara mengintegralkan persamaan Horton yang sudah diperoleh dari perhitungan kapasitas infiltrasi tersebut :

$$V(t) = (fc \times t) + \left(\frac{(f0 - fc)}{K}\right) \times (1 - e^{-Kt}) \qquad \text{.....(10)}$$

Tabel 10 Hasil perhitungan kapasitas infiltrasi dan volume air infiltrasi lokasi 1 sampai 3

Parameter	Jenis Penutup Lahan		
	Rumput		
Lokasi	1	2	3
Kapasitas infiltrasi(f), (cm/jam)	64,277	5,084	31,080
Volume total airarea 1 m^2 (Vt), m^3	0,6427	0,051	0,311
Volume total airarea 1 ha (Vt), m^3	6427,692	508,439	3108,003



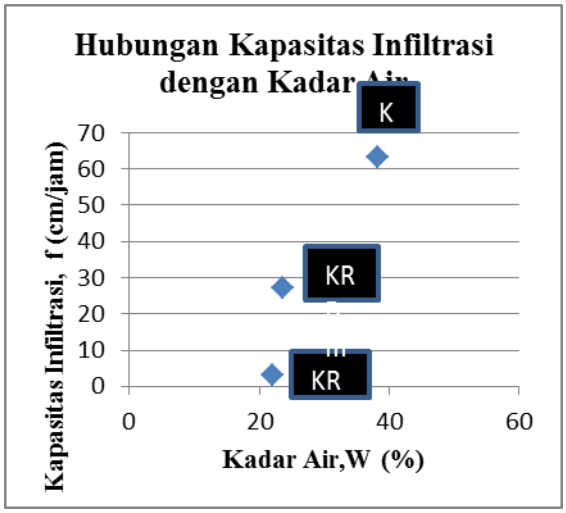
Gambar 16 Volume Total Air Infiltrasi Lokasi KRB I Sampai KRB III

Dari hasil perhitungan volume total air infiltrasi yang telah dilakukan pada lokasi 1 sampai 3 dijelaskan bahwa volume total air infiltrasi lokasi 1 pada luasan 1m^2 didapat hasil yang lebih besar dari pada lokasi 2 dan 3, karena dipengaruhi oleh nilai kapasitas infiltrasi pada lokasi 1 lebih besar di bandingkan nilai kapasitas infiltrasi pada lokasi 2 dan 3.

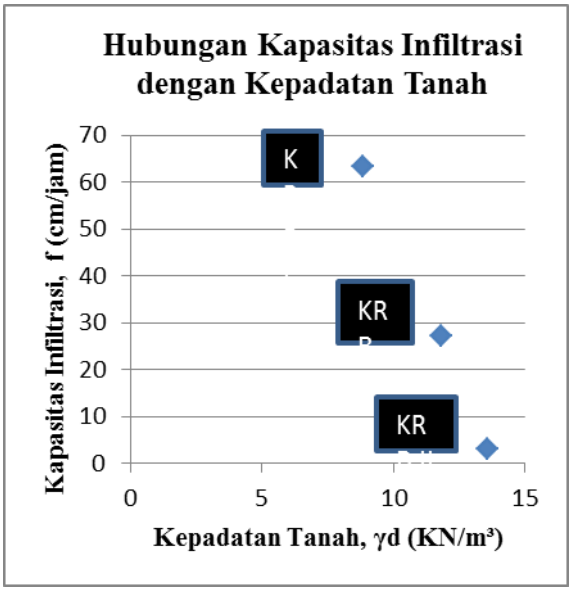
Dari analisis perhitungan maka hasil perhitungan kadar air, kepadatan tanah lapangan, nilai kapasitas infiltrasi, dan volume total air infiltrasi, pada DAS putih dapat di lihat pada tabel dan grafik dibawah ini:

Tabel 11Hasil perhitungan lokasi KRB I sampai KRB III

Uraian	Jenis Penutup Lahan		
	Rumput	Rumput	Rumput
Lokasi	KRB I	KRB II	KRB III
Kapasitas infiltrasi, (f) Horton	63,356	3,057	27,046
Kadar Air, %	38,27	22	23.66
Kepadatan tanah lapangan,kN/m^3	8,82	13,57	11,84
Volume total air infiltrasi area 1m^2, (Vt) m^3	0,643	0,051	0,311
Jenis tanah	Tanah Berpasir	Tanah Berpasir	Tanah Berpasir

