

Kajian Laju Infiltrasi Ditinjau dari Perbedaan Litologi Batuan, Kemiringan Lahan dan Sifat Fisik Tanah pada DAS Sungai Pisang Kota Padang

Mendoza^{1*}, Rusli HAR^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*mendozamr34@gmail.com

**ruslihar_1603@yahoo.com

Abstract. *The problems of this research were illegal logging in waterheds areas, as well as land conversion as residential area and other used thus, the disruption of the rain absorption area into the soil (infiltration). Highest of the rain caused of saturated soil and potential flooding. More other, infiltration influenced by several factor they are: rocks lithology condition, land slope and soil physical characteristic. Therefore have to doing study about infiltration rate, infiltration zone mapping and calculation of water discharge that can be absorbed by soil. This study was conducted on 10 different point. The data that had been gotten from primary data was observation in the field, that is data of infiltration rate estimation by using double ring infiltrometer, handbor for rocks lithology, tensiometer and sand cone for measuring of soil physical characteristic. Based on processing of the data using Kostiakov method, got average of infiltration rate research area is 0.1303 cm/min, belong to the classification of absorption area is very low (<0.1-0.2 cm/min). Based the statistics analysis, the condition of rocks lithology, land slope and soil physical characteristic is very influenced toward infiltration rate. The infiltration zone mapping is divided into 6 zone, with lowest infiltration rate of 0,001002-0,082666 cm/min and the highest infiltration rate zone is 0.0610078-0.86868 cm/min. Furthermore the water discharge that can be absorbed by soil in research area of 1.22 km² is 78,000 m³/hr/km² (very small).*

Keywords: Infiltration Rate and Infiltration Zone , Kostiakov Method, Rocks Lithology, Land Slope, Soil Physical Characteristic

1. Pendahuluan

Kota Padang merupakan ibukota Provinsi Sumatera Barat, daerah Kota Padang rawan dengan bencana gempa bumi. Kejadian gempa bumi pada bulan September 2009 menyebabkan banyaknya masyarakat yang berpindah dari pesisir Kota Padang ke arah timur Kota Padang atau di daerah dataran tinggi, hal ini dikarenakan mereka takut jika suatu saat nanti terjadi gempa susulan yang berpotensi terjadinya tsunami. Dengan banyaknya masyarakat yang berpindah ke daerah dataran tinggi secara tidak langsung juga menyebabkan terjadinya alih fungsi lahan, contohnya peralihan tata guna lahan dari kawasan hutan dan lahan pertanian maupun cagar budaya menjadi lahan pemukiman warga, serta adanya *illegal logging* di kawasan hulu DAS. Lahan yang semula merupakan daerah terbuka maupun daerah resapan air, berubah menjadi daerah yang tertutup perkerasan dan bersifat

kedap air sehingga menyebabkan, air hujan tidak dapat lagi meresap ke dalam tanah kondisi ini mengakibatkan peningkatan limpasan di permukaan kemudian menjadi genangan atau banjir^[1]. Hal ini menyebabkan lahan yang seharusnya menjadi resapan air hujan menjadi terganggu. Semakin banyak terganggunya daerah resapan air maka aliran permukaan semakin besar. Air di permukaan akan mengalir dari daerah dataran tinggi ke daerah dataran rendah. Selain itu tingkat curah hujan yang tinggi juga mempengaruhi besarnya aliran permukaan.

Tingginya curah hujan di Kota Padang yaitu 421,2 mm, dapat menyebabkan tanah menjadi cepat jenuh^[2]. Hal ini disebabkan karena air hujan tidak mampu lagi diserap oleh tanah, sehingga menyebabkan air hujan terkumpul dan tergenang dipermukaan lalu menjadi banjir. Besarnya banjir yang terjadi tergantung pada perbandingan kemampuan infiltrasi dan intensitas

hujan^[3]. Oleh sebab itu air hujan yang jatuh ke tanah akan mengalir ke daerah yang rendah seperti jalan, paritan, sungai dan lain sebagainya. Hal ini menandakan belum optimalnya pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Salah satu cara dalam menangani masalah banjir dengan meninggikan tanggul atau memperbesar saluran sungai, memperbanyak sumur resapan di kawasan DAS guna memperbesar proses infiltrasi.

Infiltrasi adalah proses masuknya air ke permukaan tanah^[4]. Proses infiltrasi merupakan proses yang paling penting dalam siklus hidrologi. Dengan adanya infiltrasi, maka akan tersedia air untuk evaporasi dan transpirasi, serta tersedianya peluang dalam peningkatan cadangan air tanah yang berpengaruh juga pada kontinuitas aliran permukaan baik dari Subsurface flow dan base flow. ^[5]. Infiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya tekstur tanah, struktur tanah, sisa vegetasi pada tanah, tutupan lahan dan kemiringan lahan ^[6]. Laju infiltrasi pada suatu lokasi bergantung pada faktor tekstur tanah, bahan organik tanah, kadar air tanah, kerapatan massa, kerapatan partikel, dan porositas tanah. Faktor-faktor tersebut menyebabkan laju infiltrasi pada suatu lokasi berbeda dengan lokasi yang lain^[7]. Infiltrasi memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari, karena infiltrasi tidak hanya meningkatkan jumlah air yang tersimpan di dalam tanah, tetapi juga dapat mengurangi terjadinya banjir. Selain itu topografi DAS Sungai Pisang cukup curam yaitu dari 0% hingga 40% sehingga memperbesar aliran permukaan ^[8].

Kota Padang memiliki enam Daerah Aliran Sungai (DAS) besar yaitu DAS Air Dingin, DAS Batang Arau, DAS Batang Kandih, DAS Batang Kuranji, DAS Sungai Pisang dan DAS Timbalun. Keenam sungai tersebut memiliki peran penting bagi Kota Padang karena berfungsi sebagai aliran air baik dari rembesan air tanah maupun air hujan. Oleh sebab itu penulis melakukan penelitian pada DAS Sungai Pisang Kota Padang karena belum adanya penelitian tentang zonasi infiltrasi

Daerah DAS Sungai Pisang, sebagian besar litologi batuan terdiri dari alluvium, batuan gunung api, batuan metamorf dan formasi pailan. Semakin padat tekstur litologi batuan maka semakin lama proses penyerapan airnya (Infiltrasi). Kadar air pada tanah juga mempengaruhi banyaknya air yang mampu terserap ke dalam tanah, hal ini disebabkan semakin besar kadar air di sekitar DAS Sungai Pisang maka tanah akan semakin cepat jenuh. Setiap tanah memiliki pori-pori (porositas) yang berbeda, semakin banyak pori-pori tanah maka semakin besar peluang air yang masuk ke dalam tanah. Sehingga dapat disimpulkan jika kepadatan tanah tinggi maka laju infiltrasinya rendah karena memiliki pori-pori yang sedikit ataupun kecil.

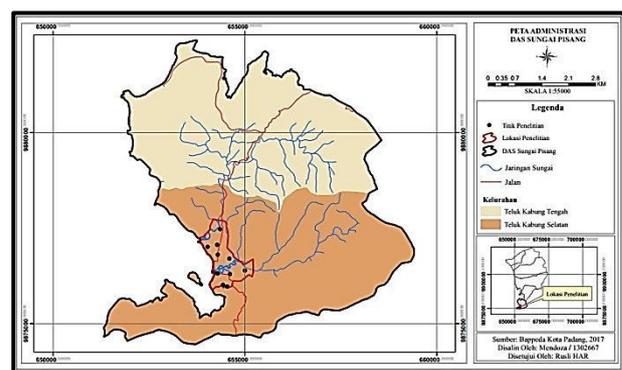
Berdasarkan uraian di atas, maka penulis tertarik mengangkat judul penelitian tentang Kajian Laju Infiltrasi Ditinjau dari Litologi Batuan, Kemiringan Lahan dan Sifat Fisik Tanah pada DAS Sungai Pisang Kota Padang.

