

Kajian Laju Infiltrasi Akhir pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Arau Kota Padang Ditinjau dari Perbedaan Litologi, Tata Guna Lahan, dan Sifat Fisik Tanah

Yosia Yoandika Zulvi^{1*}, Rusli HAR^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*yosiayoandika95@gmail.com

**ruslihar_1603@yahoo.com

Abstract. *The change of forest or agricultural land function into a habitation made the diminished or rainwater infiltration into the soil (infiltration). This causes the groundwater reserves to decrease and the larger surface flow. In addition, infiltration is also influenced by several other things such as the condition of lithology, topography, and soil physical characteristic. For that reason, it is necessary to study the final infiltration rate, as it has been tested in the Batang Arau watershed of Padang. This research was conducted on 31 measurement points, from the upstream into the downstream of watershed which mostly located in alluvium area. The data obtained are the primary data in the form of direct observation in the field, they are infiltration rate estimation (double ring infiltrometer), description of lithology (handbor), matric suction (tensiometer), and the measurement of soil physical characteristic (sand cone). Based on data processing using Kostikov model, the mean of final infiltration rate in the study area was 0,0914 cm/min, belong to the very low recharge classification (<0,1 cm/min). The high infiltration rates occur in sand lithology, and the low one occur in clay and silt lithology with agricultural land use. Based on statistical analysis, the soil physical characteristic simultaneously have a very strong correlation with the infiltration rate (0,894). The infiltration zonation mapping is divided into 6 zones, with the lowest infiltration rate zone 0,000808 – 0,058093 cm/min, and the highest infiltration rate zone 0,991835 – 1,46157 cm/min. In addition, the water debit that can be absorbed by the soil in the research area with an area of 96,187 km² is very small, 54.000,0437 m³/jam/km².*

Keywords: Infiltration Rate, Lithology, Land Use, Soil Physical Characteristic, Infiltration Zonation

1. Pendahuluan

Kota Padang yang terletak di sebelah barat Pulau Sumatera merupakan salah satu daerah rawan bencana di Indonesia. Beberapa di antaranya yaitu gempa bumi dan banjir. Ditambah lagi dengan isu tsunami yang menghantui warga kota Padang saat ini. Saat gempa bumi terjadi, warga yang tinggal di pinggir laut takut akan terjadinya tsunami. Sehingga tidak sedikit warga yang berpindah ke bagian timur kota Padang yang merupakan *recharge area*. Warga mengalih fungsikan lahan hutan, lahan pertanian dan cagar budaya menjadi lahan pemukiman. Hal ini sangat berdampak buruk bagi keseimbangan ekosistem di daerah tersebut.

Kota Padang dilalui oleh banyak aliran sungai besar maupun kecil yang terbagi dalam 6 Daerah Aliran Sungai (DAS), yaitu DAS Air Dingin, DAS Air Timbalun, DAS Batang Arau, DAS Batang Kandis, DAS Batang Kuranji, dan DAS Sungai Pisang. Terdapat tidak kurang dari 23 aliran sungai yang mengalir di wilayah

Kota Padang dengan total panjang mencapai 155,40 km (10 sungai besar dan 13 sungai kecil). Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah yang tidak terlepas dari hutan, tanah dan air. Ketiganya merupakan penyusun utama yang bertindak sebagai objek. Dalam hal ini hutan berperan dalam mendukung kehidupan di wilayah DAS sehingga tercipta keseimbangan ekosistem DAS.

Salah satu DAS di kota Padang adalah DAS Batang Arau yang terdiri dari beberapa anak sungai dan sungai utamanya adalah Sungai Batang Arau. Sumber air DAS Batang Arau berasal dari hulu DAS pada kawasan pegunungan Bukit Barisan di sebelah timur kota Padang. Hulu DAS Batang Arau dimulai dari sungai Lubuk Paraku yang berada di timur laut kota Padang, dengan daerah tangkapan air seluas ± 3.090 hektar yang merupakan kawasan konservasi, hutan lindung, dan lahan milik masyarakat^[1].

Permasalahan di perkotaan terkait sektor air, yang rutin terjadi pada saat hujan adalah terjadinya

luapan air dan menimbulkan genangan ataupun banjir karena rendahnya resapan air ke dalam tanah (infiltrasi). Namun sebaliknya, ketika musim kemarau sumber air banyak yang mengalami kekeringan karena cadangan air tanah permukaan yang ada habis disedot untuk keperluan rumah tangga dan industri^[2].

Infiltrasi sendiri 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.

Kondisi alamiah memperlihatkan laju infiltrasi awal yang melebihi laju air hujan, kemudian dengan bertambahnya waktu maka pori-pori permukaan tanah akan terisi oleh air hujan dan penyumbatan juga terjadi pada pori tanah, sehingga laju infiltrasi pun akan menjadi berkurang yang kemudian laju infiltrasi akan konstan (kapasitas infiltrasi)^[3].

Apabila tanah cepat menjadi jenuh, hujan berintensitas tinggi dapat menyebabkan limpasan yang banyak, bahkan juga pada lereng yang tak terlalu landai^[4].

Proses mengalirnya air hujan ke dalam tanah disebabkan oleh tarikan gaya gravitasi dan gaya kapiler tanah. Laju air infiltrasi yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dibatasi oleh besarnya diameter pori-pori tanah. Di bawah pengaruh gaya gravitasi, air hujan mengalir vertikal ke dalam tanah melalui profil tanah. Pada sisi yang lain, gaya kapiler bersifat mengalirkan air tersebut tegak lurus ke atas, ke bawah dan ke arah horizontal (lateral)^[5]

Selain itu, Daerah aliran sungai (DAS) merupakan suatu ekosistem yang didalamnya terdapat berbagai penggunaan lahan. 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^[6]. Besarnya banjir yang terjadi tergantung pada perbandingan kemampuan infiltrasi dan intensitas hujan^[7].

Pembangunan lahan suatu kawasan mencerminkan fungsi ruang hidrogeologi kawasan tersebut. Banyaknya konversi lahan akan memperluas permukaan kedap air sehingga menyebabkan berkurangnya infiltrasi, menurunnya pasokan airtanah dan meningkatnya limpasan permukaan. Perubahan ini pada akhirnya akan mempengaruhi sistem neraca air, sehingga fungsi hidrogeologis akan bergeser seiring ruang dan waktu^[8].

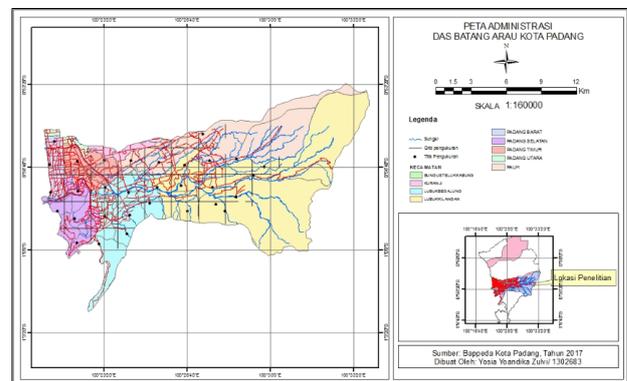
Dengan pembangunan fisik berupa perumahan dan infrastruktur lainnya tersebut akan menyebabkan berkurangnya area resapan air sebagai akibat perubahan tata guna lahan yang sebelumnya sebagai lahan terbuka sebagai area resapan air berubah menjadi areal kedap air sehingga berakibat

pada meningkatnya aliran permukaan dan menurunkan air untuk meresap ke dalam tanah yang selanjutnya berakibat pada peningkatan debit banjir pada musim hujan^[9].