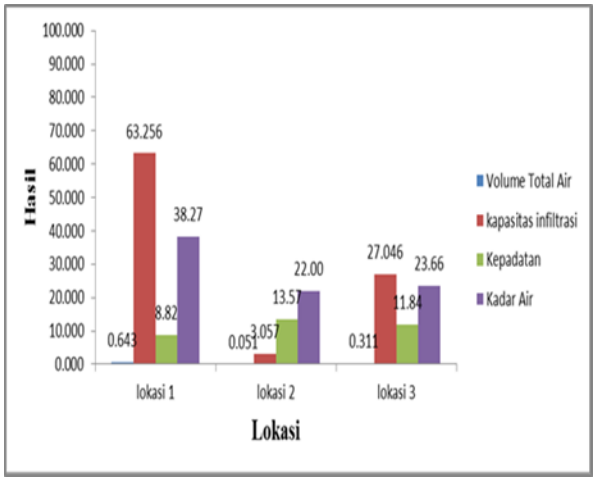


Gambar 17 Hubungan Kapasitas Infiltrasi dengan Kadar Air



Gambar 18 Hubungan Kapasitas Infiltrasi dengan Kepadatan Tanah

Dari kurva hubungan kapasitas infiltrasi dengan kadar air dan kurva hubungan kapasitas infiltrasi pada KRB I diatas diperoleh kadar air besar dengan kepadatan yang rendah memiliki kapasitas infiltrasi besar. Hal ini tidak sesuai dengan teori yang seharusnya, jika kadar air besar dengan kepadatan tanah yang rendah maka kapasitas infiltrasinya kecil. Faktor-Faktor lain yang dapat mempengaruhi kadar airnya besar adalah porositas, kandungan kimia tanah / humus, dan tanah yang tidak homogen.



Gambar 19 Perbandingan Nilai Kapasitas Infiltrasi, Volume Total Air Infiltrasi, Kepadatan Tanah, Kadar Air Lokasi 1 Sampai 3

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan pada lokasi 1 sampai 3, di dapat nilai kapasitas infiltrasi yang paling besar pada lokasi 1 di bandingkan dengan nilai kapasitas infiltrasi lokasi 2 dan 3. Karena pada lokasi 1 memiliki nilai kepadatan tanah yang paling kecil dan tidak terdapat lapisan abu vukanik. Sehingga dengan nilai kepadatan tanah yang kecil pada lokasi 1 memungkinkan laju infiltrasi pada lokasi 1 lebih cepat laju infiltrasinya di bandingkan dengan lokasi 2 dan lokasi 3. Sebaliknya pada lokasi 2 dan 3 nilai kepadatannya lebih besar dan terdapat lapisan abu vukanik, sehingga kapasitas infiltrasi pada lokasi 2 dan 3 lebih kecil di bandingkan dengan lokasi 1.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah diuraikan, maka didapat kesimpulan bahwa hasil perhitungan nilai kapasitas infiltrasi, volume total air infiltrasi dan nilai kepadatan tanah lapangan, dan kadar air di sub DAS Putih adalah sebagai berikut :

1. Nilai kadar air pada (KRB I) sebesar 38,27 %, pada (KRB II) sebesar 22 %, pada (KRB III) sebesar 23.66 %.
2. Nilai kepadatan tanah lapangan pada (KRB I) sebesar 8,82 kN/m^3, pada (KRB II) sebesar 13,57 kN/m^3, pada (KRB III) sebesar 11,84 kN/m^3.
3. Nilai kapasitas infiltrasi pada (KRB I) sebesar 63,356cm/jam, pada (KRB II) sebesar 3,057 cm/jam, pada lokasi 3 (KRB III) sebesar 27,046 cm/jam.
4. Volume total air infiltrasi area 1m^2 pada (KRB I) sebesar 0,6427 m^3, pada lokasi 2 (KRB II) sebesar 0,051 m^3, pada lokasi 3 (KRB III) sebesar 0,311 m^3.