2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Daerah Airan Sungai (DAS) Sungai Pisang Kota Padang. DAS Sungai Pisang memiliki panjang 2 km dengan ketinggian 0-850 mdpl.

DAS Sungai Pisang merupakan salah satu DAS di Kota Padang dengan batas wilayah di sebelah utara dengan DAS Timbalun, sebelah timur dengan Kabupaten Pesisir Selatan, sebelah barat dengan Samudera Hindia, sebelah selatan dengan kabupaten pesisir selatan.

DAS Sungai Pisang Kota Padang, dapat ditempuh dengan menggunakan roda dua atau roda empat selama 1 jam 28 menit dengan jarak \pm 43 km dari Universitas Negeri Padang.



Gambar 1. Peta Administrasi DAS Sungai Pisang^[8]

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Desember 2017 s/d Februari 2018. Lokasi penelitian di DAS Sungai Pisang Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat.

3.1 Jenis Penelitian

Berdasarkan jenis data yang diperoleh maka penelitian ini mengacu pada jenis penelitian deskriptif kuantitatif, yaitu menjelaskan fenomena yang ada dengan menggunakan angka-angka. Tujuan dalam penelitian ini dibatasi untuk menggambarkan karakteristik sesuatu sebagaimana adanya.

3.2 Tahap Pengumpulan Data

Pengambilan data dimulai dengan menentukan titik koordinat pengukuran, data laju infiltrasi, data sifat fisik tanah, sampel tanah dari *handbor*, tinggi muka air tanah dan kemiringan lahan. Pengukuran dan pengujian dilakukan pada 10 titik yang sudah ditentukan, sebagian besar berada daerah alluvium. Luas daerah penelitian \pm 1,22 km².

3.3 Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan adalah perhitungan laju infiltrasi, deskripsi litologi batuan dibuat menggunakan *CorelDraw*, perhitungan sifat fisik tanah dan perhitungan debit air yang mampu diserap tanah.

3.3.1 Perhitungan Laju Infiltrasi

Pengukuran laju infiltrasi di lapangan ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa kecepatan dan besaran masuknya atau meresapnya air secara vertikal ke dalam tubuh tanah^[9]. Laju Infiltrasi dipengaruhi oleh jenis mineral, besar butir disetiap formasi batuan, kondisi lereng dan penggunaan lahan^[10].

Nilai laju infiltrasi yang ada di lapangan bisa didapatkan, dilakukan pendekatan pendugaan melalui persamaan infiltrasi. Telah dikembangkan persamaan empiris infiltrasi seperti model Green dan Ampt, Kostiakov, Kostiakov Modifikasi, Horton, Holtan, dan model analitik seperti model Richards-Darcy, untuk mendeskripsikan peristiwa aliran air dalam tanah tak jenuh terutama untuk proses infiltrasi^[11].

Perhitungan laju infiltrasi dihitung menggunakan metode *Kostiakov*, dengan rumus sebagai berikut^[12].

$$f_p = K.t^n \quad (1)$$

Keterangan:

f_p = laju infiltrasi (cm/menit)

K = Konstanta infiltrasi

t = Waktu infiltrasi (menit)

n = Pangkat exponent

3.3.2 Perhitungan Sifat Fisik Tanah

Rumus Kadar Air adalah sebagai berikut:^[13]

$$\omega = \frac{W1-W2}{W2-W3} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

$W1$ = Berat cawan + tanah asli (gram)

$W2$ = Berat cawan + tanah kering (gram)

$W3$ = Berat cawan kosong (gram)

Kepadatan Tanah dapat dipengaruhi oleh sandcone yang merupakan kepadatan tanah dilapangan dengan menggunakan pasir Ottawa sebagai parameter kepadatan tanah yang mempunyai sifat kering, bersih, keras, tidak memiliki bahan pengikat sehingga dapat mengalir bebas^[14]. Rumus kepadatan tanah adalah sebagai berikut:

$$V_d = \frac{V_T}{(100 + \omega)} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

V_d = Kepadatan tanah lapangan

V_T = Berat isi tanah galian

ω = Kadar air

Rumus Konduktivitas Hidrolik Jenuh adalah sebagai berikut:

Metode *Constant Head*.^[15]

$$K = \frac{(\pi r^2 \Delta h) / \Delta t}{2\pi L H} \ln \frac{L}{r} = \frac{Q}{2\pi L H} \ln \frac{L}{r} \quad (4)$$

Keterangan:

K = Konduktivitas hidrolik jenuh (cm/detik)

r = Jari-jari pipa (cm)

Δh = Selisih penurunan tinggi air dalam pipa (cm)

Δt = Selisih waktu penurunan air (detik)

L = Kedalaman pemboran – kedalaman casing pipa di dalam (cm)

Q = Debit air yang dialirkan (cm³/detik)

H = Apabila bertemu Muka Air Tanah (MAT) saat pemboran:

H = Kedalaman MAT + tinggi casing di permukaan tanah (cm)

Apabila tidak bertemu Muka Air Tanah (MAT) saat pemboran:

H = Kedalaman pemboran + tinggi casing di permukaan tanah (cm)

Metode *Falling Head*.^[16]

$$K = \frac{r^2}{2L\Delta t} \ln \frac{L}{r} \ln \frac{H1}{H2} \quad (5)$$

Keterangan:

K = Konduktivitas hidrolik jenuh (cm/detik)

r = Jari-jari pipa (cm)

L = Kedalaman pengujian (cm)

Δt = Selisih waktu penurunan air (detik)

$H1$ = Muka air tanah awal (cm)

$H2$ = Muka air tanah akhir (cm)

Porositas adalah sebagai berikut:^[17]

$$n = \left[1 - \frac{pb}{pd} \right] \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

n = Porositas (%)

pb = Bulk density (gr/cm³)

$pb = \frac{\text{Berat cawan + tanah kering (W2)} - \text{Berat cawan (W3)}}{\text{Volume ring sampel (cm}^3\text{)}}$

$Pd = \text{Partical density (gr/cm}^3\text{)} (pd \text{ tanah} = 2,66 \text{ gr/cm}^3)$

Rumus Kemiringan lahan adalah sebagai berikut:

$$\text{Kem. lahan} = \left(\frac{\text{Depan (Beda Tinggi Vertikal)}}{\text{Samping (Jarak Horizontal)}} : 360 \right) \times 100\% \quad (7)$$

3.4 Tahap Analisis Data

Analisis data menggunakan analisis data spasial dan analisis statistik.

3.4.1 Analisis Spasial

Analisis spasial berupa pemetaan zonasi infiltrasi daerah penelitian (DAS Sungai Pisang) menggunakan *software ArcGis 10.1*

3.4.2 Analisis Statistik

Regresi Sederhana

Regresi linier sederhana dilakukan untuk mengetahui pengaruh antara satu variabel terikat dengan variabel bebas.

Persamaan garis regresi linear sederhana dapat dituliskan dalam bentuk:^[18]

$$Y = a + bx \quad (8)$$

Keterangan:

Y = Variabel terikat (*dependen*)

X = Variabel bebas (*Independen*)

a = Konstanta regresi

b = Koefisien regresi

Regresi Linier Berganda

Regresi linier berganda digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh antara variabel bebas (X) dengan variabel terikat (Y) yang menggunakan rumus regresi linier berganda.

Uji regresi ganda merupakan alat analisis terhadap satu variabel terikat atau untuk membuktikan apakah ada atau tidaknya hubungan fungsional antara dua variabel bebas atau lebih ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ terhadap satu variabel terikat).