Laju infiltrasi juga ditentukan oleh karakteristik tanah termasuk kepadatan dan porositas. Sementara laju infiltrasi dan kapasitas infiltrasi di pengaruhi oleh tekstur tanah, struktur tanah, permeabilitas, daya resap tanah, tipe vegetasi serta tata guna lahan. Laju infiltrasi sangat bergantung pada karakteristik tanah dan air. Biasanya kondisi tanah yang jenuh air (tanah dengan kadar air yang tinggi) menunjukkan laju infiltrasi yang lebih rendah dibandingkan tanah yang tidak jenuh air^[10].

2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Arau Kota Padang yang secara geografis terletak pada 0°53'20" sampai dengan 1°00'00" LS dan 100°21'00" sampai dengan 100°33'20" BT. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Administrasi DAS Batang Arau

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Desember 2017 s/d Januari 2018. Lokasi penelitian di DAS Batang Arau, 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.

Metode penelitian kuantitatif merupakan metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel yang umumnya dilakukan secara random, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif atau statistik dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan.

3.2 Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dimulai dengan mengambil data primer berupa koordinat titik pengukuran, tinggi muka air tanah, data sifat fisik tanah, data laju infiltrasi, sampel tanah dari *handbor*, dan data deskripsi tata guna lahan. Pengukuran dan pengambilan data dilakukan pada 31 titik yang sudah ditentukan, sebagian besar berada pada daerah alluvium. Luas area penelitian $\pm 96,187 \text{ km}^2$.

3.3 Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan yaitu perhitungan laju infiltrasi akhir, deskripsi litologi dibuat menggunakan *CorelDraw*, perhitungan nilai sifat fisik tanah yang sebelumnya sudah dilakukan pengujian laboratorium terhadap sampel yang sudah diambil, dan perhitungan debit air yang mampu diresapkan 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^[11].

Untuk mendapatkan nilai laju infiltrasi yang ada di lapangan, 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^[12].

Pada penelitian ini, laju infiltrasi dihitung menggunakan model *Kostiakov*, dengan rumus sebagai berikut.^[13]

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

Keterangan:

f_p = Laju infiltrasi (cm/menit)

K = Konstanta infiltrasi

T = Waktu infiltrasi (menit)

n = Pangkat exponent

3.3.2 Perhitungan Sifat Fisik Tanah

Untuk mengetahui kepadatan dari berbagai jenis material, metode yang sering digunakan adalah metode *Sand Cone*^[14].

Kepadatan Tanah dapat dihitung dengan rumus^[15]:

$$V_d = \frac{V_T}{(100+WC)} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

V_d = Kepadatan tanah lapangan

V_T = Berat isi tanah galian

WC = Kadar air tanah

Kadar Air^[15]

$$\omega = \frac{W1-W2}{W2-W3} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

ω = Kadar Air (%)

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

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

$W3$ = Berat cawan kosong (gr)

Porositas

Kenaikan kapasitas infiltrasi tanah disebabkan kenaikan kandungan bahan organik tanah yang meningkatkan porositas tanah sehingga lebih memantapkan struktur dan tekstur tanah serta perkembangan biota tanah permukaan. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya perbaikan sifat fisik tanah termasuk peningkatan kapasitas infiltrasinya^[16].

Porositas dapat dihitung dengan rumus^[17]:

$$n = \left[1 - \frac{\rho_b}{\rho_d}\right] \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

n = Porositas (%)

ρ_b = Bulk density (gr/cm³)

$\rho_b = \frac{(W2-W3)}{\text{Volume ring}}$

ρ_d = Partical density (gr/cm³) (pd tanah = 2.66 gr/cm³)

Konduktivitas Hidrolik Jenuh:

Metode *Constant Head*^[18]

$$K = \frac{(\pi r^2 \Delta h) / \Delta t}{2\pi L H} \ln \frac{L}{r} = \frac{Q}{2\pi L H} \ln \frac{L}{r} \quad (5)$$

Keterangan:

K = Konduktivitas hidrolik jenuh (cm/detik)

Q = Debit air yang dialirkan (cm³/detik)

R = Jari-jari pipa (cm)

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

Δh = Selisih penurunan air dalam pipa (cm)

Δt = Selisih waktu penurunan air (detik)

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

H = Kedalaman MAT + tinggi casing di permukaan tanah

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

H = Kedalaman pemboran + tinggi casing di permukaan tanah

Metode *Falling Head*

Konduktivitas dengan metode *Falling Head* dihitung dengan rumus^[19]:

$$K = \frac{r^2}{2L\Delta t} \ln \frac{L}{r} \ln \frac{H1}{H2} \quad (6)$$

Keterangan:

K = Konduktivitas hidrolik jenuh (cm/detik)

R = Jari-jari pipa (cm)

L = Kedalaman pengujian (cm)

Δt = Selisih waktu penurunan air (sec)

$H1$ = Muka air tanah awal (cm)

H2= Muka air tanah akhir (cm)

3.3.3 Perhitungan Debit Air

$$Q = v \times A \tag{7}$$

Keterangan:

Q = Debit air (m³/menit)

v = Laju infiltrasi (m/menit)

A = Luas areal resapan (m²)

3.4 Tahap Analisis Data

Analisis data berupa analisis data spasial dan analisis statistik.

3.4.1 Analisis Spasial

Analisis spasial berupa pemetaan zonasi infiltrasi daerah penelitian menggunakan *software* ArcGis.

3.4.2 Analisis Statistik

Regresi Sederhana

Regresi linier merupakan suatu alat ukur yang juga digunakan untuk mengukur ada atau tidaknya korelasi antar variabel. Istilah regresi berarti ramalan atau taksiran. Untuk regresi linier sederhana, yaitu regresi linier yang hanya melibatkan dua variabel (variabel X dan Y).

Persamaan garis regresinya dapat dituliskan dalam bentuk^[20]:

$$Y = a + bx \tag{8}$$

Keterangan:

Y = Variabel dependen

X = Variabel independen

a = Konstanta regresi

b = Koefisien regresi

Regresi Linier Berganda

Regresi linier berganda digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh antara variabel bebas (X1 dan X2) terhadap variabel terikat (Y) yang menggunakan rumus regresi linier berganda.

Uji regresi berganda digunakan untuk meramalkan nilai variabel terikat (Y) apabila variabel bebas minimal dua atau lebih. Uji regresi ganda adalah alat analisis peramalan nilai pengaruh dua variabel bebas atau lebih terhadap satu variabel terikat (untuk membuktikan ada atau tidaknya hubungan fungsional atau hubungan kausal antara dua variabel bebas atau lebih, (X₁) (X₂) (X₃)... (X_k) dengan satu variabel terikat.)

Secara umum model regresi linier berganda adalah sebagai berikut^[20].