B. Saran

Dari hasil penelitian kali ini peneliti memberikan beberapa saran sebagai berikut

1. Untuk penelitian selanjutnya, sebelum melakukan pengambilan data infiltrasi lapangan sebaiknya peneliti meninjau lokasi terlebih dahulu, agar pada saat pemasangan alat *double ring infiltrometer* lebih mudah dan mencari lokasi yang berdekatan dengan sumber air.
2. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya pengambilan data kepadatan tanah dalam satu lokasi pengujian dilakukan minimal dua kali dan jaraknya jangan terlau jauh dengan pengujian alat *double ring infiltrometer* agar mendapat hasil yang lebih akurat.
3. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya pengambilan sampel tanah untuk pemeriksaan kadar air dilakukan sebelum dan sesudah pengujian agar dapat menjadi pembanding.
4. Untuk penelitian lebih lanjut, pengambilan data infiltrasi lapangan dilakukan dengan menggali tanah terlebih dahulu untuk mengetahui lapisan sisa material abu vulkanik pasca erupsi Merapi tahun 2010, sehingga dapat memperkirakan besarnya kapasitas infiltrasi sebelum terjadinya erupsi Merapi tahun 2010 dan menjadi pembanding besarnya kapasitas infiltrasi sebelum dan pasca erupsi Merapi tahun 2010 tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Barid, Burhan, Ilhami, Tyas, F, Fadli, 2007, *Kajian Unit Resapan Dengan Lapisan Tanah dan Tanaman dalam Menurunkan Limpasan Permukaan*, Teknik Keairan, Vol, 13.

Burdiono, Muh. 2012. *Pemanfaatan serasah tebu sebagai mulsa terhadap pemadatan tanah*

akibat lintasan roda traktor pada pg. Takalar. Universitas Hasanuddin Makassar, Makassar.

BPPTTG-ESDM, 2010. *Peta Kawasan Rawan Bencna Gunung Merapi dan Area Terdampak Letusan 2010*. Yogyakarta.

Ningsih, Sri dan Ig L. Setyawan Purnama. 2012. *Kajian Laju Infiltrasi Tanah dan Imbuhan Air Tanah Lokal Sub DAS Gendol Pasca Erupsi Merapi 2010*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.

Notohadiprawiro. 2000. *Tanah dan Lingkungan*. Yogyakarta: Akademi Press.

Nurjanah, Titi. 2016. *Analisis Erosi dan Sedimentasi pada Sungai Progo Setelah Erupsi Gunung Merapi Tahun 2010 Menggunakan Aplikasi Hec-Ras 4.1.0*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Pratama, Arwi Imam. 2015. *Kajian Nilai Infiltrasi Jenis Penutup Lahan di UMY dalam Upaya Penerapan Sistem Drainase Berkelanjutan*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Rohmat, Dede dan Soekarno, Iindratmo. 2006. *Formulasi Efek Sifat Fisik Tanah terhadap Permeabilitas dan Suction Head Tanah (Kajian Emfirik untuk Meningkatkan Laju Infiltrasi)*. Jurnal Bionatura. Volume 8. No. 1, Bandung.

Saribun, Daud S. 2007. *Pengaruh Jenis Penggunaan Lahan dan Kelas Kemiringan Lereng Terhadap Bobot Isi, Porositas Total, dan Kadar Air Tanah pada Sub-DAS Cikapundung Hulu*. Bandung: Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran.

Sasongko, Danang, 2014, *Laporan Praktikum Rekayasa Lingkungan*, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.

Sasongko, Danang, 2014, *Laporan Praktikum Pengantar Geoteknik Mekanika Tanah*, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.

Soemarto, C.D. 1999. *Hidrolika Teknik* . Jakarta: Erlangga.

Sosrodarsono, Suyono. 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT Pradnya Paraita.

Suriadikarta, D.A, dkk. 2010. *Identifikasi Sifat Kimia Abu Volkan, Tanah dan Air di Lokasi Dampak Letusan Gunung Merapi*. Bogor : Balai Penelitian Tanah.

Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.