Secara umum model regresi linier berganda adalah:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (9)$$

Keterangan:

Y = Variabel tak bebas

X_1, X_2, X_k = Variabel bebas

a = Titik potong

b_1, b_2, b_k = Penduga atau konstanta

Nilai b dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sum x_1y = b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1x_2 + b_3 \sum x_1x_3 + \dots + b_k \sum x_1x_k \quad (10)$$

$$\sum x_2y = b_1 \sum x_1x_2 + b_2 \sum x_2^2 + b_3 \sum x_2x_3 + \dots + b_k \sum x_2x_k \quad (11)$$

$$\sum x_3y = b_1 \sum x_1x_3 + b_2 \sum x_2x_3 + b_3 \sum x_3^2 + \dots + b_k \sum x_3x_k \quad (12)$$

$$\sum x_ky = b_1 \sum x_1x_k + b_2 \sum x_2x_k + b_3 \sum x_3x_k + \dots + b_k \sum x_k^2 \quad (13)$$

Sedangkan nilai a dapat dihitung dengan persamaan:

$$a = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 - b_3 \bar{X}_3 - \dots - b_k \bar{X}_k \quad (14)$$

Analisis Korelasi Berganda (r)

Analisis korelasi ganda digunakan untuk mengetahui hubungan antara dua variabel atau lebih variabel *independen* terhadap variabel *dependen*. Koefesien ini menunjukkan seberapa besar hubungan yang terjadi antara variabel *independen* (X) terhadap variabel *dependen* (Y). Nilai r berkisar antara 0-1, dapat dihitung dengan persamaan:

$$r (X_1X_2)Y = \frac{\sqrt{b_1 \sum X_1 Y + b_2 \sum X_2 Y}}{\sum Y^2} \quad (15)$$

Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui seberapa besar hubungan dari beberapa variabel. Koefisien determinasi dapat menghitung dengan persamaan:^[19]

$$KP = R^2 \cdot 100\% \quad (16)$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Karakteristik Laju Infiltrasi DAS Sungai Pisang

4.1.1 Laju Infiltrasi

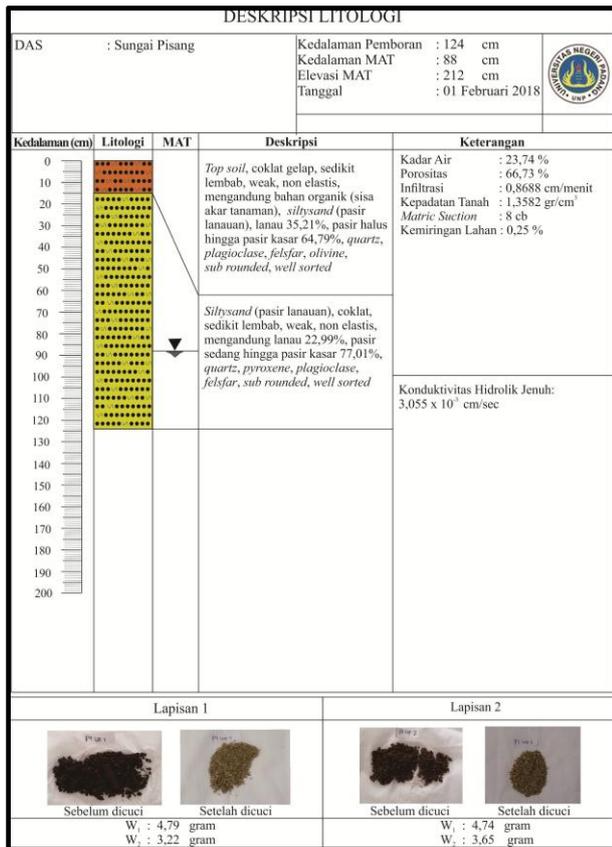
Laju Infiltrasi DAS Sungai Pisang dapat ditentukan dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan pada setiap titik penelitian, titik penelitian yang diamati terdapat 10 titik. Titik-titik tersebut diperoleh dengan menggunakan sistem grid yang berjarak 350 m pada hilir DAS. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *double ring infiltrometer* yang memiliki diameter ring dalam 15 cm, diametr ring luar 30 cm dan tinggi ring \pm 50 cm.

Berdasarkan pengolahan data, maka diperoleh rata-rata laju infiltrasi pada DAS Sungai Pisang yaitu 0,1303 cm/menit.

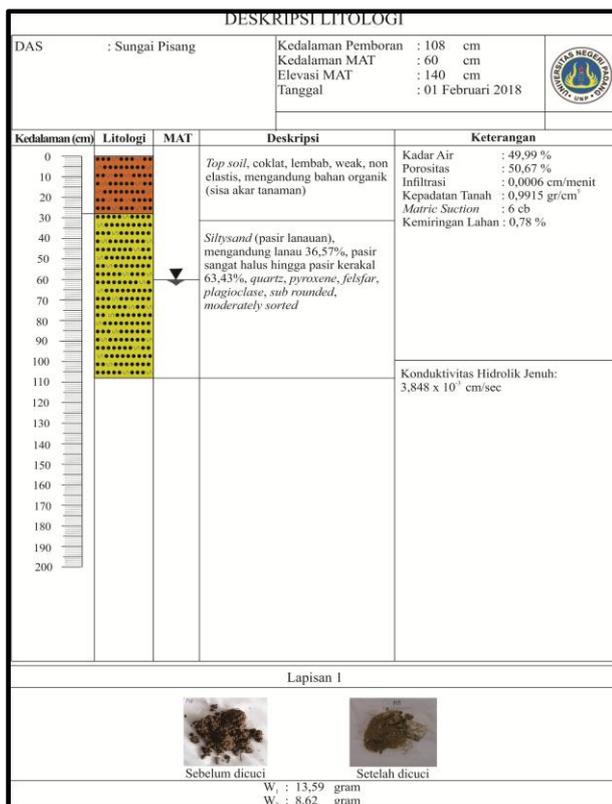
4.1.2 Litologi

Litologi pada DAS Sungai Pisang ditentukan melalui deskripsi hasil pemboran dengan *Metode handbore* pada pemboran hingga bertemu muka air tanah atau \pm 1-2 meter. Lubang bor dibuat dengan diameter 4 inci. *Cutting* pemboran diamati dan dicatat kedalamannya untuk setiap perbedaan lapisan tanah. Deskripsi litologi menggunakan lup, komparator skala *wentworth* dan neraca listrik. Berdasarkan deskripsi litologi, laju infiltrasi tinggi terjadi pada daerah yang litologinya berupa pasir (Gambar 2) dan laju infiltrasi rendah terjadi pada daerah yang litologinya berupa lempung atau lanau (Gambar 3).

Setiap jenis litologi mempunyai karakteristik litologi yang mempengaruhi nilai laju infiltrasi. Setelah dilakukan analisis laboratorium, karakteristik litologi yang mempengaruhi laju infiltrasi yaitu ukuran butir, porositas-permeabilitas, dan mineral lempung, sedangkan kandungan C organik tidak memberikan pengaruh karena nilai yang relatif sama (di bawah 2%)^[20].



Gambar 2. Log Litologi Titik P1 (Laju Infiltrasi Tinggi)



Gambar 3. Log Litologi P8 (Laju Infiltrasi Rendah)

4.1.3 Kemiringan Lahan

Deskripsi kemiringan lahan dilakukan pada 10 titik pada grid 350 m. Kemudian, dilakukan analisis spasial peta kemiringan lahan DAS Sungai Pisang dengan metode

tumpang-tindih peta (overlay). Laju infiltrasi tertinggi terjadi pada titik penelitian P1 dengan kemiringan lahan = 0,25% dan laju infiltrasi terendah terjadi pada titik penelitian P8 dengan kemiringan lahan = 0,78%. Sedangkan dalam penelitian Elfiati Kemiringan Lahan sangat mempengaruhi laju infiltrasi baik lahan yang curam, sedang dan landai [21].