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \tag{9}$$

Keterangan:

Y = Variabel tak bebas

X_k = Variabel bebas

a = Penduga bagi α intersep (titik potong)

b_k = Penduga bagi β_k

Nilai b dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sum x_1y = b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1x_2 + b_3 \sum x_1x_3 + \dots + b_k \sum x_1x_k \tag{10}$$

$$\sum x_2y = b_1 \sum x_1x_2 + b_2 \sum x_2^2 + b_3 \sum x_1x_3 + \dots + b_k \sum x_1x_k \tag{11}$$

$$\sum x_3y = b_1 \sum x_1x_3 + b_2 \sum x_2x_3 + b_3 \sum x_3^2 + \dots + b_k \sum x_1x_k \tag{12}$$

$$\sum x_ky = b_1 \sum x_1x_k + b_2 \sum x_2x_k + b_3 \sum x_3x_k + \dots + b_k \sum x_k^2 \tag{13}$$

Sedangkan nilai a dapat dihitung dengan persamaan^[20]:

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

Analisis Korelasi Berganda (R)

Analisis ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara dua variabel atau lebih variabel independen terhadap variabel dependen. Koefisien ini menunjukkan seberapa besar hubungan yang terjadi antara variabel independen (X) terhadap variabel dependen (Y). Nilai r berkisar antara 0-1, dapat dihitung dengan rumus^[20]:

$$r (X_1X_2)Y = \frac{\sqrt{b_1\sum X_1Y + b_2\sum X_2Y}}{\sum Y^2} \tag{15}$$

Koefisien Determinansi (R²)

Koefisien determinansi digunakan untuk mengetahui seberapa besar hubungan dari beberapa variabel. Menghitung nilai determinan dapat menggunakan rumus sebagai berikut^[20].

$$KP = R^2. 100\% \tag{16}$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Karakteristik Laju Infiltrasi DAS Batang Arau

4.1.1 Laju Infiltrasi

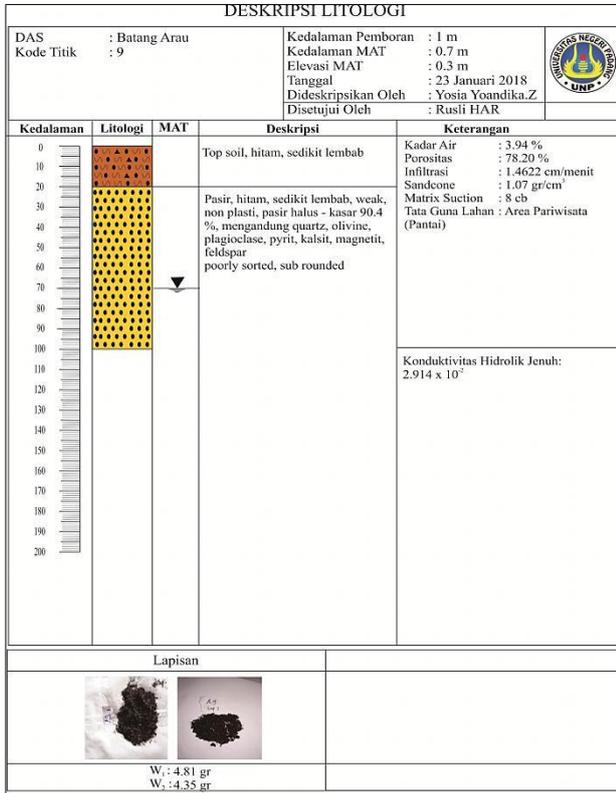
Untuk menentukan laju infiltrasi DAS Batang Arau dilakukan pengamatan langsung di lapangan pada setiap titik penelitian, terdapat 31 titik yang dilakukan pengamatan langsung di lapangan. Titik-titik tersebut diperoleh menggunakan sistem grid yang berjarak 2 km pada hilir DAS. Pengukuran dilakukan menggunakan *double ring infiltrometer* yang memiliki diameter ring dalam 15 cm, diameter ring luar 30 cm, serta tinggi ring ± 50 cm.

Berdasarkan pengolahan data, diperoleh rata-rata laju infiltrasi pada DAS Batang Arau adalah 0.0914 cm/menit.

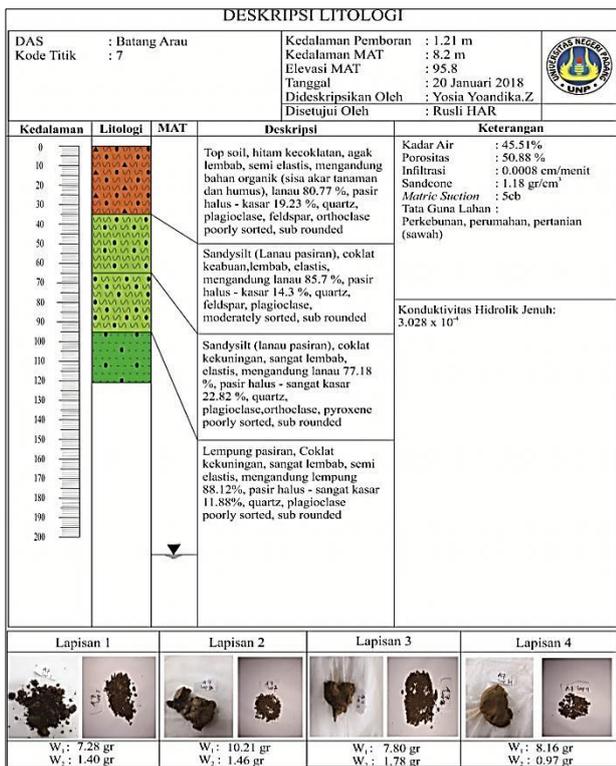
4.1.2 Litologi

Litologi pada DAS Batang Arau ditentukan dari deskripsi hasil pembaran dengan *metode handbore* pada pembaran sampai bertemu muka air tanah (± 1 - 2 meter). Lubang bor dibuat dengan diameter 4 inchi. *Cutting* pembaran diamati dan dicatat kedalamannya untuk setiap perbedaan lapisan tanah. Diambil masing-masing sampel untuk deskripsi litologi dengan bantuan

lup, komparator skala *wentworth* dan neraca listrik. Analisis deskripsi litologi sesuai kaidah *petrografi*. Berdasarkan 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).



Gambar 2. Log Litologi Titik 9 (Laju Infiltrasi Tinggi)



Gambar 3. Log Litologi 7 (Laju Infiltrasi Rendah)

4.1.3 Tata Guna Lahan

Deskripsi tata guna lahan dilakukan pada 31 titik yang terbagi oleh radius grid (2 x 2) km. Laju infiltrasi tertinggi terjadi pada daerah pinggir pantai, dan laju infiltrasi rendah terjadi pada daerah dengan tata guna lahan pemukiman dan pertanian (sawah).

4.2 Pengaruh Sifat Fisik Tanah Terhadap Laju Infiltrasi

4.2.1 Pengaruh Kadar Air Terhadap Laju Infiltrasi

Kadar air sebagai variabel bebas (*independent*) terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat (*dependent*) dianalisis dengan statistika deskriptif *bivariate*. Perhitungan korelasi menggunakan *metode pearson*, sedangkan perhitungan regresi sederhana dilakukan dengan 5 model yaitu: *model regresi linear*, *regresi logarithmic*, *regresi polynomial (quadratic)*, *regresi power*, dan *regresi eksponensial* yang tujuannya adalah untuk mencari model manakah yang menghasilkan nilai r dan R² paling besar. Hasil analisis statistik kadar air dan laju infiltrasi dapat dilihat pada Tabel 1.

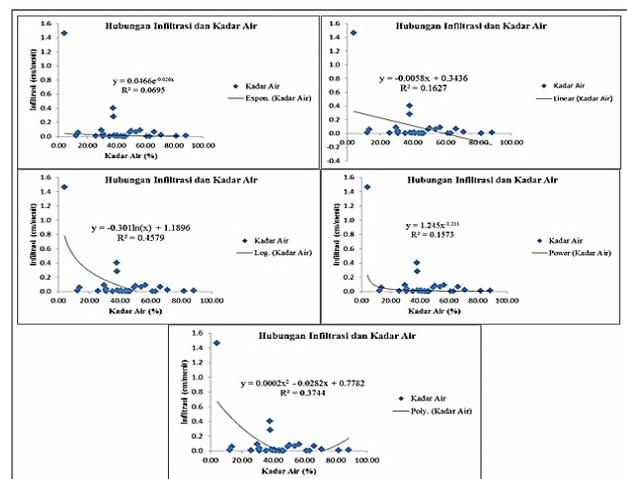
Tabel 1. Hasil Analisis Statistik Kadar Air Terhadap Laju Infiltrasi

No	Model	r	R ²	Persamaan Peramal (y)
1	Regresi Linear	0.403	0.163	y = -0.0058x + 0.3436
2	Regresi Logarithmic	0.677	0.458	y = -0.301ln(x) + 1.1896
3	Regresi Polinomial Quadratic	0.612	0.374	y = 0.0002x ² - 0.0282x + 2.7782
4	Regresi Power	0.397	0.157	y = 1.245x ^{-1.211}
5	Regresi Eksponensial	0.264	0.069	y = 0.0466e ^{-0.025x}

Pada Tabel 1 terlihat bahwa dari uji coba kelima metode regresi sederhana, didapatkan kadar air terhadap infiltrasi memiliki nilai korelasi (r) dan koefisien determinasi (R²) terbesar pada model regresi logarithmic dengan koefisien korelasi 0,677 artinya korelasi kuat dan nilai koefisien determinasi (R²) = 0,458 artinya kadar air sebagai variabel bebas memberikan kontribusi terhadap infiltrasi sebagai variabel terikat sebesar 45,8%. Grafik hubungan kadar air dengan infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 4. Persamaan regresi yang digunakan yaitu model *logarithmic*:

$$y = -0,301\ln(x) + 1,1896$$

$$\text{Infiltrasi} = -0,301 \ln(\text{kadar air}) + 1,1896$$



Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar Air dan Laju Infiltrasi

4.2.2 Pengaruh Porositas Terhadap Laju Infiltrasi

Porositas sebagai variabel bebas (*independent*) terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat (*dependent*) dianalisis dengan statistika deskriptif *bivariate*. Perhitungan korelasi menggunakan *metode pearson*, sedangkan perhitungan regresi sederhana dilakukan dengan 5 model yaitu: *model regresi linear*, *regresi logarithmic*, *regresi polynomial (quadratic)*, *regresi power*, dan *regresi eksponensial* yang tujuannya adalah untuk mencari model manakah yang menghasilkan nilai *r* dan *R²* paling besar. Hasil analisis statistik porositas dan laju infiltrasi dapat dilihat pada Tabel 2.

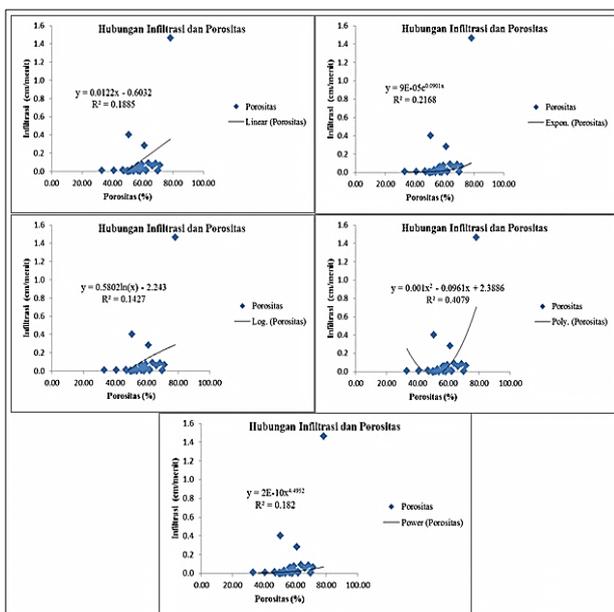
Tabel 2. Hasil Analisis Statistik Porositas Terhadap Laju Infiltrasi

No	Model	R	R ²	Persamaan Peramal (y)
1	Regresi Linear	0.434	0.188	$y = 0.0122x - 0.6032$
2	Regresi Logarithmic	0.378	0.143	$y = 0.5802\ln(x) - 2.243$
3	Regresi Polinomial Quadratic	0.639	0.408	$y = 0.001x^2 - 0.0961x + 2.3886$
4	Regresi Power	0.427	0.182	$y = 2E-10x^{4.4922}$
5	Regresi Eksponensial	0.466	0.217	$y = 9E-05e^{0.0901x}$

Pada Tabel 2 terlihat bahwa dari uji coba kelima model regresi sederhana, didapatkan porositas terhadap infiltrasi memiliki nilai korelasi (*r*) dan koefisien determinasi (*R²*) terbesar pada model regresi *polynomial quadratic* dengan koefisien korelasi 0,639 artinya korelasi kuat dan nilai koefisien determinasi (*R²*) = 0,408 artinya porositas sebagai variabel bebas memberikan kontribusi terhadap infiltrasi sebagai variabel terikat sebesar 40,8 %, dan selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain. Grafik hubungan porositas dan infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 5, terlihat porositas dan infiltrasi menunjukkan korelasi positif, yang artinya semakin besar porositas maka nilai infiltrasi akan semakin besar pula. Persamaan regresi yang digunakan yaitu model *polynomial (quadratic)*:

$$y = 0,001x^2 - 0,0961x + 2,3886$$

$$\text{Infiltrasi} = 0,001 (\text{porositas})^2 - 0,0961 (\text{porositas}) + 2,3886$$



Gambar 5. Grafik Hubungan Porositas dan Laju Infiltrasi

4.2.3 Pengaruh Kepadatan Tanah Terhadap Laju Infiltrasi

Kepadatan tanah sebagai variabel bebas (*independent*) terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat (*dependent*) dianalisis dengan statistika deskriptif *bivariate*. Perhitungan korelasi menggunakan *metode pearson*, sedangkan perhitungan regresi sederhana dilakukan dengan 5 model yaitu: *model regresi linear*, *regresi logarithmic*, *regresi polynomial (quadratic)*, *regresi power*, dan *regresi eksponensial* yang tujuannya adalah untuk mencari model manakah yang menghasilkan nilai *r* dan *R²* paling besar. Hasil analisis statistik kepadatan tanah dan laju infiltrasi dapat dilihat pada Tabel 3.