4.2 Pengaruh Kemiringan Lahan Terhadap Laju Infiltrasi

Dalam analisis ini menggunakan beberapa model regresi yaitu model exponential, model linier, model logarithmic, model polynomial quadratic dan model power. Kadar Air sebagai variabel bebas sedangkan laju infiltrasi sebagai variabel terikat dengan deskriptif bivariate menggunakan regresi linear sederhana dan korelasi. Analisis korelasi bertujuan untuk mengetahui apakah ada atau tidak hubungan kemiringan lahan terhadap infiltrasi. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan Analisis Statistik Kemiringan Lahan Terhadap Laju Infiltrasi

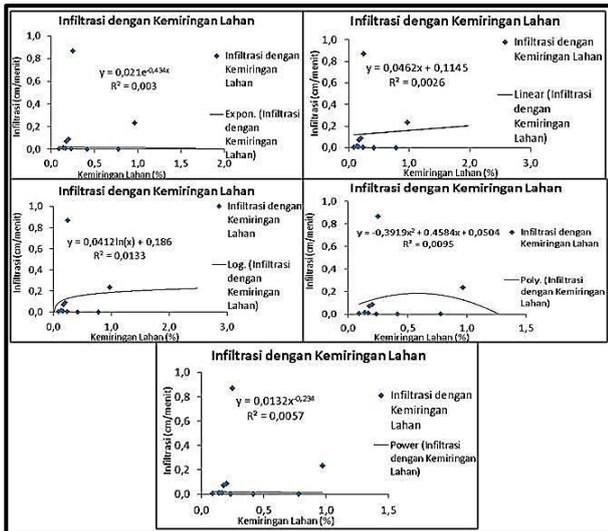
No.	Metode	r	R ²	Persamaan peramal (y)
1	Regresi Eksponensial	0,0548	0,0003	$y=0,021e^{0,434x}$
2	Regresi Linear	0,0510	0,0026	$y=0,0462x + 0,1145$
3	Regresi Logarithmic	0,1153	0,0133	$y=0,0412\ln(x) + 0,186$
4	Regresi Polinomial Quadratic	0,0975	0,0095	$y=-0,3919x^2 + 0,4584x + 0,0504$
5	Regresi Power	0,0751	0,0057	$y=0,0132x^{0,234}$

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa dari uji coba kelima metode regresi sederhana, didapatkan nilai korelasi (r) dan koefisien determinasi (R²) terbesar terhadap laju infiltrasi yaitu model regresi logarithmic dengan koefisien korelasi (r) = 0,1153 artinya korelasi sangat lemah dan nilai koefisien determinasi (R²) = 0,0133 artinya kemiringan lahan sebagai variabel bebas memberikan kontribusi terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat sebesar 1,33% dan selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain. Grafik hubungan infiltrasi dengan kemiringan lahan dapat dilihat pada Gambar 4, terlihat bahwa infiltrasi dengan kemiringan lahan menunjukkan korelasi negatif, yang berarti semakin besar kemiringan lahan maka infiltrasi akan semakin kecil.

Persamaan regresi yang digunakan yaitu model logarithmic:

$$y = 0,0412 \ln(x) + 0,186$$

$$\text{Infiltrasi} = 0,0412 \ln(\text{kemiringan lahan}) + 0,186$$



Gambar 4. Grafik Hubungan Infiltrasi dengan Kemiringan Lahan

4.3 Pengaruh Sifat Fisik Tanah Terhadap Laju Infiltrasi

4.2.1 Pengaruh Kadar Air Terhadap Laju Infiltrasi

Dalam analisis ini menggunakan beberapa model regresi yaitu *model exponential*, *model linier*, *model logarithmic*, *model polynomial quadratic* dan *model power*. Kadar Air sebagai variabel bebas sedangkan laju infiltrasi sebagai variabel terikat dengan deskriptif *bivariate* menggunakan regresi linear sederhana dan korelasi. Analisis korelasi bertujuan untuk mengetahui apakah ada atau tidak hubungan kadar air terhadap infiltrasi. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Statistik Kadar Air Terhadap Laju Infiltrasi

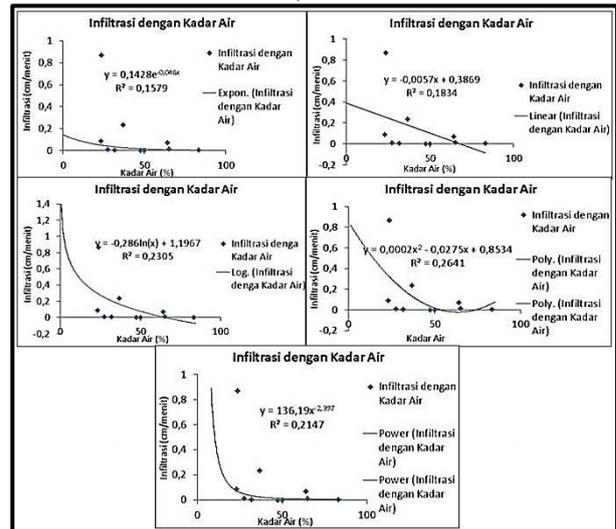
No	Metode	r	R ²	Persamaan Peramal (y)
1	Regresi Eksponensial	0.397	0.158	$y = 0,1428E^{-0,045x}$
2	Regresi Linear	0.428	0.183	$y = 0,0057x + 0,3869$
3	Regresi Logarithmic	0.481	0.231	$y = -0,286\ln(x) + 1,1967$
4	Regresi Polynomial Quadratic	0.514	0.264	$y = 0,0002x^2 - 0,0275x + 0,8534$
5	Regresi Power	0.464	0.215	$y = 136,19x^{-2,297}$

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa dari uji coba kelima metode regresi sederhana, didapatkan nilai korelasi (r) dan koefisien determinasi (R²) terbesar terhadap laju infiltrasi yaitu model regresi *polynomial quadratic* dengan koefisien korelasi (r) = 0,514 artinya korelasi sedang dan nilai koefisien determinasi (R²) = 0,264 artinya kadar air sebagai variabel bebas memberikan kontribusi terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat sebesar 26,4% dan selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain. Grafik hubungan infiltrasi dengan kadar air dapat dilihat pada Gambar 5, terlihat bahwa infiltrasi dengan kadar air menunjukkan korelasi negatif, yang berarti semakin besar kadar air maka infiltrasi akan semakin kecil.

Persamaan regresi yang digunakan yaitu *model polynomial quadratic* :

$$y = 0,0002x^2 - 0,0275x + 0,8534$$

$$\text{Infiltrasi} = 0,0002 (\text{kadar air})^2 - 0,0275 (\text{kadar air}) + 0,8534$$



Gambar 5. Grafik Hubungan Kadar Air dan Laju Infiltrasi

4.2.2 Pengaruh Kepadatan Tanah Terhadap Laju Infiltrasi

Dalam analisis ini menggunakan beberapa model regresi yaitu *model exponential*, *model linier*, *model logarithmic*, *model polynomial quadratic* dan *model power*. Kepadatan tanah sebagai variabel bebas sedangkan laju infiltrasi sebagai variabel terikat dengan deskriptif *bivariate* menggunakan regresi linear sederhana dan korelasi. Analisis korelasi bertujuan untuk mengetahui apakah ada atau tidak hubungan kepadatan tanah terhadap infiltrasi. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Statistik Kepadatan Tanah Terhadap Laju Infiltrasi

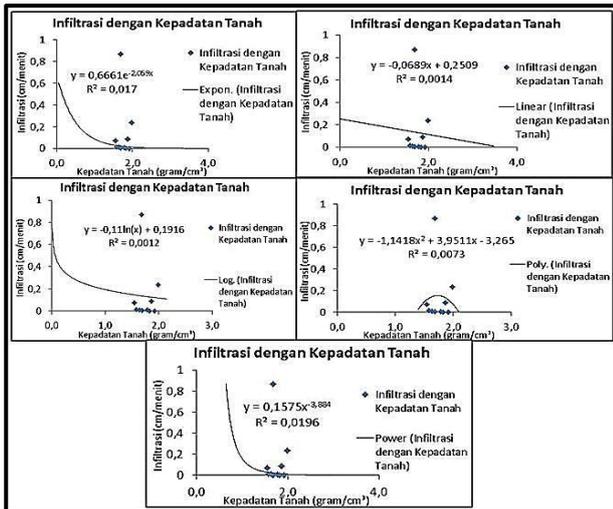
No	Metode	r	R ²	Persamaan Peramal (y)
1	Regresi Eksponensial	0.1300	0.0170	$y = 0,6661e^{-2,039x}$
2	Regresi Linear	0.0374	0.0014	$y = -0,0689x + 0,2509$
3	Regresi Logarithmic	0.0346	0.0012	$y = -0,11\ln(x) + 0,1916$
4	Regresi Polynomial Quadratic	0.0608	0.0037	$y = -1,1418x^2 + 3,9511x - 3,265$
5	Regresi Power	0.1400	0.0196	$y = 0,1575x^{-3,884}$