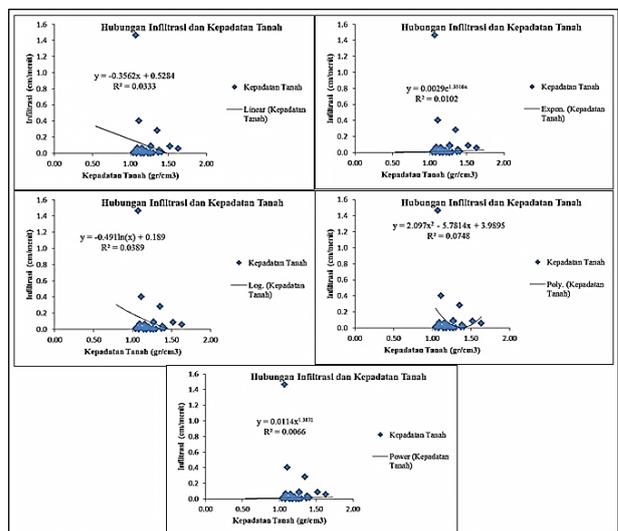
Tabel 3. Hasil Analisis Statistik Kepadatan Tanah Terhadap Laju Infiltrasi

No	Model	R	R ²	Persamaan Peramal (y)
1	Regresi Linear	0.183	0.033	$y = -0.3562x + 0.5284$
2	Regresi Logarithmic	0.197	0.039	$y = -0.491\ln(x) + 0.189$
3	Regresi Polinomial Quadratic	0.273	0.075	$y = 2.097x^2 - 5.7814x + 3.9895$
4	Regresi Power	0.081	0.007	$y = 0.0114x^{1.3971}$
5	Regresi Eksponensial	0.101	0.010	$y = 0.0029e^{1.3516x}$

Pada Tabel 3 terlihat bahwa dari uji coba kelima model regresi sederhana, didapatkan kepadatan tanah terhadap infiltrasi memiliki nilai korelasi (*R*) dan koefisien determinasi (*R²*) terbesar pada model regresi *polynomial quadratic* dengan koefisien korelasi 0,273 artinya korelasi lemah dan nilai koefisien determinasi (*R²*) = 0,075 artinya kepadatan tanah sebagai variabel bebas memberikan kontribusi terhadap infiltrasi sebagai variabel terikat sebesar 7,5 %, dan selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain. Grafik hubungan kepadatan tanah dan infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 6, terlihat kepadatan tanah dan infiltrasi menunjukkan korelasi negatif, yang artinya semakin besar kepadatan tanah maka nilai infiltrasi akan semakin kecil. Persamaan regresi yang digunakan yaitu model *polynomial (quadratic)*:

$$y = 2,097x^2 - 5,7814x + 3,9895$$

$$\text{Infiltrasi} = 2,097(\text{kepadatan})^2 - 5,7814(\text{kepadatan}) + 3,9895$$



Gambar 6. Grafik Hubungan Kepadatan Tanah dan Laju Infiltrasi

4.2.4 Pengaruh Konduktivitas Hidrolik Jenuh Terhadap Laju Infiltrasi

Konduktivitas hidrolik jenuh sebagai variabel bebas (*independent*) terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat (*dependent*) dianalisis dengan statistika deskriptif *bivariate*. Perhitungan korelasi menggunakan metode *pearson*. Sedangkan perhitungan regresi sederhana dilakukan dengan 5 model yaitu: *model regresi linear*, *regresi logarithmic*, *regresi polynomial (quadratic)*, *regresi power*, dan *regresi eksponensial* yang tujuannya adalah untuk mencari model manakah yang menghasilkan nilai *r* dan R^2 paling besar. Hasil analisis statistik konduktivitas hidrolik jenuh dan laju infiltrasi dapat dilihat pada Tabel 4.

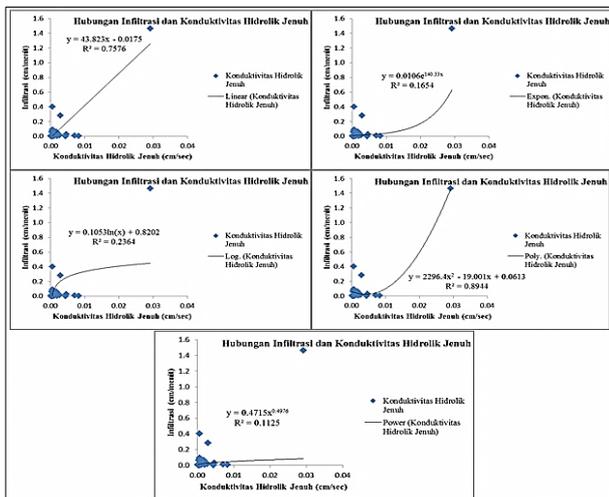
Tabel 4. Hasil Analisis Statistik Konduktivitas Hidrolik Jenuh Terhadap Laju Infiltrasi

No	Model	r	R ²	Persamaan Peramal (y)
1	Regresi Linear	0.870	0.758	$y = 43.813x - 0.0175$
2	Regresi Logarithmic	0.486	0.236	$y = 0.1053\ln(x) + 0.8202$
3	Regresi Polinomial Quadratic	0.946	0.894	$y = 2296.4x^2 - 19.001x + 0.0613$
4	Regresi Power	0.336	0.113	$y = 0.4715x^{0.4976}$
5	Regresi Eksponensial	0.407	0.165	$y = 0.0106e^{140.33x}$

Pada Tabel 4 terlihat bahwa dari uji coba kelima model regresi sederhana, didapatkan konduktivitas hidrolik jenuh terhadap infiltrasi memiliki nilai korelasi (*r*) dan koefisien determinasi (R^2) terbesar pada model regresi *polynomial quadratic* dengan koefisien korelasi 0,946 artinya korelasi sangat kuat dan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,894 artinya konduktivitas hidrolik jenuh memberikan kontribusi terhadap infiltrasi sebagai sebesar 89,4 %, dan selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain. Grafik hubungan konduktivitas hidrolik jenuh (*K*) dan infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 7, terlihat konduktivitas hidrolik jenuh (*K*) dan infiltrasi menunjukkan korelasi positif, yang artinya semakin besar nilai *K* maka nilai infiltrasi akan semakin besar pula. Persamaan regresi yang digunakan yaitu model *polynomial (quadratic)*:

$$y = 2296,4x^2 - 19,001x + 0,0613$$

$$\text{Infiltrasi} = 2296,4 (\text{Konduktivitas})^2 - 19,001 (\text{Konduktivitas}) + 0,0613$$



Gambar 7. Grafik Hubungan Konduktivitas Hidrolik Jenuh Terhadap Laju Infiltrasi

4.2.5 Pengaruh Matric Suction Terhadap Laju Infiltrasi

Matric Suction sebagai variabel bebas (*independent*) terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat (*dependent*) dianalisis dengan statistika deskriptif *bivariate*. Perhitungan korelasi menggunakan metode *pearson*. Sedangkan perhitungan regresi sederhana dilakukan dengan 5 model yaitu: *model regresi linear*, *regresi logarithmic*, *regresi polynomial (quadratic)*, *regresi power*, dan *regresi eksponensial* yang tujuannya adalah untuk mencari model manakah yang menghasilkan nilai *r* dan R^2 paling besar. Hasil analisis statistik *matric suction* dan laju infiltrasi dapat dilihat pada Tabel 5.