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa dari uji coba kelima metode regresi sederhana, didapatkan nilai korelasi (r) dan koefisien determinasi (R²) terbesar terhadap laju infiltrasi yaitu model regresi *power* dengan koefisien korelasi (r) = 0,14 artinya korelasi sangat lemah dan nilai koefisien determinasi (R²) = 0,0196 artinya kepadatan tanah sebagai variabel bebas memberikan kontribusi terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat sebesar 1,96% dan selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain. Grafik hubungan infiltrasi dengan kepadatan tanah dapat dilihat pada Gambar 6, terlihat bahwa infiltrasi dengan kepadatan tanah menunjukkan korelasi negatif, yang berarti semakin besar kepadatan tanah maka infiltrasi akan semakin kecil.

Persamaan regresi yang digunakan yaitu *model power*:

$$y = 0,1575x^{-3,884}$$

$$\text{Infiltrasi} = 0,1575 (\text{kepadatan tanah})^{-3,884}$$



Gambar 6. Grafik Hubungan Kepadatan Tanah dengan Laju Infiltrasi

4.2.3 Pengaruh Konduktivitas Hidrolik Jenuh Terhadap Laju Infiltrasi

Dalam analisis ini menggunakan beberapa model regresi yaitu *model exponential*, *model linier*, *model logarithmic*, *model polynomial quadratic* dan *model power*. Konduktivitas hidrolik jenuh sebagai variabel bebas sedangkan laju infiltrasi sebagai variabel terikat dengan deskriptif *bivariate* menggunakan regresi linear sederhana dan korelasi. Analisis korelasi bertujuan untuk mengetahui apakah ada atau tidak hubungan konduktivitas hidrolik jenuh terhadap infiltrasi. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hubungan Analisis Statistik Konduktivitas Hidrolik Jenuh Terhadap Laju Infiltrasi

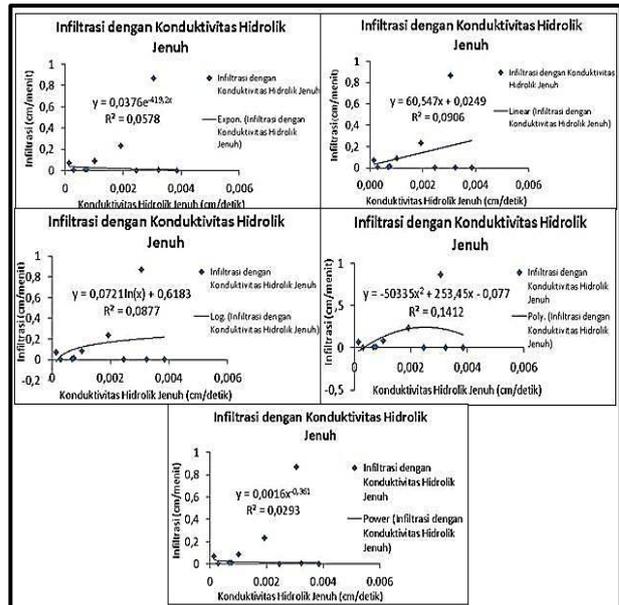
No.	Metode	r	R ²	Persamaan Peramal (y)
1	Regresi Eksponensial	0,2404	0,0578	$y = 0,0376e^{-419,2x}$
2	Regresi Linear	0,3010	0,0906	$y = 60,547x + 0,0249$
3	Regresi Logarithmic	0,2961	0,0877	$y = 0,0721 \ln(x) + 0,6183$
4	Regresi Polynomial Quadratic	0,3758	0,1412	$y = -50335x^2 + 235,45x - 0,077$
5	Regresi Power	0,1712	0,0293	$y = 0,0016x^{-0,353}$

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa dari uji coba kelima metode regresi sederhana, didapatkan nilai korelasi (r) dan koefisien determinasi (R²) terbesar terhadap laju infiltrasi yaitu model regresi *polynomial quadratic* dengan koefisien korelasi (r) = 0,3758 artinya korelasi lemah dan nilai koefisien determinasi (R²) = 0,1412 artinya konduktivitas hidrolik jenuh sebagai variabel bebas memberikan kontribusi terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat sebesar 14,12% dan selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain. Grafik hubungan infiltrasi dengan konduktivitas hidrolik jenuh dapat dilihat pada Gambar 7, terlihat bahwa infiltrasi dengan konduktivitas hidrolik jenuh menunjukkan korelasi positif, yang berarti semakin besar konduktivitas hidrolik jenuh maka infiltrasi akan semakin besar pula.

Persamaan regresi yang digunakan yaitu *model polynomial quadratic* :

$$y = -0,5033x^2 + 235,45x - 0,077$$

Infiltrasi = - 0,5033 (konduktivitas hidrolik jenuh)² + 235,45 (konduktivitas hidrolik jenuh) - 0,077



Gambar 7. Grafik Hubungan Infiltrasi dengan Konduktivitas Hidrolik Jenuh

4.2.4 Pengaruh Matric Suction Terhadap Laju Infiltrasi

Dalam analisis ini menggunakan beberapa model regresi yaitu *model exponential*, *model linier*, *model logarithmic*, *model polynomial quadratic* dan *model power*. *Matric suction* sebagai variabel bebas sedangkan laju infiltrasi sebagai variabel terikat dengan deskriptif *bivariate* menggunakan regresi linear sederhana dan korelasi. Analisis korelasi bertujuan untuk mengetahui apakah ada atau tidak hubungan *matric suction* terhadap infiltrasi. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hubungan Analisis Statistik *Matric Suction* Terhadap Laju Infiltrasi

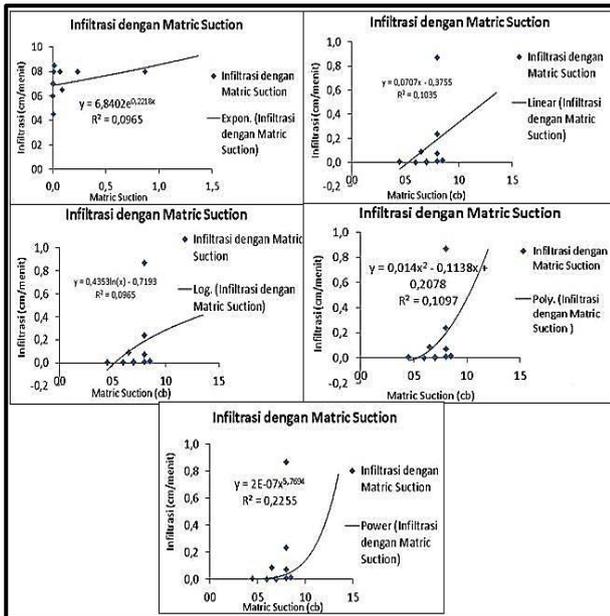
No.	Metode	r	R ²	Persamaan Peramal (y)
1	Regresi Eksponensial	0,3106	0,0965	$y = 6,8402e^{0,2213x}$
2	Regresi Linear	0,3217	0,1035	$y = 0,0707x - 0,3755$
3	Regresi Logarithmic	0,3106	0,0965	$y = 0,4353 \ln(x) - 0,7193$
4	Regresi Polynomial Quadratic	0,3312	0,1097	$y = 0,014x^2 - 0,1138x + 0,2078$
5	Regresi Power	0,4749	0,2255	$y = 2E-07x^{5,7694}$

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa dari uji coba kelima metode regresi sederhana, didapatkan nilai korelasi (r) dan koefisien determinasi (R²) terbesar terhadap laju infiltrasi yaitu model regresi *power* dengan koefisien korelasi (r) = 0,4749 artinya korelasi sedang dan nilai koefisien determinasi (R²) = 0,2255 artinya konduktivitas hidrolik jenuh sebagai variabel bebas memberikan kontribusi terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat sebesar 22,55% dan selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain. Grafik hubungan infiltrasi dengan *matric suction* dapat dilihat pada Gambar 8.