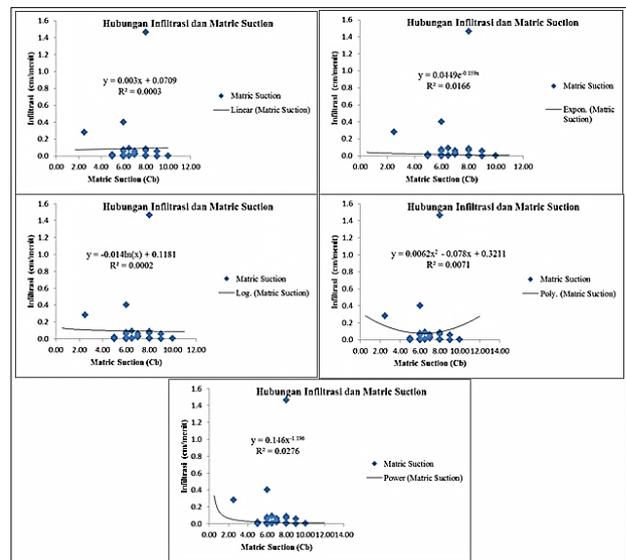
Tabel 5. Hasil Analisis *Matric Suction* Terhadap Laju Infiltrasi

No	Model	r	R ²	Persamaan Peramal (y)
1	Regresi Linear	0.017	0.0003	$y = 0.003x + 0.0709$
2	Regresi Logarithmic	0.013	0.0002	$y = -0.014\ln(x) + 0.1181$
3	Regresi Polinomial Quadratic	0.084	0.0070	$y = 0.0062x^2 - 0.078x + 0.3211$
4	Regresi Power	0.165	0.0270	$y = 0.146x^{-1.196}$
5	Regresi Eksponensial	0.127	0.0160	$y = 0.0449e^{-0.159x}$

Pada Tabel 5 terlihat bahwa dari uji coba kelima model regresi sederhana, didapatkan *matric suction* terhadap infiltrasi memiliki nilai korelasi (*R*) dan koefisien determinasi (R^2) terbesar pada model regresi *power* dengan koefisien korelasi 0,165 artinya korelasi lemah dan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,0270 artinya *matric suction* sebagai variabel bebas memberikan kontribusi terhadap infiltrasi sebagai variabel terikat sebesar 2,7 %, dan selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain. Grafik hubungan *matric suction* dan infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 8. Persamaan regresi yang digunakan yaitu model *power*:

$$y = 0,146x^{-1,196}$$

$$\text{Infiltrasi} = 0,146 (\text{matric suction})^{-1,196}$$



Gambar 8. Grafik Hubungan *Matric Suction* Terhadap Laju Infiltrasi

4.2.6 Hubungan Kadar Air, Porositas, Kepadatan Tanah, Konduktivitas Hidrolik Jenuh dan Matriks Suction Secara Simultan Terhadap Laju Infiltrasi

Analisis regresi berganda bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh semua variabel bebas dimana kadar air sebagai variabel bebas (x_1), porositas sebagai variabel bebas (x_2), kepadatan tanah sebagai variabel bebas (x_3), konduktivitas hidrolik jenuh sebagai variabel bebas (x_4), dan *matric suction* sebagai variabel bebas (x_5) secara bersamaan (simultan) terhadap laju infiltrasi sebagai variabel terikat (y). Hasil analisis sifat fisik tanah secara simultan terhadap laju infiltrasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Regresi Linear Berganda Sifat Fisik Tanah Secara Simultan Terhadap Laju Infiltrasi

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.927 ^a	.859	.831	.1102972

Dari Tabel 6 diketahui bahwa korelasi (r) antara kadar air, porositas, kepadatan tanah, konduktivitas hidrolik jenuh, dan *matriks suction* secara bersamaan dengan laju infiltrasi akhir adalah 0,927 artinya terdapat korelasi sangat kuat. Pengaruh kadar air, porositas, kepadatan tanah, konduktivitas hidrolik jenuh, dan *matric suction* secara simultan terhadap infiltrasi (R^2) adalah 0,859 atau 85,9 %, selebihnya akan di pengaruhi oleh faktor - faktor lainnya. Sementara itu, variabel regresi linear berganda dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Variabel Regresi Linear Berganda

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.411	.330		1.248	.224
	Kadar Air	-.006	.002	-.417	-3.034	.006
	Porositas	.011	.003	.378	4.068	.000
	Kepadatan Tanah	-.463	.202	-.237	-2.290	.031
	Konduktivitas Hidrolik Jenuh	28.097	5.782	.558	4.859	.000
	Matriks Suction	-.024	.015	-.135	-1.581	.126

Berdasarkan Tabel 7, maka diperoleh persamaan regresi linear berganda adalah sebagai berikut:

$$y = 0,411 - 0,006x_1 + 0,011x_2 - 0,463x_3 + 28,097x_4 - 0,024x_5$$

$$\text{Infiltrasi} = 0,411 - 0,006 (\text{kadar air}) + 0,011 (\text{porositas}) - 0,463 (\text{kepadatan tanah}) + 28,097 (\text{konduktivitas hidrolik jenuh}) - 0,024 (\text{matriks suction})$$

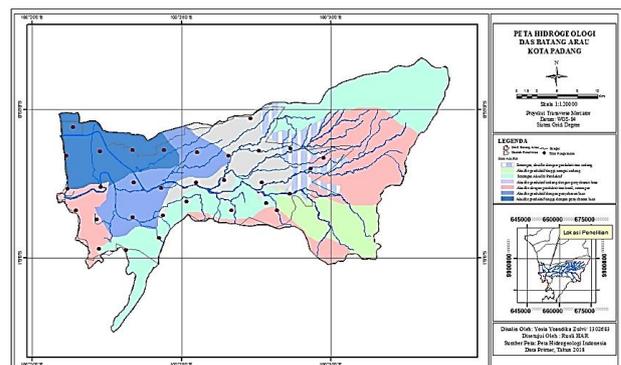
4.3 Model Penyebaran Laju Infiltrasi Akhir

4.3.1 Peta Hidrogeologi Daerah Penelitian

Peta hidrogeologi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 9, dimana hidrogeologinya adalah sebagai berikut:

1. Zona biru tua merupakan akuifer produktif tinggi dengan penyebaran luas, aquifer terutama berupa pasir, kerikil, dan tufa batupung dengan keterusan sedang hingga tinggi. Muka air tanah dekat atau tinggi pesametri air tanah.

2. Zona biru muda merupakan akuifer produktif dengan penyebaran luas. Akuifer terutama berupa pasir, kerikil, dan tufa batupung dengan keterusan sedang. Kedudukan muka air tanah bebas umumnya dekat permukaan sampai 5 m dari muka tanah setempat.
3. Zona abu-abu merupakan akuifer produktif sedang dengan penyebaran luas. Akuifer terutama pasir, kerikil, dan tufa batupung dengan keterusan rendah sampai sedang. Kedudukan muka air tanah bebas dekat permukaan hingga 5 m dari muka tanah setempat.
4. Zona garis *vertical* biru putih merupakan akuifer setempat dengan produktivitas sedang. Akuifer terutama lanau atau kerikil, tidak menerus, tipis, dengan keterusan rendah. Kedudukan muka air tanah bebas umumnya dekat permukaan hingga kurang dari 5 m dari muka tanah setempat.
5. Zona biru *tosca* merupakan setempat akuifer produktif. Akuifer dengan keterusan sangat beragam, umumnya airtanah tidak dimanfaatkan karena dalamnya kedudukan muka airtanah. Umumnya air tanah tidak dimanfaatkan karena dalamnya kedudukan muka air tanah.
6. Zona hijau lumut merupakan zona akuifer produktif tinggi sampai sedang.
7. Zona *pink* muda merupakan akuifer dengan produktivitas kecil, setempat pada zona pelapukan, air tanah dangkal dengan jumlah terbatas masih dapat diperoleh.