Persamaan regresi yang digunakan yaitu *model polwer*:

$$y = 2 \times 10^{-07} x^{5,7694}$$

Infiltrasi = $2 \times 10^{-07} (\text{matric suction})^{5,7694}$



Gambar 8. Grafik Hubungan Infiltrasi dengan *Matric Suction*

4.2.5 Pengaruh Porositas Terhadap Laju Infiltrasi

Dalam analisis ini menggunakan beberapa model regresi yaitu *model exponential*, *model linier*, *model logarithmic*, *model polynomial quadratic* dan *model power*. Kadar Air sebagai variabel bebas sedangkan laju infiltrasi sebagai variabel terikat dengan deskriptif *bivariate* menggunakan regresi linear sederhana dan korelasi. Analisis korelasi bertujuan untuk mengetahui apakah ada atau tidak hubungan porositas terhadap infiltrasi. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 6.

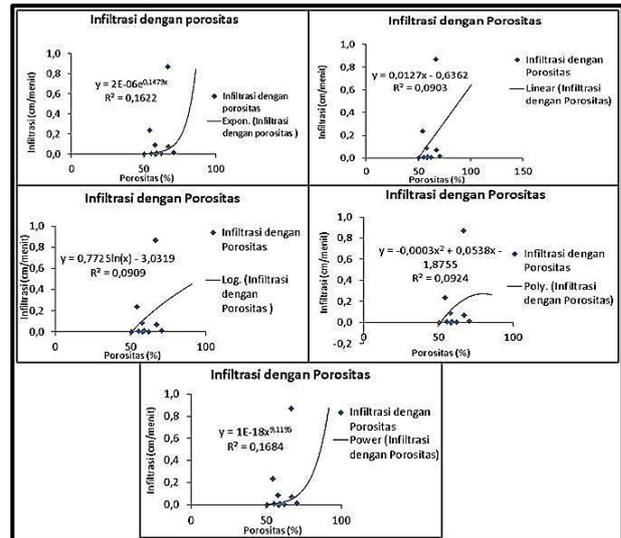
Tabel 6. Hubungan Analisis Statistik Porositas Terhadap Laju Infiltrasi

No.	Metode	r	R ²	Persamaan Peramal (y)
1	Regresi Eksponensial	0,4027	0,1622	$y = 2E-6e^{0,1479x}$
2	Regresi Linear	0,3005	0,0903	$y = 0,0127x - 0,6362$
3	Regresi Logarithmic	0,3015	0,0909	$y = 0,7724 \ln(x) - 3,0319$
4	Regresi Polynomial Quadratic	0,3040	0,0924	$y = -0,0003x^2 + 0,0538x - 1,8755$
5	Regresi Power	0,4104	0,1684	$y = 1E-18x^{9,1195}$

Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa dari uji coba kelima metode regresi sederhana, didapatkan nilai korelasi (r) dan koefisien determinasi (R²) terbesar terhadap laju infiltrasi yaitu model regresi *power* dengan koefisien korelasi (r) = 0,4104 artinya korelasi sedang dan nilai koefisien determinasi (R²) = 0,1684 artinya porositas sebagai variabel bebas memberikan kontribusi terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat sebesar 16,84% dan selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain. Grafik hubungan infiltrasi dengan kadar air dapat dilihat pada Gambar 9, terlihat bahwa infiltrasi dengan porositas menunjukkan korelasi positif, yang berarti semakin besar porositas maka infiltrasi akan semakin besar pula. Persamaan regresi yang digunakan yaitu *model power*:

$$y = 1 \times 10^{-18} x^{9,1195}$$

$$\text{Infiltrasi} = 1 \times 10^{-18} (\text{porositas})^{9,1195}$$



Gambar 9. Grafik Hubungan Porositas Terhadap Laju Infiltrasi

4.2.6 Hubungan Kemiringan Lahan, Kadar Air, Kepadatan Tanah, Konduktivitas Hidrolik Jenuh, *Matric Suction* dan Porositas Secara Simultan Terhadap Laju Infiltrasi

Analisis regresi linear berganda dilakukan untuk melihat hubungan dua atau lebih variabel bebas terhadap variabel terikat. Dimana laju infiltrasi sebagai variabel terikat (y), kemiringan lahan sebagai variabel bebas (x₁), kadar air sebagai variabel bebas (x₂), kepadatan tanah sebagai variabel bebas (x₃), konduktivitas hidrolik jenuh sebagai variabel bebas (x₄), *matric suction* sebagai variabel bebas (x₅) dan porositas sebagai variabel bebas (x₆) secara bersamaan (simultan). Hasil analisis kemiringan lahan dan sifat fisik secara bersamaan terhadap laju infiltrasi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hubungan Regresi Linear Berganda Kemiringan Lahan dan Sifat Fisik Tanah secara Bersamaan Terhadap Laju Infiltrasi

Mode	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.926 ^a	.857	.571	.17644

Dari Tabel 7 dapat diketahui bahwa kadar air, kepadatan tanah, konduktivitas hidrolik jenuh, *matric suction*, porositas dan kemiringan lahan secara bersamaan terhadap laju infiltrasi memiliki korelasi (r) = 0,951 artinya korelasi sangat kuat, sedangkan koefisien determinasi (R²) = 0,905 atau 90,5% dan selebihnya dipengaruhi oleh faktor lainnya. Variabel regresi linear berganda dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Variabel Regresi Linera Berganda

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	-.687	3.141		-.219	.841
Kemiringan Lahan	.704	.726	.775	.969	.404
Kadar Air	-.016	.007	-1.184	-2.199	.115
Kepadatan Tanah	-.626	1.298	-.343	-.482	.663
Konduktivitas_Hidrolik_Jenuh	63.521	94.388	.316	.673	.549
<i>Matric Suction</i>	-.106	.152	-.484	-.701	.534
Porositas	.050	.025	1.186	2.031	.135

Berdasarkan Tabel 8, maka diperoleh persamaan regresi linear berganda sebagai berikut:

$$y = -0,687 + 0,704 (x_1) - 0,016 (x_2) - 0,626 (x_3) + 63,521 (x_4) - 0,106 (x_6) + 0,050 (x_7)$$

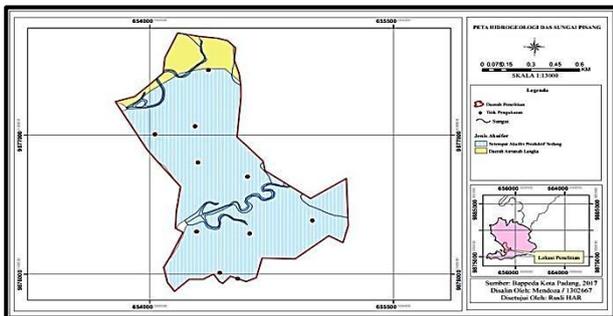
$$\text{Infiltrasi} = -1,687 + 0,705 (\text{kemiringan lahan}) - 0,016 (\text{kadar air}) - 0,626 (\text{kepadatan tanah}) + 63,521 (\text{konduktivitas hidrolis jenuh}) - 0,106 (\text{matric suction}) + 0,050 (\text{porositas})$$

4.4 Model Penyebaran Laju Infiltrasi Akhir

4.3.1 Peta Hidrogeologi Daerah Penelitian

Peta hidrogeologi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 10, dimana hidrogeologinya adalah:

- Zona kuning muda merupakan daerah air tanah langka. Akuifer terutama lava dari gunung api muda dan tua. Kelulusan sangat tergantung pada banyaknya celah dan rekahan.
- Zona garis vertikal biru putih merupakan akuifer tidak menerus tipis dan rendah keterusannya. Debit sumur diperkirakan kurang dari 5 l/detik.