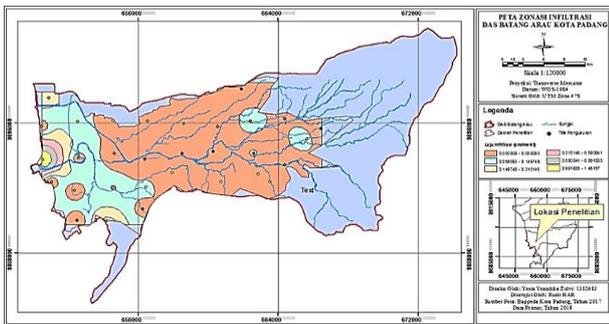
Gambar 9. Peta Hidrogeologi DAS Batang Arau

4.3.2 Hasil Pemetaan Zona Infiltrasi

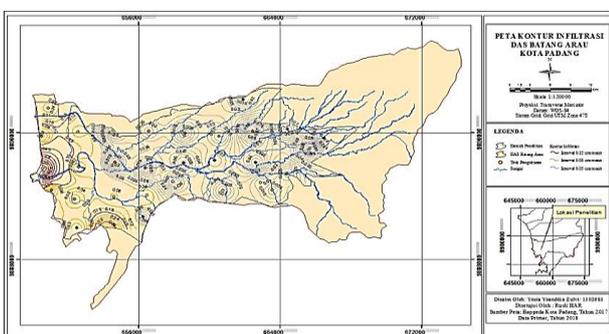
Berdasarkan hasil pengolahan data laju infiltrasi, maka didapatkan model penyebaran infiltrasi (pemetaan zonasi infiltrasi) dan peta kontur infiltrasinya. Peta zonasi infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 10, dan peta kontur infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 11. Pada peta zonasi infiltrasi terdapat 6 zona infiltrasi pada daerah penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Zona *orange* merupakan zona infiltrasi terendah, dengan laju infiltrasi berkisar antara 0,000808 – 0,058093 cm/menit. Beberapa daerah yang berada pada zona ini antara lain: Kecamatan Lubuk Kilangan, Kecamatan Pauh, sebagian Kecamatan Padang Timur, sebagian Kecamatan Lubuk Begalung bagian timur.

2. Zona biru tosca merupakan zona infiltrasi dengan laju antara 0,058093 – 0,149748 cm/menit. Beberapa daerah yang berada pada zona ini antara lain: sebagian Kecamatan Padang Timur, sebagian besar Padang Selatan, Kecamatan Padang Barat, dan Kecamatan Lubuk Begalung bagian barat.
3. Zona kuning muda merupakan zona infiltrasi dengan laju antara 0,149748 – 0,310146 cm/menit. Beberapa daerah yang berada pada zona ini antara lain: sebagian kecil Padang Selatan, Kecamatan Padang Barat, Kecamatan Padang Timur bagian barat, dan Lubuk Kilangan bagian selatan.
4. Zona pink muda merupakan zona infiltrasi dengan laju antara 0,310146 – 0,590841 cm/menit. Beberapa daerah yang berada pada zona ini antara lain: bagian paling barat Kecamatan Padang Selatan, dan sebagian kecil Kecamatan Padang Barat.
5. Zona abu-abu merupakan zona infiltrasi dengan laju antara 0,590841 – 0,991835 cm/menit. Daerah yang berada pada zona ini adalah Kecamatan Padang Barat.
6. Zona kuning terang merupakan zona infiltrasi tertinggi dengan laju infiltrasi berkisar antara 0,991835 – 1,46157 cm/menit. Daerah yang berada pada zona ini adalah bagian paling barat dari Kecamatan Padang Barat (daerah pantai).



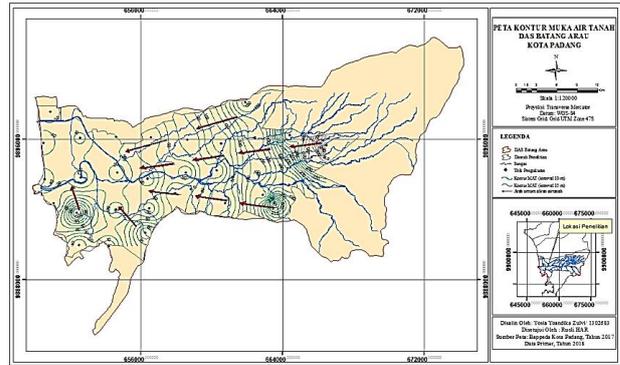
Gambar 10. Peta Zonasi Infiltrasi DAS Batang Arau



Gambar 11. Peta Kontur Infiltrasi DAS Batang Arau

4.3.3 Hasil Pemetaan Muka Air Tanah

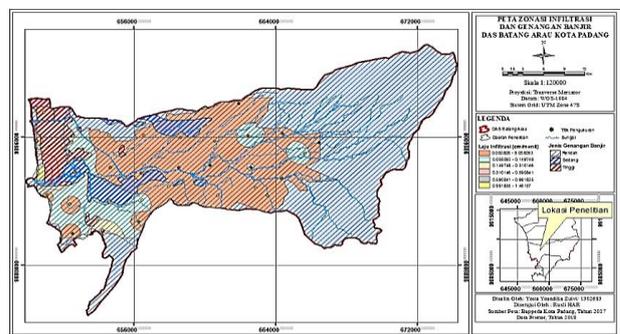
Berdasarkan pengukuran muka air tanah di lapangan, maka dapat dilakukan pemetaan berdasarkan elevasi muka air tana. Peta kontur muka air tanah dapat dilihat pada Gambar 12, terlihat bahwa daerah penelitian yaitu: dari bagian paling hulu mengalir kearah barat, dan dari bagian selatan daerah penelitian mengalir kearah barat laut.



Gambar 12. Peta Kontur MAT DAS Batang Arau

4.3.4 Integrasi Zonasi Infiltrasi dengan Zona Genangan Banjir

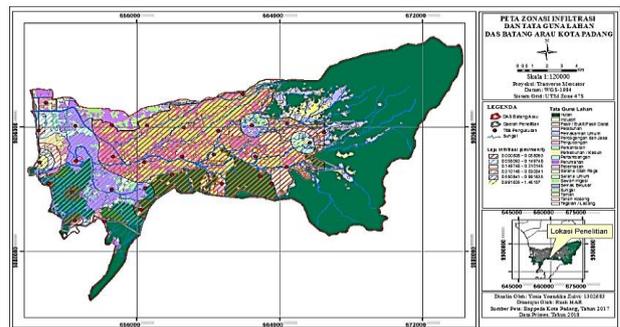
Berdasarkan peta zonasi infiltrasi yang dihasilkan, maka dapat diintegrasikan dengan peta zona genangan banjir pada daerah penelitian, seperti pada Gambar 13, dapat terlihat pada zona dengan laju infiltrasi yang tinggi, maka terdapat genangan banjir yang sedikit (rendah). Dan pada tempat dengan laju infiltrasi yang rendah terdapat genangan banjir sedang – tinggi.