Gambar 10. Peta Hidrogeologi DAS Sungai Pisang

4.3.2 Hasil Pemetaan Zona Infiltrasi

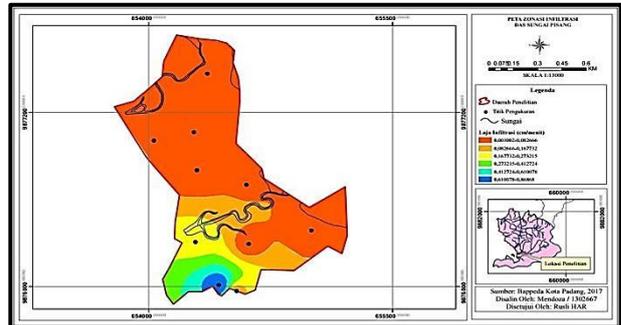
Berdasarkan hasil pengolahan data laju infiltrasi, maka didapatkan model penyebaran infiltrasi (pemetaan zonasi infiltrasi) dan peta kontur infiltrasinya. Peta zonasi infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 11 dan peta kontur infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 12.

Pada peta zonasi infiltrasi terdapat 6 zona infiltrasi pada daerah penelitian, yaitu:

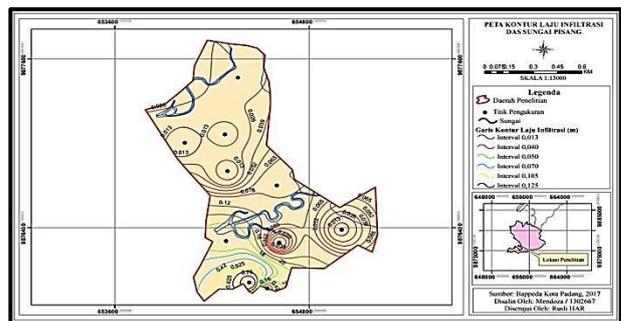
- Zona *orange* merupakan zona infiltrasi terendah, dengan nilai laju infiltrasi 0,001002-0,082666 cm/meit. Titik penelitian yang berada pada zona ini yaitu: P4, P5, P6, P7, P8, P9 dan P10
- Zona kuning tua merupakan zona infiltrasi dengan nilai laju infiltrasi 0,082666-0,167732 cm/menit. Titik penelitian yang berada pada zona ini yaitu P2.
- Zona kuning merupakan zona infiltrasi dengan nilai laju infiltrasi 0,167732-0,273215 cm/menit. Titik penelitian yang berada pada zona ini yaitu P3.
- Zona hijau muda merupakan zona infiltrasi dengan nilai laju infiltrasi 0,273215-0,412724 cm/menit. Zona ini berada pada zona kuning dan zona biru muda.
- Zona biru muda merupakan zona infiltrasi dengan nilai laju infiltrasi 0,412724-0,610078 cm/menit.

Zona ini berada pada zona hijau muda dan zona biru tua.

- Zona warna biru merupakan zona infiltrasi tertinggi dengan nilai laju infiltrasi 0,0610078-0,86868 cm/menit. Titik penelitian yang berada di zona ini yaitu P1.



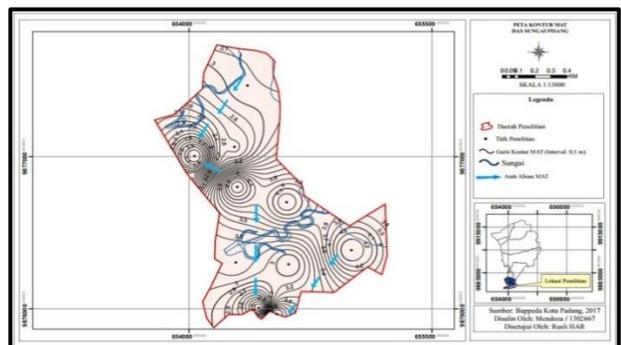
Gambar 11. Peta Zonasi Infiltrasi DAS Sungai Pisang



Gambar 12. Peta Kontur Infiltrasi DAS Sungai Pisang

4.3.3 Hasil Pemetaan Muka Air Tanah

Berdasarkan pengukuran muka air tanah di lapangan, maka dapat dilakukan pemetaan berdasarkan elevasi muka air tanah di setiap titik pengukuran. Peta kontur muka air tanah pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 13. Pada peta kontur muka air tanah daerah penelitian terlihat bahwa elevasi muka air tanah tertinggi berada pada bagian hulu DAS dan terdapat dua aliran muka air tanah pada daerah penelitian yaitu dari bagian paling hulu mengalir kearah selatan dan dari bagian utara daerah penelitian mengalir kearah barat daya.

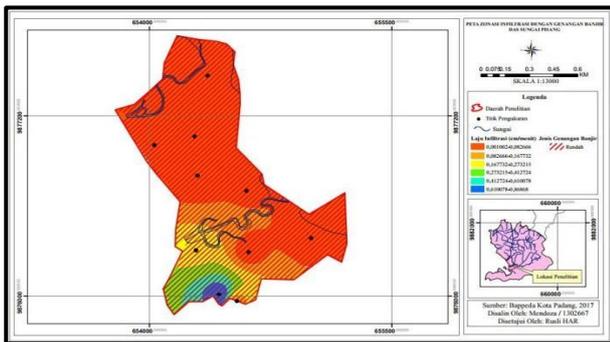


Gambar 13. Peta Kontur MAT DAS Sungai Pisang

4.3.4 Integrasi Zonasi Infiltrasi dengan Zona Genangan Banjir

Berdasarkan peta zonasi infiltrasi yang dihasilkan, maka dapat diintegrasikan dengan peta zona genangan banjir

pada daerah penelitian, seperti pada Gambar 14. Pada Gambar 14 terlihat bahwa pada daerah penelitian terdapat genangan banjirnya rendah yang berarti tingkat terjadinya banjir cukup rendah.

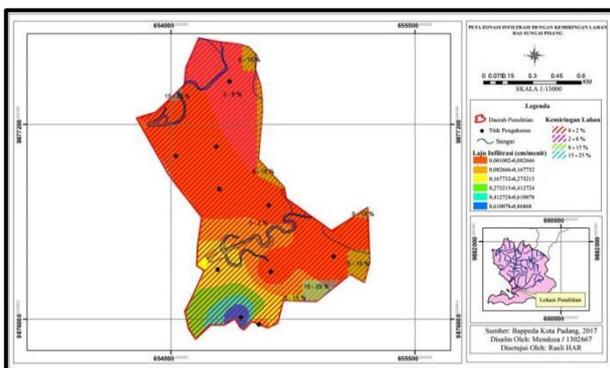


Gambar 14. Peta Zonasi Infiltrasi dan Zona Genangan Banjir DAS Sungai Pisang

4.3.5 Integrasi Zonasi Infiltrasi dengan Kemiringan Lahan

Berdasarkan peta zonasi infiltrasi yang dihasilkan, maka dapat diintegrasikan dengan peta kemiringan lahan pada daerah penelitian, seperti pada Gambar 15. Pada Gambar 15 terlihat bahwa terdapat empat zona kemiringan lahan yaitu:

1. Zona arsiran merah dengan kemiringan lahan 0-2%. Titik penelitian yang berada pada zona ini yaitu: P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 dan P9.
2. Zona arsiran ungu dengan kemiringan lahan 2-8%. Titik penelitian yang berada pada zona ini yaitu P10.
3. Zona arsiran biru muda dengan kemiringan 8-15%. Zona ini berada pada bagian utara dan timur dari titik penelitian P10, P7 dan P5. Bagian selatan dari titik penelitian P4.
4. Zona arsiran biru tua dengan kemiringan lahan 15-25%. Zona ini berada pada barat daya dari titik penelitian P5 dan tenggara dari titik penelitian P4.