Gambar 13. Peta Zonasi Infiltrasi dan Zona Genangan Banjir DAS Batang Arau

4.3.5 Integrasi Zonasi Infiltrasi dengan Tata Guna Lahan

Berdasarkan peta zonasi infiltrasi yang dihasilkan, maka dapat diintegrasikan dengan peta tata guna lahan pada daerah penelitian, seperti pada Gambar 14, terlihat bahwa laju infiltrasi terendah berada pada sebagian besar daerah dengan tata guna lahan sawah, perumahan, dan sarana umum. Sementara laju infiltrasi sedang - tinggi berada pada daerah dengan tata guna lahan semak belukar, hutan, dan perumahan di pinggir pantai.



Gambar 8. Peta Zonasi Infiltrasi dan Tata Guna Lahan DAS Batang Arau

4.4 Debit Air yang Mampu Diresapkan Tanah

Berdasarkan hasil pengolahan data, maka debit air yang mampu diresapkan oleh permukaan tanah dengan luas total daerah penelitian 96,187 km² yaitu rata-rata sebesar 54.000,0437 m³/jam/km².

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Karakteristik laju infiltrasi akhir pada DAS Batang Arau ditinjau dari perbedaan lithologi, tata guna lahan, dan sifat fisik tanah adalah 0,0914 cm/menit, dengan demikian berdasarkan klasifikasi zona resapan menurut Hutasoit (1999), maka daerah DAS Batang Arau berada pada zona VI/E, yang artinya klasifikasi daerah resapan sangat rendah (< 0,1 cm/menit).
2. Model penyebaran laju infiltrasi akhir (zonasi infiltrasi) pada DAS Batang Arau ditinjau dari perbedaan lithologi, tata guna lahan, dan sifat fisik tanah, terdiri dari 6 zona. Zona orange sebagai daerah dengan laju infiltrasi terendah (0,000808 – 0,058093 cm/menit), dan zona kuning sebagai daerah laju infiltrasi tertinggi (0,991835 – 1,46157 cm/menit)
3. Pengaruh sifat fisik tanah terhadap laju infiltrasi akhir pada DAS Batang Arau berdasarkan analisis statistika bivariante adalah: kadar air terhadap infiltrasi (R^2) = 45,8 % dengan korelasi 0,677 (korelasi kuat), porositas terhadap infiltrasi (R^2) = 40,8 % dengan korelasi 0,639 (korelasi kuat), kepadatan tanah terhadap infiltrasi (R^2) = 7,5 % dengan korelasi 0,273 (korelasi lemah), konduktivitas hidrolis jenuh (permeabilitas) terhadap infiltrasi (R^2) = 94,6 % dengan korelasi 0,894 (korelasi kuat), dan *matriks suction* terhadap infiltrasi (R^2) = 2,7 % dengan korelasi 0,165 (korelasi lemah).
4. Secara simultan (analisis statistika multivariate), sifat fisik tanah (kadar air, porositas, kepadatan tanah, permeabilitas/ konduktivitas hidrolis jenuh dan matriks suction terhadap infiltrasi memiliki korelasi (R) = 0,927 (korelasi kuat) dan kontribusinya secara bersamaan sebesar (R^2) = 85,9%, selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain diluar penelitian ini.
5. Debit air yang mampu diresapkan ke dalam air tanah pada daerah penelitian dengan luas area resapan 96,187 km² adalah 54.000,0437 m³/jam/km², maka volume air yang mampu diresapkan ke dalam tanah per jam per 1 km² adalah 54.000,0437 m³.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, daerah DAS Batang Arau berada pada Zona VI/E dengan kemampuan resapan yang sangat rendah, sehingga pada saat hujan timbul genangan air (banjir), untuk itu diperlukan pembuatan sumur resapan pada daerah dengan infiltrasi tertinggi di DAS Batang Arau yaitu di sekitar titik pengukuran 9

agar pada saat hujan air akan masuk ke dalam sumur resapan sehingga dapat meminimalisir terjadinya genangan air (banjir). Selain itu, penulis menyarankan agar tidak dilakukan pembangunan di daerah yang termasuk ke dalam zona yang laju infiltrasinya tinggi tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] BPDAS Agam Kuantan. *Rencana Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Arau Terpadu*. Padang: BPDAS Agam Kuantan (2011)
- [2] Nursetiawan, A.I. Pratama. *Pengukuran Nilai Infiltrasi Lapangan dalam Upaya Penerapan Sistem Drainase Berkelanjutan di Kampus UMY*. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, **Vol. 3, No. 1** (2017)
- [3] D.Elfiati, Delvian. *Laju Infiltrasi pada Berbagai Tipe Kelerengan di Bawah Tegakan Ekaliptus di Areal HPHTI PT.Toba Pulp Lestari Sektor Aek Nauli*. *Jurnal Hidrolitan*, **Vol. 1, No. 2** (2010)
- [4] Shances, A.P. *Sifat dan Pengelolaan Tanah Tropika*. Bandung: ITB (1992)
- [5] Asdak, C. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press (2010)
- [6] Puspa Permanasari, dkk. *Pengaruh Guna Lahan Terhadap Penurunan Infiltrasi di Kota Batu*. *Jurnal Tata Kota dan Daerah*. **Vol. 4, No. 2** (2012)
- [7] 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*, **Vol. 1, No 1** (2012)
- [8] R. Maria, H. Lestiana. *Pengaruh Penggunaan Lahan Terhadap Fungsi Konservasi Airtanah di Sub DAS Cikapundung*. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, **Vol. 24, No. 2** (2014)
- [9] H. Abdulgani. *Efektifitas Model Sistem Resapan Horizontal dengan Parit Infiltrasi dalam Mengurangi Limpasan Permukaan*. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, **Vol. 1, No. 1** (2015)
- [10] D. Harisuseno, dkk. *Studi Pengaruh Sifat Fisik Tanah Terhadap Karakteristik Laju Infiltrasi*. (2017)
- [11] S. Syukur. *Laju Infiltrasi dan Peranannya Terhadap Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Allu-Bangka*. *J. Agroland* 16, **Vol. 16, No. 3** (2009)
- [12] Mein R.G, C.L. Larson. *Modeling Infiltration During A Steady Rain*. *Water Resour. Res.* **Vol. 9, No. 2** (1973)
- [13] Rusli HAR, dkk. *Petunjuk Pengukuran Laju Infiltrasi*. Makalah Disajikan Dalam Rangka Pelatihan Tenaga Konservasi di Area PT. Caltex Pacific Indonesia Riau. (2000)
- [14] C. Pudyawardhana, A. Sismiani. *Penentuan Kepadatan Tanah di Lapangan Menggunakan Borland Delphi 6*. *Techno*, **Vol. 17, No. 2** (2016)
- [15] Labsheet Teknik Sipil UNP. *Mekanika Tanah*. UNP: Laboratorium Bahan dan Mekanika Tanah (2010)

- [16] Fetter, C.W. *Applied Hidrogeology*. USA:University of Wisconsin-Oshkosh (1994)
- [17] A. B. Supangat, P. B. Putra. *Kajian Infiltrasi Tanah pada Berbagai Tegakan Jati*. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam, **Vol. VII, No. 2**
- [18] Badan Standarisasi Nasional. *Cara Uji Kelulusan Air Bertekanan di Lapangan*. Badan Standarisasi Nasional, SNI 2411(2008)
- [19] H.C, Hardiyatmo. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press (2002)
- [20] A, Irianto. *Statistik*. Jakarta : Perdana Media. (2004)