Gambar 8. Peta Zonasi Infiltrasi dan Kemiringan Lahan DAS Sungai Pisang

4.5 Debit Air yang Mampu Diresapkan Tanah

Berdasarkan hasil pengolahan data, maka debit air yang mampu diserapkan oleh permukaan tanah sebesar 78.000 m³/jam/km² dengan luasan daerah penelitian 1,22 km².

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik laju infiltrasi pada DAS Sungai Pisang ditinjau dari perbedaan litologi, kemiringan lahan dan sifat fisik tanah (kadar air, kepadatan tanah, konduktivitas hidrolik jenuh, *matrix suction* dan porositas) adalah 0,1303 cm/menit, dengan demikian berdasarkan klasifikasi zona resapan menurut Hutasoit (1999), maka daerah DAS Sungai Pisang termasuk pada Zona VI/D berarti klasifikasi daerah resapan sangat rendah karena berada pada < 0,1-0,2 cm/menit.
2. Dari analisis statistik *bivariate* didapatkan pengaruh kadar air terhadap infiltrasi (R^2) = 26,4% dengan korelasi (r) = 0,514 (korelasi sedang), pengaruh kepadatan tanah terhadap infiltrasi (R^2) = 1,96% dengan korelasi (r) = 0,14 (korelasi sangat lemah), pengaruh konduktivitas hidrolik jenuh terhadap infiltrasi (R^2) = 14,12% dengan korelasi (r) = 0,3758 (korelasi lemah), pengaruh *matrix suction* terhadap infiltrasi (R^2) = 22,55% dengan korelasi (r) = 0,4749 (korelasi sedang), pengaruh porositas terhadap infiltrasi (R^2) = 16,84% dengan korelasi (r) = 0,4104 (korelasi sedang), pengaruh kemiringan lahan terhadap infiltrasi (R^2) = 1,33% dengan korelasi (r) = 0,1153 (korelasi sangat lemah).
3. Dari analisis statistik *multivariate* secara bersamaan kadar air, kepadatan tanah, konduktivitas hidrolik jenuh, *matrix suction*, porositas dan kemiringan lahan terhadap infiltrasi dengan korelasi (r) = 0,926 (korelasi sangat kuat) dan kontribusinya secara bersamaan sebesar (R^2) = 85,7%, selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain diluar penelitian ini.
4. Model penyebaran laju infiltrasi akhir (zonasi infiltrasi) pada DAS Sungai Pisang ditinjau dari perbedaan litologi, kemiringan lahan dan sifat fisik tanah (kadar air, kepadatan tanah, konduktivitas hidrolik jenuh, *matrix suction* dan porositas), terdiri dari 6 zona (Gambar 31 dan Gambar 32). Zona *orange* sebagai daerah laju infiltrasi terendah (0,001002-0,082666 cm/menit) dan zona biru tua sebagai daerah laju infiltrasi tertinggi (0,610078-0,86868 cm/menit).
5. Debit air yang mampu diserapkan ke dalam tanah pada DAS Sungai Pisang yaitu 78.000 m³/jam/ km², maka volume air yang mampu diserapkan ke dalam tanah per jam per 1 km² yaitu 78.000 m³.

5.2 Saran

1. Dari hasil penelitian laju infiltrasi pada DAS Sungai Pisang Kota Padang. Laju infiltrasi termasuk pada zona VI dengan klasifikasi daerah resapan pada zona D (infiltrasinya sangat rendah) oleh sebab itu perlu dilakukannya pembuatan sumur resapan pada zona infiltrasi tertinggi, guna menimalisir terjadinya genangan air (banjir).

2. Perlu dilakukannya penelitian lagi dengan parameter yang berbeda atau faktor-faktor lain yang mempengaruhi laju infiltrasi.
3. Perlu dilakukannya penelitian infiltrasi dengan metode infiltrasi yang berbeda sebagai pembandingan hasil penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Puspa Permanasari, dkk. *Pengaruh Guna Lahan Terhadap Penurunan Infiltrasi di Kota Batu*. Jurnal Tata Kota dan Daerah. **4**. 2 (2012)
- [2] Badan Pusat Statistik. *Kota Padang Dalam Angka*. Padang: BPS Kota Padang. (2016)
- [3] S. P. Sari, dkk. *Kajian Laju Infiltrasi Tanah pada Berbagai Penggunaan Lahan di Desa Tanjung Putus Kecamatan Padang Tualang Kabupaten Langkat*. Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian. **1**. 1 (2012)
- [4] A. Sudarmanto. *Analisis Kemampuan Infiltrasi Lahan Berdasarkan Kondisi Hidrometeorologi dan Karakteristik Fisik DAS pada Sub DAS Kreo Jawa Tengah*. Jurnal Penelitian. **1**. 2. (2013)
- [5] H. Wibowo. *Laju Infiltrasi pada Lahan Gambut yang Dipengaruhi Air Tanah (Study Kasus Sei Raya Dalam Kecamatan Sei Raya Kabupaten Kubu Raya)*. (2010)
- [6] A.E. Putra. *Kajian Laju Infiltrasi Tanah pada Berbagai Penggunaan Lahan di Desa Tongkoh Kecamatan Dolat Rayat Kabupaten Karo*. Ilmu dan Teknologi Pangan. J.Rekayasa dan Pert. **1**. 2. (2013)
- [7] C. Asdak. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. (2010)
- [8] Badan Perencanaan Daerah. *Peta Kelas Lereng Kota Padang*. Padang: BAPPEDA Kota Padang. (2009)
- [9] S. Syukur. *Laju Infiltrasi dan Peranannya Terhadap Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Allu-Bangka*. J. Agroland **16**. 3. (2009)
- [10] Y. S. Wibawa. *Pengaruh Jenis Batuan Terhadap Air Larian (RunOff) Berdasarkan Uji Laju Infiltrasi di Kota Semarang Bagian Selatan, Jawa Tengah*. Jurnal Penelitian. **23**. 3. (2014)
- [11] Mein R.G, C.L. Larson. *Modeling Infiltration During A Steady Rain*. *Water Resour. Res.* **9**. 2. (1973)
- [12] Sudibyakto. *Model Infiltrasi DAS*. Majalah Geografi Indonesia. **3**. 4. (1990)
- [13] Labsheet Teknik Sipil UNP. *Mekanika Tanah*. UNP: Laboratorium Bahan dan Mekanika Tanah. (2010)
- [14] I. Hadijah. *Analisis Kepadatan Lapangan dengan Sand Cone pada Kegiatan Peningkatan Struktur Jalan Tegineneng-Batas Kota Metro*. Jurnal Penelitian. Tapak. **4**. 2. (2015)
- [15] SNI. 2008. *Cara Uji Kelulusan Air Bertekanan di Lapangan*. Badan Standar Nasional, SNI 241. (2008)
- [16] H.C Hardiyatmo. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. (2000)
- [17] C.W. Fetter. *Applied Hydrogeology*. Amerika: United States of America. (1994)
- [18] M.I. Hasan. *Pokok-Pokok Materi Statistic 2 (Statistic Inferensif)*. Jakarta: Bumi Aksara. (2010)
- [19] A. Irianto. *Statistik Konsep Dasar Dan Aplikasinya*. Jakarta: Prenada Medika. (2004)
- [20] A.T. Yangga. *Pengaruh Karakteristik Litologi Terhadap Laju Infiltrasi, Studi Kasus Daerah Ngalang dan Sekitarnya, Kecamatan Genangsari, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Proceedinf, Seminar Nasional Kebumihan Ke-9. Penerapan Penelitian Ilmu dalam Pemberdayaan Masyarakat. (2016)
- [21] D. Elfiati. *Laju Infiltrasi pada Berbagai Tipe Kelerengan Dibawah Tegakan Ekaliptus di Areal HPHTI PT. Toba Pulp Lestari Sektor Aek Nauli*. J. Hidrolitian. **2**. 2. (2010)